

Análisis del agua de riego y cambios en parámetros de un suelo salino para el cultivo de  
caña de azúcar en el Municipio de Cerrito (Valle del cauca)

Autores

Juan Fernando Quintero Bedoya Código 1.114.819.128

Jhon Jairo Vivas Monroy Código 16.860.389

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y Del Medio Ambiente

Cead – Palmira

2017

Análisis del agua de riego y cambios en parámetros de un suelo salino para el cultivo de  
caña de azúcar en el Municipio de Cerrito (Valle del cauca)

Autores

Juan Fernando Quintero Bedoya Código 1.114.819.128

Jhon Jairo Vivas Monroy Código 16.860.389

Proyecto aplicado como opción de trabajo de grado para optar el título de:

Agrónomo

Tutor: Milton Cesar Ararat Orozco *Ph. D.*

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y Del Medio Ambiente

Cead – Palmira

2017

## Resumen

Se realizó un análisis del agua de riego y cambios en parámetros de un suelo salino para el cultivo de caña de azúcar en el municipio de Cerrito (Valle del Cauca, Colombia) con el fin de contribuir al itinerario de labores del cultivo; las variables de medición relacionadas con sales disueltas en el agua de riego fueron: conductividad eléctrica (CE), total de sólidos disueltos (TDS) Sales Solubles, Sulfatos, Carbonatos, Bicarbonatos y Cloruros. De acuerdo al ensayo de campo establecido por el Ingenio Providencia, el cual consistió en un lavado del suelo salino con sulfato de magnesio y vinazas, se cuantificaron los siguientes parámetros del suelo: reacción del suelo (pH), Calcio intercambiable, capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de sodio y potasio, porcentaje de sodio intercambiable, relación Calcio/Magnesio y finalmente contenido de materia orgánica. El pH del suelo de la Hacienda Marsella paso de ser un suelo muy alcalino ( $\text{pH} > 8,6$ ) a ser ligeramente alcalino ( $7,6 > \text{pH} > 8,5$ ). Se presentó una disminución o descenso de la saturación del PSI lo cual indica que al no estar tan saturado de sales sodio, quedando en niveles bajos.

**Palabras claves:** agua de riego, salinidad del suelo, sulfato de magnesio, vinazas.

## Summary

An analysis of the irrigation water and changes in parameters of a saline soil for sugar cane cultivation in the municipality of Cerrito (Valle del Cauca, Colombia) was carried out in order to contribute to the itinerary of cultivation work; the measurement variables related to dissolved salts in the irrigation water were: electrical conductivity (CE), total dissolved solids (TDS), soluble salts, sulphates, carbonates, bicarbonates and chlorides. According to the field test established by Ingenio Providencia SA, which consisted of a saline soil washing with magnesium sulphate and vinasse, the following soil parameters were quantified: soil reaction (pH), exchangeable calcium, exchange capacity cationic (CIC), saturation of sodium and potassium, percentage of interchangeable sodium, Calcium / Magnesium ratio and finally content of organic matter. The soil pH of Hacienda Marsella went from being a strongly alkaline soil ( $\text{pH} > 8.6$ ) to being slightly alkaline ( $7.6 > \text{pH} > 8.5$ ). There was a decrease or decrease in the saturation of the PSI, which indicates that it is not so saturated with sodium salts, remaining at low levels.

**Keywords:** irrigation water, soil salinity, magnesium sulfate, vinasse

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Planteamiento Del Problema.....</b>	<b>10</b>
<b>3. Justificación .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Objetivo general .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>5. Marco teórico.....</b>	<b>13</b>
Tabla 1. Parámetros para determinar la calidad del agua de riego en relación con la Salinidad .....	15
Tabla 2. Textura del suelos Arenosos, Francos y Arcillosos .....	16
Tabla 3. Clasificación de los parámetros de salinidad del suelo.....	17
Tabla 4. Rangos de clasificación de suelos salinos y sódicos según la CVC .....	18
Tabla 5. Niveles críticos de calidad de aguas para riego. ....	18
Tabla 6. Medidas para el control de la salinidad y sodicidad.....	18
Tabla 7. Parámetros de los niveles guía de la Calidad del Agua para Riego.....	19
Tabla 8. Propiedades químicas de la vinaza concentrada al 60% .....	20
<b>6.1 localización.....</b>	<b>21</b>
Figura 1. Sistema de riego con tubería de compuertas. Hacienda Marsella suerte 512... 24	24
Fuente: Autores, 2015 .....	24
Figura 2. Comportamiento anual 2008 – 2016 de la calidad del suelo en el cultivo de caña de azúcar según el pH, Hacienda Marsella - El Cerrito Valle 2015.....	25
Tabla 9. Valores de la conductividad eléctrica en el suelo .....	26
Tabla 11. Informes aguas calidad para riego superficiales Año 2012 a 2015.....	27
Tabla 12. Ensayo con tratamientos de lavado del suelo .....	28
Figura 3. Disminución del pH del suelo después de las aplicaciones de tratamiento .....	29
Figura 4. Calcio intercambiable en el suelo después de las aplicaciones.....	30
Figura 5. Tendencia de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el suelo.....	31
Figura 6. Tendencia de la relación calcio /magnesio en el suelo .....	32
Figura 7. Disminución de la saturación de sodio del suelo.....	33
Figura 8. Porcentaje de Sodio Intercambiable en el suelo .....	33

Figura 9. Incremento (%) de Materia Orgánica y Potasio en el suelo .....	34
<b>10. Conclusiones .....</b>	<b>35</b>
<b>12. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>38</b>
<b>13.1 Anexo 1.</b> Principales contribuciones físicas, químicas y biológicas que pueden obstruir un sistema de riego pro absorción.....	40
<b>13.2 Anexo 2.</b> Datos Climatológicos mensuales Hacienda Marsella .....	41
<b>13.3 Anexo 3.</b> Yeso agrícola y vinaza utilizada en el ensayo de campo.....	43
<b>13.4 Anexo 4.</b> .....	45
<b>14. Plan de mejora.....</b>	<b>46</b>

## TABLAS

Tabla 1. Parámetros para determinar la calidad del agua de riego en relación con la Salinidad .....	15
Tabla 2. Textura del suelos Arenosos, Francos y Arcillosos .....	16
Tabla 3. Clasificación de los parámetros de salinidad del suelo .....	17
Tabla 4. Rangos de clasificación de suelos salinos y sódicos según la CVC .....	18
Tabla 5. Niveles críticos de calidad de aguas para riego. ....	18
Tabla 6. Medidas para el control de la salinidad y sodicidad. ....	18
Tabla 7. Parámetros de los niveles guía de la Calidad del Agua para Riego .....	19
Tabla 8. Propiedades químicas de la vinaza concentrada al 60% .....	20
Tabla 9. Valores de conductividad eléctrica en el suelo .....	26
Tabla 10. Variables del agua de riego en diferentes épocas (Ingenio Providencia ,2015).....	26
Tabla 11. Informes aguas calidad para riego superficiales Año 2012 a 2015.....	27
Tabla 12. Ensayo con tratamientos de lavado del suelo .....	28

## FIGURAS

Figura 1. Sistema de riego con tubería de compuertas. Hacienda Marsella suerte 512...	24
Figura 2. Comportamiento anual 2008 – 2016 de la calidad del suelo en el cultivo de caña de azúcar según el pH, Hacienda Marsella - El Cerrito Valle 2015.....	25
Figura 3. Disminución del pH del suelo después de las aplicaciones de tratamiento .....	29
Figura 4. Calcio intercambiable en el suelo después de las aplicaciones.....	30
Figura 5. Tendencia de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el suelo.....	31
Figura 6. Tendencia de la relación calcio /magnesio en el suelo .....	32
Figura 7. Disminución de la saturación de sodio del suelo.....	33
Figura 8. Porcentaje de Sodio Intercambiable en el suelo .....	33
Figura 9. Incremento (%) de Materia Orgánica y Potasio en el suelo .....	34

## 1. Introducción

El agua es un elemento esencial para el desarrollo agrícola sostenible; su aprovechamiento, utilización y conservación racionales constituyen elementos en cualquier estrategia de desarrollo. Según FAO (1992), el índice medio de expansión del riego fue del uno por ciento al año a principios de cada década de los sesenta alcanzando un máximo de 2.3 por ciento desde 1972 a 1975. Desde entonces, el índice de expansión se ha reducido y actualmente es inferior al uno por ciento anual. El suelo por otra parte, es un factor que debe ser tomado en cuenta en segunda instancia en todo programa de riego especialmente en cuanto a sus características físico-químicas iniciales. El clima, igualmente afecta el uso y manejo del agua de riego debido principalmente a la temperatura, precipitación, evaporación, etc. El cultivo, como objetivo final de toda actividad agrícola deberá estar en función directa de los tres factores antes mencionados, básicamente enfocados desde el punto de vista de la tolerancia relativa a la salinidad y sequía. Finalmente, las prácticas de riego y drenaje, así como las prácticas culturales en general, son las que están más directamente controladas por el hombre, deberán estar orientadas, al manejo racional del agua, del suelo y del cultivo, teniendo como objetivo final la obtención de rendimientos económicamente rentables sin deterioro de los mismos (FAO, 1979). Colombia caracterizó las áreas salinas y sódicas, por la conductividad eléctrica mayor de 4 dS /m y porcentaje de saturación de sodio mayor 15%, los resultados muestran que existen aproximadamente 63.261 Km<sup>2</sup> de suelos con problemas de salinidad y sódicidad, esta área corresponde al 5,59% del área total del país. En el Valle del Cauca están reportadas con estos Limitantes 1341 Km<sup>2</sup> que corresponden al 0,12% del área del país y al 6,13 del área total del Departamento (IDEAM, 2002).

En el Valle geográfico del Río Cauca, en los últimos años, el área sembrada de caña de azúcar se ha incrementado de 130.00 a 150.000 hectáreas, de las cuales un 95% recibe riego suplementario con una precipitación anual que oscila entre 800 y 2.600 milímetros según la ubicación y 1000 milímetros como promedio. El aumento del área sembrada en caña ha llevado el cultivo hasta zonas de piedemonte de la Cordillera Central y a regiones con pendientes limitantes para la aplicación del riego por gravedad o aspersión.

Debido a los cambios en la cantidad y frecuencia de las lluvias causados por el desordenamiento de las cuencas, como también a al sobre-explotación de los acuíferos superficiales, la disponibilidad del agua para el riego ha disminuido en forma notoria. Cuando la precipitación es normal, es común encontrar niveles de agua superficiales de buena calidad que pueden aportar ente 40 y 50 por ciento de las necesidades hídricas del cultivo.

En el valle del cauca se siembran entre 180 y 200 mil hectáreas de caña de azúcar, es decir más del 90 por ciento de la producción nacional y los excedentes de exportación. No obstante, el empuje empresarial de los vallecaucanos, inquieta que los suelos se salinicen a una rata de 4.000 hectáreas por año, que se suman a 80.000 hectáreas detectadas por técnicos de la CVC.

Los riegos excesivos, el uso de aguas salinas, la mala preparación de los suelos y el exceso de abonos, son prácticas que inciden en la problemática. Solo si el agricultor adopta nuevas tecnologías se podrá detener el embate de la salinidad. El sistema de drenaje entubado hasta hoy ha favorecido unas 8.000 hectáreas en el Valle del Cauca. En el caso de la caña se han obtenido incrementos en producción hasta del 40 por ciento. Los suelos afectados restringen su producción debido al efecto de las sales sobre las plantas: coloración amarilla de hojas, nudos cortos, poco desarrollo de raíces, baja producción y volcamiento. Las altas



temperaturas y gran evaporación que caracterizan la región, determinan el afloramiento de las sales a la superficie. La salinidad atenta contra el suelo como recurso. Estos suelos son aquellos en los que el contenido de sales (principalmente cloruros y sulfatos y en casos extremos, nitratos de sodio, calcio y magnesio) y la presión osmótica de la solución del suelo no permiten la absorción por el cultivo de una gran parte del agua del suelo, y que no afectan directamente las propiedades físicas del suelo.

La principal consecuencia es una reducción parcial o completa del crecimiento de las plantas debido a déficits fisiológicos de agua. Para fines prácticos, la concentración de sales se expresa en términos de conductividad eléctrica (unidades de: dS (decisiemens)/m (metro) a 25°C) en extracto de saturación del suelo. Un dS/m equivale aproximadamente a una concentración de sales en la solución de 10 meq/l, y a una presión osmótica de 36 kpa. La dificultad de absorción del agua del suelo por las plantas depende del potencial mátrico, que se hace más negativo al disminuir el contenido de agua del suelo, y del potencial osmótico, más negativo al incrementarse la salinidad de la solución del suelo. El efecto de ambos potenciales es más o menos aditivo (PLA, 1979).

## 2. Planteamiento Del Problema

Para condiciones de manejo del riego y de los parámetros edáficos en el cultivo de caña de azúcar, se debe tener en cuenta cuando se presenta un elevado contenido de  $\text{Na}^+$  en la solución del suelo, en relación con el  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , dando lugar al incremento de este ion en el complejo de cambio, provocando, baja densidad de carga (elevado radio de hidratación y baja carga), aumento del espesor de la doble capa difusa, efectos de repulsión entre los coloides y con ellos la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica.

La concentración de  $\text{Na}^+$  frente al  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70%, para que el  $\text{Na}^+$  pueda desplazar al  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en el complejo de cambio, dada la menor energía de adsorción del sodio (Dorronsoro 2007).

Esta condición indica que se debe realizar aplicación de riego en la mayoría de los meses del año, sin embargo los análisis de aguas de riego en esta zona, muestran que algunas de estas se encuentran afectadas por excesos de bicarbonatos de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ). El uso continuo e inadecuado de estas aguas en la agricultura representa a largo plazo un deterioro de las propiedades fisicoquímicas del suelo, propiedades que afectan negativamente a los rendimientos de diferentes cultivos (O. P. Choudhary, 2006).

### 3. Justificación

Investigar sobre la calidad de agua y del suelo en el cultivo de caña de azúcar, resulta importante ya que algunas fincas productoras de caña de azúcar del municipio de Cerrito en el valle del Cauca, han reportado problemática de suelos salinos y deterioro en la calidad de agua de riego como es el caso de la Hacienda Marsella; Por tanto, se diagnosticó e identificó las principales causas por las cuales los cultivos de esta zona se ven afectados, ya que esto ocasiona un descenso en la productividad.

Según Sanclemente & Ararat (2015) en las últimas décadas, la productividad del cultivo en toneladas de caña por hectárea (TCH) se ha incrementado sustancialmente, debido principalmente a factores como: desarrollo de variedades adaptadas a condiciones agroecológicas específicas, implementación de agricultura específica por sitio y uso de sistemas de monitoreo y seguimiento; con base en esto, se requiere de proyectos académicos aplicados para contribuir al mejoramiento de la información relacionada con el agua de riego en caña de azúcar.

El procesamiento de datos de campo permite generar planes de mejoramiento aplicables para que tanto mayordomos como obreros, logren capacitarse y entrenarse para que la hacienda Marsella tenga una mayor productividad en el cultivo de caña de azúcar, todo esto bajo la sustentación de tomas de muestras, análisis e interpretación de las mismas. La medida de la cantidad y calidad del agua de riego es la herramienta más opcional para mitigar el problema, teniendo en cuantas prácticas de manejo que prevengan la incidencia de los problemas causados por la Sódicidad. Según informe de sostenibilidad 2014 – 2015 (Ingenio providencia 2016), una alta concentración de sales y la existencia de cantidades elevadas de

algunos iones tales como sodio, cloruros, metales pesados tienen un efecto adverso sobre el crecimiento y desarrollo de muchas especies vegetales.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Establecer un proceso de análisis datos de campo de la calidad de agua de riego y cambios en parámetros del suelo para el cultivo de caña de azúcar bajo condiciones ambientales del municipio El Cerrito Valle del Cauca.

### **4.2 Objetivos específicos**

- ❖ Interpretar y analizar los parámetros de calidad del agua de riego superficial en un sistema de cultivo de caña de azúcar en el municipio de Cerrito (Valle del Cauca).
  
- ❖ Estimar el efecto del manejo riego con enmiendas sobre variables del suelo salino en un cultivo de caña de azúcar en el municipio de Cerrito (Valle del Cauca).

## 5. Marco teórico

### 5.1 Calidad de agua de riego

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua de riego. La conductividad eléctrica (CE) es una de las más usadas, en tanto que el total de sólidos disueltos (TDS) lo es en menor proporción (Castro, 2012).

La calidad del agua para riego está determinada por la cantidad y tipo de sales que la constituyen. El agua de riego puede crear o corregir suelos salinos o alcalinos. La concentración de sales en el agua de riego reduce el agua disponible para los cultivos, es decir, la planta debe ejercer mayor esfuerzo para poder absorber el agua; puede llegar incluso a sufrir estrés fisiológico por deshidratación, afectando esto su crecimiento. Dependiendo de la clase de sal disuelta, estas alteran y modifican el desarrollo de la estructura del suelo, lo cual reduce su infiltración. El análisis químico del agua se utiliza básicamente con dos propósitos: el primero, es determinar la calidad de ésta para el riego y la tolerancia de los cultivos, y la segunda, es establecer la calidad para fertirrigación. Para evaluar su aptitud para fines de riego, se debe en primer lugar hacer un muestreo representativo y luego en el laboratorio determinar los siguientes parámetros: cantidad de sales totales disueltas; niveles de calcio, magnesio, sodio, potasio, pH, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, cloruro, boro, y Razón de Sodio Adsorbido (RAS). La calidad del agua de riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables / óptimas. Además, los distintos cultivos requieren distintas calidades de agua de riego (Guy Sela, 2016).

Por lo tanto, es muy importante realizar un análisis del agua de riego antes de seleccionar el sitio y los cultivos a producir. La calidad de algunas fuentes de agua puede variar significativamente de acuerdo a la época del año (como en una época seca / época de lluvias), así que es recomendable tomar más de una muestra, en distintos períodos de tiempo. Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres categorías: químicos, físicos y biológicos. En esta revisión, se discuten las propiedades químicas del agua de riego. Las características químicas del agua de riego se refieren al contenido de sales en el agua, así como a los parámetros derivados de la composición de sales en el agua; parámetros tales como la CE / TDS (Conductividad Eléctrica / sólidos totales disueltos), RAS (Relación de Adsorción de Sodio), la alcalinidad y la dureza del agua (Guy Sela, 2016).

### **5.3 Problemas relacionados con la calidad del agua de riego**

El principal problema relacionado con la calidad del agua de riego es la salinidad del agua. Este se refiere a la cantidad total de sales disueltas en el agua, pero no indica que sales están presentes.

El nivel alto de sales en el agua de riego reduce la disponibilidad del agua para el cultivo (debido a la presión osmótica), aunque el suelo puede parecer mojado, y causa la reducción del rendimiento. Por encima de cierto umbral, la reducción en el rendimiento de los cultivos es proporcional al aumento en el nivel de salinidad. Los distintos cultivos varían en su tolerancia a la salinidad y por tanto tienen diferentes umbrales y diferentes tasas de reducción del rendimiento. Los parámetros más comunes para determinar la calidad del agua de riego, en relación con su salinidad, son la **CE y el TDS** (Guy Sela, 2016),

Como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros para determinar la calidad del agua de riego en relación con la Salinidad

TDS ppm p mg/L	CE dS/m	Riesgo de salinidad
< 500	< 0,8	Bajo
500 - 1000	0,8 – 1,6	Medio
1000 - 2000	1,6 - 3	Alto
2000	>	Muy Alto

Fuente: Guy Sela, 2016

La reducción del crecimiento de los cultivos por la salinidad es causada por el potencial osmótico (PO) ya que reduce la capacidad de las raíces de las plantas a extraer agua del suelo. La disponibilidad del agua en el suelo está relacionada a la suma del potencial métrico y potencial osmótico; Dentro de los principales componentes solubles del agua de riego que causan este efecto están:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  (Castro, 2012).

El daño por sales vía foliar puede ocurrir en el riego por aspersión, éste daño depende de la salinidad del agua, sensibilidad del cultivo, frecuencia de aspersión y de factores medioambientales (temperatura, humedad relativa, luz, etc). Algunos factores de conversión son usados para las aguas basados sobre todo en el tipo y cantidad de sales:

Los problemas de permeabilidad del suelo pueden estar relacionados a dos factores en el análisis de agua de riego:

- **Baja salinidad (Baja CE):** Aguas puras no pueden penetrar en el suelo como las aguas contienen sales.
- **Alto Sodio (Alto RAS)**

Aguas con alto sodio (Alta Relación de Absorción de Sodio – RAS) usadas por el riego muchas veces resultan en problemas de permeabilidad en el suelo debido a los altos niveles

de Na con respecto al nivel de Ca y Mg; el RAS es expresado y calculado como (Castro, 2012).

$$\text{RAS} = \text{Na} + \sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})} \div 2$$

La RAS es usada para estimar el problema de permeabilidad esperado en el suelo después de un período de uso del agua de riego de un RAS alto; éste es medido en el suelo por el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable). El PSI es un problema potencial, puede ser que se desarrolle o no. Varios métodos han sido propuestos para expresar el peligro<sup>1</sup> de sodio en el suelo, siendo el porcentaje de sodio soluble el más usado y que es calculado por la fórmula: (Castro, 2012).

Por tanto, los problemas de toxicidad están referidos a los constituyentes (iones) en el suelo o agua que pueden ser tomados y acumulados por las plantas hasta concentraciones altas, causando daño a los cultivos o baja en su rendimiento. El grado del daño depende de la asimilación y la sensibilidad del cultivo. Por ejemplo, árboles frutales u ornamentales leñosos generalmente son más sensitivos el cloro (Cl), sodio (Na) y Boro (B) que muchas plantas anuales

En la tabla 2 se aprecia una relación de la textura de los suelos con la CE (dS/m) y la cantidad de Cloro en la solución:

Tabla 2. Textura del suelos Arenosos, Francos y Arcillosos

C.E.W dS/m	Clw Meq/l	ARENOSOS	FRANCOS	ARCILLOSOS
< 1.2	<6	Cl <sub>1</sub>	Cl <sub>1</sub>	Cl <sub>1</sub>
1.2 – 1.5	6 – 7.5	Cl <sub>1</sub>	Cl <sub>1</sub>	Cl <sub>2</sub>

<sup>1</sup> Para aguas que tienen menos de 10 meq/l de sales totales el límite permisible es 80% y para aguas en mayor contenido de sales, 60% es considerado como peligroso.



1.5 – 1.75	7.5 – 9.0	Cl <sub>1</sub>	Cl <sub>1</sub>	Cl <sub>3</sub>
1.75 – 2.25	20 - 15.0	Cl <sub>1</sub>	Cl <sub>2</sub>	Cl <sub>4</sub>

Cl<sub>1</sub> = No dañino Cl<sub>2</sub> = Bajo Riesgo Cl<sub>3</sub> = Mediano Riesgo Cl<sub>4</sub> = Peligroso

**Fuente:** Textura suelos Arenosos, Francos y Arcillosos, Castro 2012

Considerando el ion Sodio (Na), su toxicidad no es fácilmente diagnosticada como el cloro, pero se han reportado casos usando aguas con alta concentración de sodio (alto % de “Na” o alto RAS); los síntomas de toxicidad típicos como “chamuscado” y muerte de tejidos y, quemaduras fuera del borde de las hojas son encontrados (contrariamente al cloro). Es corregida si se aumenta suficientemente el calcio al suelo (Castro, 2012).

Efectos en el aumento de la salinidad tanto en el agua de riego como en el suelo esta: Pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, baja producción o pérdida total del cultivo, bajos ingresos y pérdida del empleo y degradación y desertificación (Ramírez, 2008).

Los suelos salinos se clasifican de acuerdo a la conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable y el pH del suelo, como se muestra en las tablas 3, 4 y 5:

Tabla 3. Clasificación de los parámetros<sup>2</sup> de salinidad del suelo

Suelos salinos	Suelos sódicos	Suelos salino-sódicos
CE > 4 (dS/m)	CE: < 4 (dS/m)	CE: > 4 (dS/m)
PSI: < 15	PSI: > 15	PSI: > 15
pH: < 8.5	pH: > 8.5	pH: < 8.5
En este caso no hay pérdida de la estructura	En este caso hay pérdida de la estructura	En este caso no hay pérdida de la estructura.

<sup>2</sup> CE= conductividad eléctrica PSI = porcentaje de sodio intercambiable

**Fuente:** Ramírez, 2008

Tabla 4. Rangos de clasificación de suelos salinos y sódicos según la CVC<sup>3</sup>

CE (mmhos/cm) (dS/m)	PSI
0-2 Normales	0-5 Normales
2-4 Ligeramente salinos	5-10 Ligeramente sódicos
4-8 salinos	10-15 Medianamente sódicos
8-16 Fuertemente salinos	>15 sódicos

**Fuente:** Ramírez, 2008.

Tabla 5. Niveles críticos de calidad de aguas para riego.

Grado de restricción	Ninguno	Bajo	Alto	Alto severo
CE (mmho/cm)	0.3	0.3-0.7	0.7-1.5	> 1.5
TDS <sup>4</sup> (mg/lit)	<240	240-480	480-960	>960
Sodificación (meq/lit)	<2	2-3	3-10	>10
RAS	<3	3-9	9-12	>12

**Fuente:** Jaramillo, 2006

Frente a las condiciones adversas de la salinidad sobre el cultivo, se han reportado medidas para el control técnico (tabla 6).

Tabla 6. Medidas para el control de la salinidad y sodicidad.

Técnicas para la recuperación de suelos sódicos	Prácticas agrícolas contra la salinidad	Proceso de recuperación de suelos salinos	Mejoras químicas
Lavado de sales	Cultivo tolerante a la salinidad	Instalación de drenaje.	Yeso, Cloruro de calcio (sales solubles de calcio)
Mejoras químicas	Mejorar la resistencia de las plantas.	Nivelación de terreno.	Azufre, ácido sulfúrico, sulfato ferroso y de aluminio (formadores de ácido)

<sup>3</sup> CVC Corporación autónoma Regional del Valle del Cauca

<sup>4</sup> TDS (total de sólidos disueltos), dureza, cloruros, etc. (Jaramillo, 2006).

		Proyecto aplicado	
Arados profundos	Sistemas de abonamiento.	Preparación (arada, subsolado, rastrillada, etc.)	Caliza (sal de calcio de baja solubilidad)
Subsolado y drenes topo	Métodos y prácticas de riego.	Lavado de sales.	
Abonos orgánicos y abonos sulfatados			

**Fuente:** Jaramillo, 2007.

Específicamente para la problemática de la calidad del agua de riego, se han definido parámetros con los respectivos rangos o niveles que sirven de guía en la interpretación y toma de decisiones en los itinerarios de técnicas del cultivo de caña de azúcar (tabla 7).

Tabla 7. Parámetros de los niveles guía de la Calidad del Agua para Riego

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTICCIÓN			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1): CE (2) TDS (3)	Milimhos/c mmg/l	0.7 450	0.7 450	3.0 2000	> 3.0 > 2000
Infiltración (4): RAS = 0 – 3 y CE RAS = 3 – 6 y CE RAS = 6 – 12 y CE RAS = 12 – 20 y CE RAS = 20 – 40 y CE		0.7 1.2 1.9 2.9 5.0	0.7 1.2 1.9 2.9 5.0	0.2 0.3 0.5 1.3 2.9	> 0.2 > 0.3 > 0.5 > 1.3 > 2.9
Toxicidad por Ion específico (5): - Sodio Irrigación Superficial RAS (6) Aspersión -Cloruros Irrigación Superficial Aspersión -Boro	meq/l	3.0 3.0 4.0 3.0 0.7	3.0 3.0 4.0 3.0 0.7	9 10.0 3.0	> 9 >10.0 >3.0
Efectos Misceláneos (7): Nitrógeno (N-NO3) Bicarbonato (HCO3)	meq/l meq/l	5.0 1.5	5.0 1.5	30.0 8.5	>30.0 >8.5
pH	Rango Normal	6.5 – 8.4			

Fuente: Proyecto Norma Ambiental ingenio providencia 2015

Para la recuperación de suelos Sódicos, existen reportes de García (2004) dando lugar a los efectos de la vinaza<sup>5</sup> en suelo; esta alternativa se ha venido utilizando en el Valle del Cauca en la búsqueda de recuperar suelos afectados con sales de Na, promoviendo la agregación en el suelo, disolviendo carbonatos, fosfatos de calcio y otros precipitados que a al final liberan el Ca necesario para el desplazamiento del Na del complejo de cambio. En la tabla 8 se puede evidenciar las características de este producto.

Tabla 8. Propiedades químicas de la vinaza concentrada al 60%

Característica	Unidades	Vinaza 55% s.t	Vinaza 10% s.t
N	Kg/m <sup>3</sup>	4.30	0.63 – 1.14
P	Kg/m <sup>3</sup>	0.22	0.04 – 0.11
K	Kg/m <sup>3</sup>	34.03	4.05 – 9.01
Ca	Kg/m <sup>3</sup>	5.00	0.74 – 2.2
Mg	Kg/m <sup>3</sup>	5.40	0.80 – 1.36
S	Kg/m <sup>3</sup>	11.55	1.28
pH	-	4.3 – 4.5	3.5 – 4.3
CE	dS/m <sup>1</sup>	17	11.0

Fuente: Laboratorio I & D., Sucromiles S.A. y Agrilab Ltda.

<sup>5</sup> La vinaza es un subproducto que se obtiene a partir de la producción de alcohol carburante en la agroindustria azucarera, y que se presenta en diferentes concentraciones.

## **6. Materiales y métodos**

### **6.1 localización**

El proyecto aplicado se realizó en la hacienda Marsella con las siguientes coordenadas latitud 3.68278 y longitud -76.4119 ubicada en el municipio del cerrito valle la cual su ubicación es 1° 13' a 2° de longitud Occidente y 4° a 5° latitud Norte, a una altura de 987 msnm y su temperatura promedio es de 24°C. Latitud: (X) 3° 41' 40'' Longitud: (Y) -76° 19' 33''.

### **6.2 clima**

La mayor parte del valle del río Cauca posee un Clima cálido moderado seco. En la Mayor parte del área la precipitación pluvial oscila entre 1000 y 200mm. y las temperaturas promedio anuales entre 23 y 24 °C. En la zona más seca (Unión -Bolívar) la precipitación es de aproximadamente 500mm., mientras en el sector húmedo, al sur del departamento superan los 2000 mm. Anuales. Las lluvias se distribuyen en dos periodos húmedos (marzo-mayo, septiembre -noviembre) y dos secos (junio –agosto, diciembre enero) (Cortes 1982).

### **6.3 Muestreo.**

El muestreo de las aguas de riego se realizó en la fuente hídrica de la hacienda que corresponde al río Cauca, donde se les realizaron los análisis cada año en el mes de febrero

(época de sequía o de mayor requerimiento hídrico del cultivo:  $EVT^6 > P$ ) mediante las siguientes variables:

**Metodologías en laboratorio** (los respectivos procedimientos de determinación del agua de riego superficial están explicados en el anexo 5).

- pH:(pH metro): Clasificación de acides del suelo y agua.
- C.E:(Conductímetro): conductividad eléctrica
- Ca:(absorción atómica):calcio
- Na:(absorción atómica):sodio
- K:(absorción atómica):potasio
- $HCO_3$ :(Colorimetría):bicarbonatos
- $CO_3$ :(Colorimetría): carbonatos
- $SO_4$ :(Colorimetría): sulfatos o sales
- Cl:(Colorimetría):cloro

Teniendo en cuenta los cambios que pueden ocurrir en la composición de estas sales en las muestras de agua, las determinaciones de los  $CO_3$  y  $HCO_3$ , se realizaron directamente en campo.

Para el caso de muestreo edáfico, se tuvo en cuenta las orientaciones establecidas por Ararat (2016) en las que se mencionan las características del área de interés de acuerdo con el estudio detallado de suelos del Valle del Cauca (IGAC, 1969).

---

<sup>6</sup> EVT: evapotranspiración. P: precipitación.

#### 6.4 Ensayo de campo para lavado de sales.

Se planteó el modelo propuesto por Pla (1979) denominado SALSODIMAR<sup>7</sup>, el cual se basa en un balance independiente de los iones más comunes en el agua de riego y en la solución del suelo hasta alcanzar un equilibrio de acuerdo a la fracción efectiva de lavado y a las solubilidades máximas de las diferentes sales bajo diferentes condiciones.

Por otra parte, hay condiciones extremas que ameritan una fracción cercana al 30% de los requerimientos hídricos del cultivo, lo cual lleva a considerar la posibilidad de reducir ese requerimiento de lavado mejorando primero la calidad química del agua de riego con la adición de una enmienda (Pla, 1979).

Con base en los postulados anteriores y teniendo en cuenta que la problemática señalada se formularon preliminarmente los siguientes tratamientos por hectárea:

- Tratamiento 1: Agua de riego sin enmienda (testigo)
- Tratamiento 2: Agua de riego con yeso (1 tonelada en 994 m<sup>3</sup> de agua)
- Tratamiento 3: Agua de riego con vinaza<sup>8</sup> (1 tonelada en 994 m<sup>3</sup> de agua)

La etapa de experimentación en campo duró aproximadamente 10 (diez) meses: La aplicación de la lámina se realizó por el sistema de riego por gravedad que se llevó a cabo en la hacienda Marsella, mediante tubería con ventanas. Para el muestreo se contaron 6 surcos por cada tratamiento, donde los puntos evaluados quedaron ubicados en el centro del

---

<sup>7</sup> El Modelo “Salsodimar” calcula la fracción de lavado requerida para no sobrepasar unos valores límites de RAS en función de la permeabilidad y unas concentraciones de sales totales.

<sup>8</sup> Vinaza a una concentración de 919 m<sup>3</sup> por hectárea+ 100 litros de vinaza

surco. Se tuvo en cuenta la tasa promedio de infiltración para determinar la cantidad de agua aplicada. Las cantidades utilizadas de sulfato de yeso se especifican en el anexo 3.

El muestreo de suelos se realizó cada año para observar la tendencia de los iones.

Se realizó una matriz en formato Excel para el análisis de los datos con estadística descriptiva y definir las respectivas tendencias de cada parámetro.

En la figura 1 se aprecia el sistema de riego utilizado con las siguientes cantidades y frecuencias de riego:



Figura 1. Sistema de riego con tubería de compuertas. Hacienda Marsella suerte 512

Fuente: Autores, 2015



## 7. Resultados

Los datos preliminares de la finca en el periodo 2008 – 2016 en cuanto al comportamiento anual del pH del suelo (Figura 2) muestra que estuvo por encima de los parámetros óptimos o neutros, encontrándose su mayor valor en el año 2012 con un pH de 9.0 el cual es extremadamente alto o alcalino; a partir del año 2013 inicia a descender observándose que para el año 2015 el pH desciende a 8,2, pero aún persiste por fuera de los valores óptimos, los cuales se ubican entre 6.5 a 7.5 que es neutro y adecuado para el cultivo de caña y así tener un buen desarrollo del cultivo y por lo tanto una producción alta tanto en toneladas como en sacarosa.

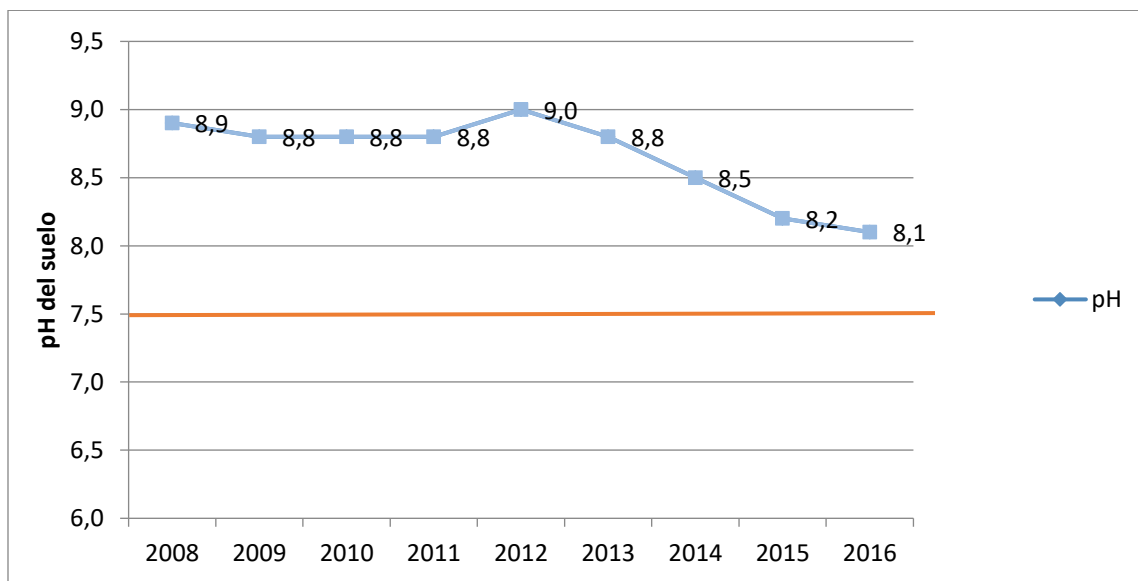


Figura 2. Comportamiento anual 2008 – 2016 de la calidad del suelo en el cultivo de caña de azúcar según el pH, Hacienda Marsella - El Cerrito Valle 2015.

Para la conductividad eléctrica del suelo de acuerdo a la clasificación de la tabla 2, se puede establecer que se cataloga como C11 (no dañino) ya que los valores promedios de todos los tratamientos en los diferentes muestreos estuvieron por debajo de la norma (Tabla 9). En el análisis preliminar de parámetros químicos del agua de riego reportados en la tabla 10, se encontró que el pH, Na y Dureza total, está en los niveles óptimos para determinar la calidad del agua en este cultivo de acuerdo a la tabla 5.

Tabla 9. Valores de la conductividad eléctrica en el suelo

Muestreo del suelo en tiempo	CE (Cmol+. Kg suelo)
Muestreo 1	0,987
Muestreo 2	0,770
Muestreo 3	0,473
Muestreo 4	0,363

Tabla 10. Variables del agua de riego en diferentes épocas (Ingenio Providencia ,2015)

Determinación	2012	2013	2014	2015
pH	7,2	6,4	7,3	7,2
Cationes solubles				
Calcio (Ca <sup>++</sup> )	0,09	0,07	0,1	0,15
Magnesio (Mg <sup>++</sup> )	0,18	0,13	0,16	0,16
Sodio (Na <sup>+</sup> )	0,26	0,22	0,25	0,23
Potasio (K <sup>+</sup> )	0,05	0,06	0,04	0,04
TDS	13,5	10	13	15,5
Suma de Cationes	0,58	0,48	0,55	0,58
RAS	0,71	0,7	0,69	0,58
Dureza Cálcica	4,5	3,5 0	5	7,5
Dureza Magnésica	9	6,5	8	8
Interpretación de la dureza total (FAO)	Baja	Baja	Baja	Baja

En la tabla 10 se presentan valores de otras variables como es el caso de sales solubles (meq/litro): Sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ), Carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ) y Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ); Esta última se interpreta en nivel bajo de acuerdo a la clasificación de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).




Tabla 11. Informes aguas calidad para riego superficiales Año 2012 a 2015

DETERMINACION	Río Cauca 2012	Río Cauca 2013	Río Cauca 2014	Río Cauca 2015
CE dS/m	0,05	0,04	0,05	0,05
Sales Solubles (meq/litro)				
Sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ )	0,33	4,69	0,28	0,47
Carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ )	0	0	0	0
Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ )	0,63	0,32	0,42	0,42
Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )	0,06	0,08	0,08	
INTERPRETACION (FAO)				
Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ )	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Estos datos manifiestan que el agua de riego está en óptimas condiciones para establecer un riego por gravedad en el cultivo de caña de azúcar en el municipio de cerrito (Valle del Cauca).

Resultados del ensayo de lavado del suelo:

Tabla 12. Ensayo con tratamientos de lavado del suelo

Tratamiento1	Tratamiento2	Tratamiento3
agua de riego	agua de riego mejorada con yeso agrícola	agua de riego mejorada con yeso agrícola
dosis 919 m <sup>3</sup> de agua por ha	dosis 919 m <sup>3</sup> de agua + 1 tonelada de yeso por ha	dosis 919 m <sup>3</sup> de agua + vinaza por ha
		

**Fuente:** Ingenio Providencia S.A, Departamento de Campo, 2015.

Después de verificar los resultados de la calidad del agua de riego proveniente de fuente superficial, se obtuvieron efectos en el suelo por acción de la aplicación de enmiendas líquidas establecidas de la siguiente manera:

Los valores del pH se reducen a medida que la concentración de los iones de hidrógeno incrementan, variando entre un rango de 0 a 14. Los valores por debajo 7.0 son ácidos, valores superiores a 7.0 son alcalinos y/o básicos, mientras que los que rondan 7.0 son denominados neutrales. Por cada unidad de cambio en pH hay un cambio 10 veces en magnitud en la acidez o alcalinidad, por tanto en el resultado del suelo paso de ser muy

alcalino ( $pH > 8,6$ ) a Básico o ligeramente alcalino ( $7,6 > pH > 8,5$ ) disminuyo como lo relacionamos en figura 3 con todos los tratamientos.

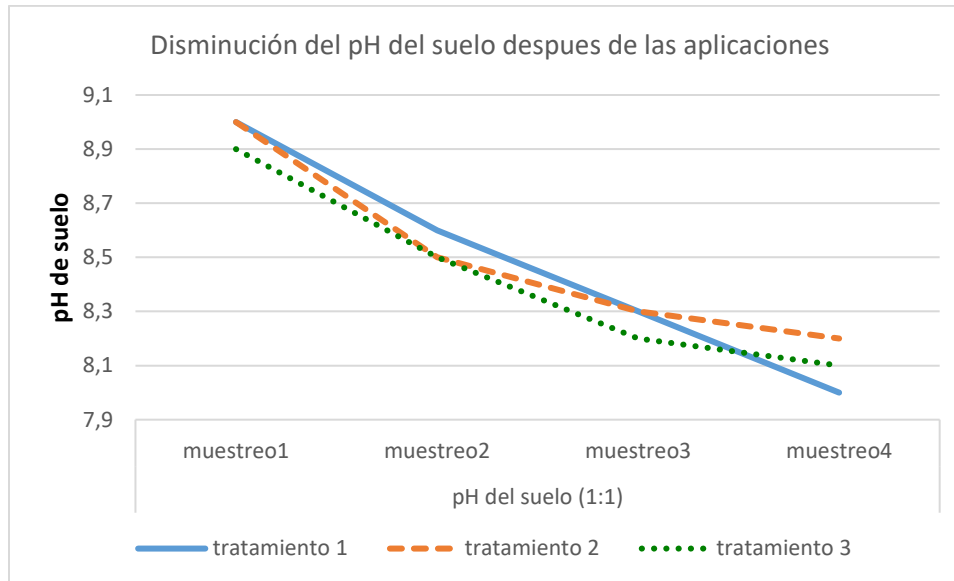


Figura 3. Disminución del pH del suelo después de las aplicaciones de tratamiento

Los niveles de calcio intercambiable aumentaron en función del tiempo, es decir, se reporta de forma más disponible después del riego o lavado, relacionando en este caso el fenómeno de disolución de agua de riego sobre los coloides. Lo anterior se muestra en la figura 4.

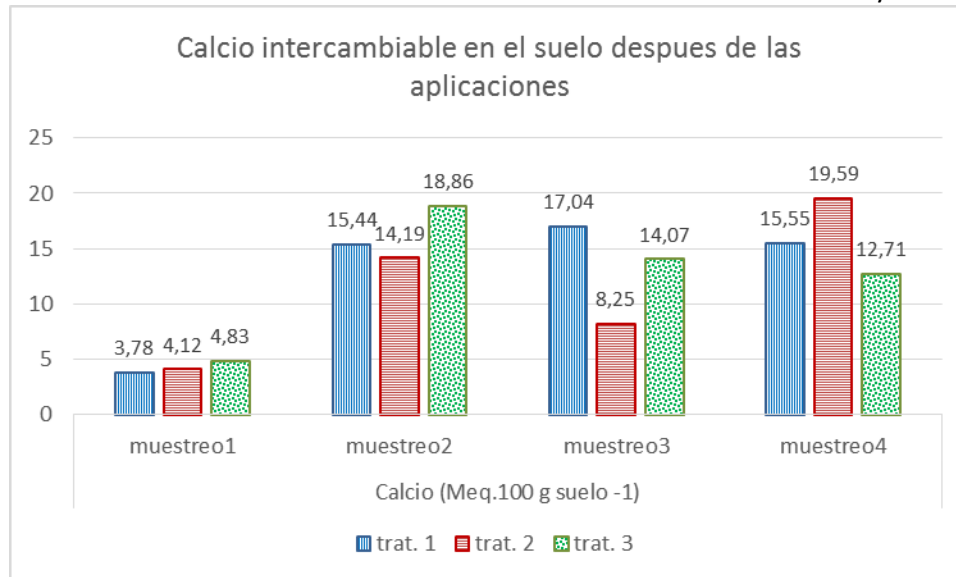


Figura 4. Calcio intercambiable en el suelo después de las aplicaciones

La capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC) tiene como característica principal retener y liberar iones positivos gracias a su contenido en arcillas y materia orgánica, por tanto, a mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su CIC, y este caso el tratamiento con Vinaza (T3) probablemente influye en el incremento de esta variable por su aporte de cargas en la materia orgánica como muestra la figura 5.

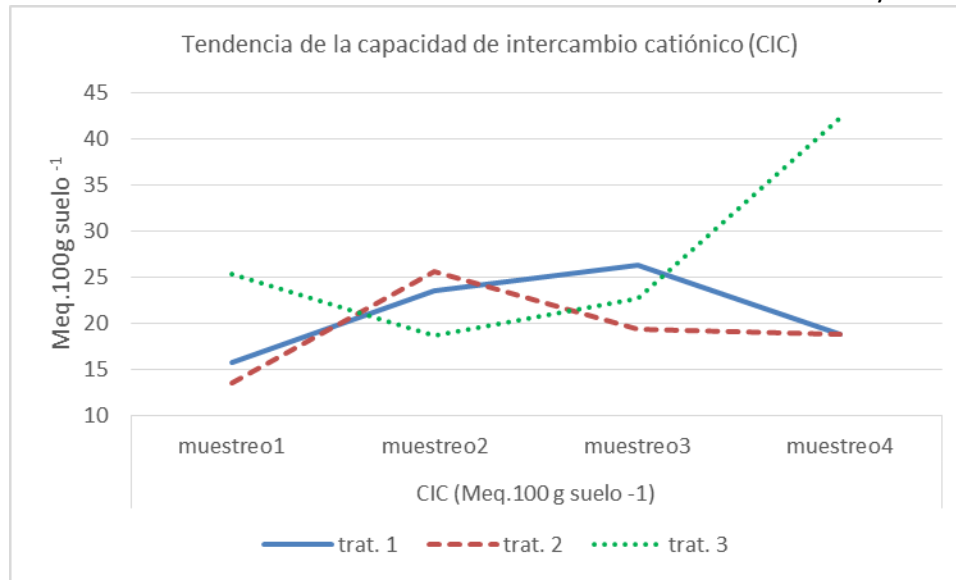


Figura 5. Tendencia de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el suelo

La disponibilidad de calcio (Ca), magnesio (Mg), no solo depende de su contenido en el complejo de cambio y en la solución, sino también de la competencia que se puede presentar entre estos elementos; comportamiento que varía de acuerdo a la selectividad catiónica de los suelos.

La relación calcio / magnesio óptima en el suelo debe de ser de 2 a 1, sin embargo en los promedios de todos tratamientos se puede apreciar una relación con tendencia de 3 a 1, como lo se relaciona en la figura 6.

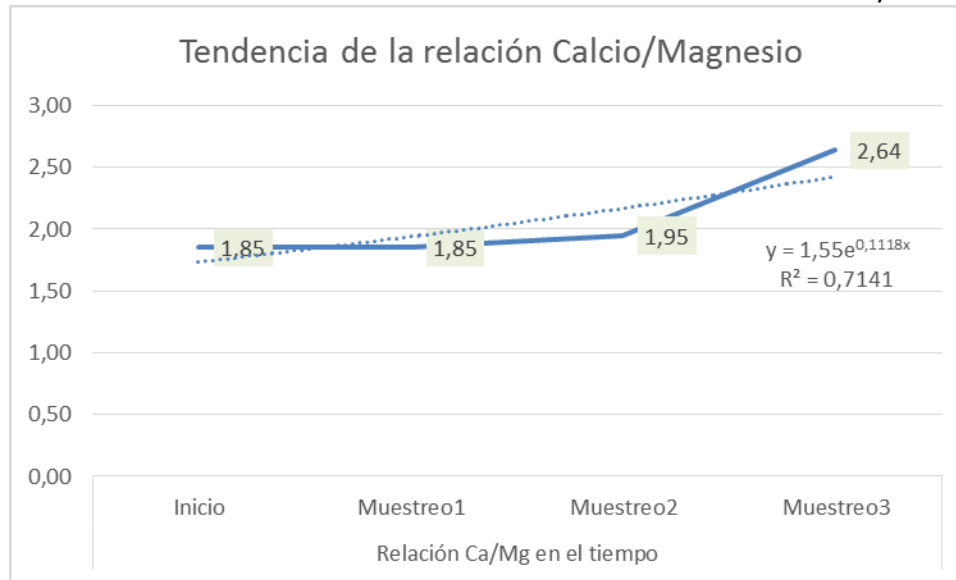


Figura 6. Tendencia de la relación calcio /magnesio en el suelo

Cuando se realizan estudios de salinidad, frecuentemente se cuestiona la relación entre el sodio intercambiable y el sodio soluble en el agua del suelo. Normalmente el Sodio ocupa algunas de las posiciones de Intercambio del suelo a la vez que pueden estar vacías algunas de ellas en caso de que el suelo no este saturado de bases. Cuando el suelo está saturado de bases, un buen porcentaje de ellas es fácilmente extraíble con agua sola. Para todos los tratamientos de riego, disminuyó la saturación de sodio intercambiable en función del tiempo como se relaciona en la figura 7, mostrando un alto coeficiente de determinación ( $R^2= 0,89$ ), teniendo en cuenta que para el segundo año el tratamiento con vinaza mostro altos valores de calcio.



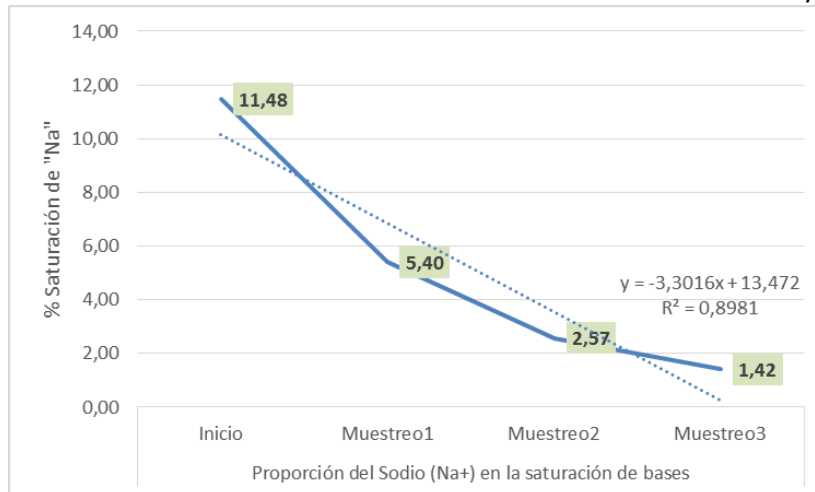


Figura 7. Disminución de la saturación de sodio del suelo

En la figura 7 se puede observar descenso de la saturación del PSI lo cual indica que al no estar tan saturado de sales sodio, quedando en niveles bajos como se interpreta a partir de la tabla 3.

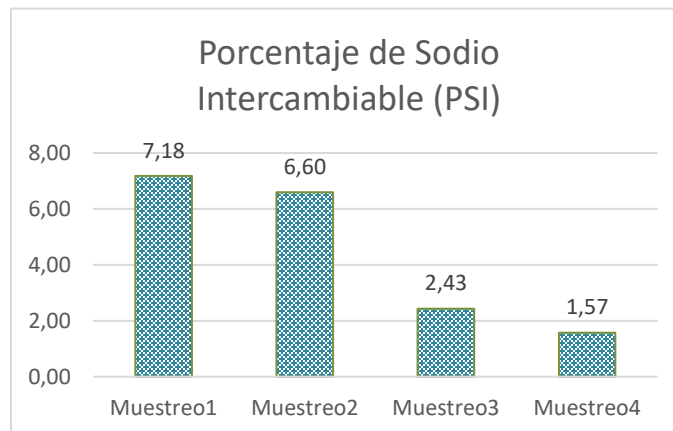


Figura 8. Porcentaje de Sodio Intercambiable en el suelo

Con la aplicación de vinaza en el riego se aprecian correlaciones altas de la saturación de potasio ( $R^2 = 0,5$ ) y materia orgánica ( $R^2 = 0,96$ ), lo cual hace que el suelo cuente óptima

disponibilidad de este catión para la nutrición de la planta (Figura 9). Las vinazas contienen un gran contenido de materias orgánicas y nutrientes como nitrógeno, fósforo, azufre y una gran cantidad de potasio. Entre los compuestos orgánicos más importantes, están los alcohol es, ácidos orgánicos y aldehídos. Además, también contiene compuestos fenólicos recalcitrantes como las melanoidinas. Son ácidas (pH entre 3 y 4), sin embargo la composición química de la vinaza depende de la materia prima que se utilice, de las condiciones climáticas, del suelo y del proceso de producción del alcohol (Isarri, 2006).

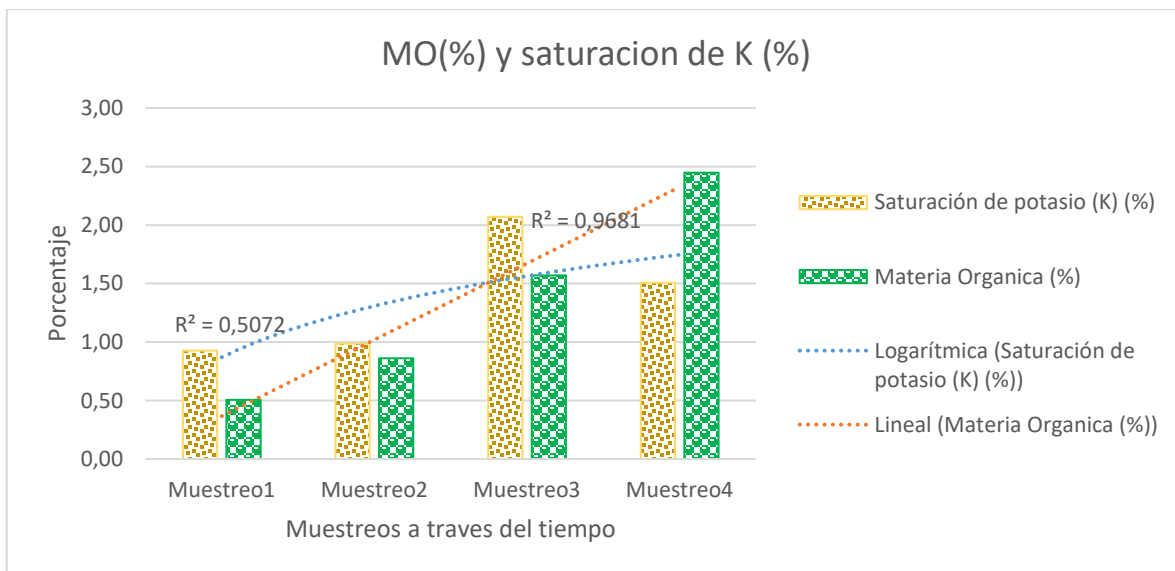


Figura 9. Incremento (%) de Materia Orgánica y Potasio en el suelo

## 10. Conclusiones

El presente procesamiento de datos tuvo como objetivo fundamental diagnosticar la calidad de agua de riego y su correspondiente manejo para un suelo salino en el cultivo de caña de azúcar bajo condiciones ambientales en el municipio del Cerrito Valle del Cauca en el año 2015, con la finalidad de establecer condiciones óptimas para la toma de nutrientes del cultivo en la Hacienda Marsella 512, de las cuales se puede concluir lo siguiente.

- El pH del suelo se redujo de 9.0 a 8.0 aunque está por encima de los valores óptimos y estándar para el desarrollo de caña de azúcar, el pH del suelo de la Hacienda Marsella paso de ser un suelo muy alcalino ( $\text{pH} > 8,6$ ) a ser ligeramente alcalino ( $7,6 > \text{pH} > 8,5$ ) lo cual produce un suelo más manejable para el cultivo de caña (6.8).
- Se presentó una disminución o descenso de la saturación del PSI lo cual indica que al no estar tan saturado de sales sodio, quedando en niveles bajos.
- La aplicación de agua de riego más vinaza tuvo un efecto en la disminución del sodio en el suelo e incrementa valores de materia orgánica y potasio.
- La capacidad de intercambio catiónico aumentó debido a la aplicación de las enmiendas en el riego.

- Macronutrientes tales como el Magnesio y Calcio, se mantuvieron a lo largo del tiempo dentro de sus valores óptimos de referencia, con una tendencia hacia la relación 3:1 que se considera de buena condición.
- La aplicación de la aplicación de riego con yeso o vinaza en el manejo y recuperación de suelos salinos tiene efectos en el suelo, principalmente la disminución del pH.

## 11. Recomendaciones

- A la Hacienda Marsella, Ingenio Providencia S.A, se recomienda que capaciten a Mayordomos, Cabos y Obreros en el manejo de los suelos salinos, para lograr recuperar este tipo de suelo en el menor tiempo posible y lograr que el cultivo de caña de azúcar que se desarrolle en este tipo de suelo, logre su pleno desarrollo y cumpla con las expectativas del producto esperado.
- Utilizar correctores de pH tales como el yeso y la vinaza, que permite estabilizar la dureza del agua.
- A la Universidad Nacional abierta y a distancia, CEAD Palmira, se recomienda dar continuidad al enfoque del presente estudio, ya que es de suma importancia analizar la condición en la cual se desarrollan los cultivos, trayendo beneficios de aprendizaje tanto a los estudiantes como a las empresas.

## 12. Referencias bibliográficas

Aguirre, (s.f). Calmèo, Publicaciones. ¿Qué es la caña de azúcar? Recuperado de <http://es.calameo.com/books/0048028054dfa363eb81b>.

Ararat O., M. 2016. Generalidades de suelos. (Archivo de video). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10596/9338> y <https://www.youtube.com/watch?v=vcfPHZ63Vtc>

Ayers, R.S., y D.w. Westcot. 1985. Calidad de agua para agricultura, FAO Irrigation and Drainage, hoja 29, FAO, Roma, 156p.

Gasca C., Bolívar G., Sánchez E., Moreno D., Sandoval D. 2015. Guía para el mejoramiento de labores agrícolas. Fascículo Numero 6: Fertilización, Archivo de Publicaciones Ingenio Providencia S.A, Gerencia de Campo.

Guy Sela, 2016, La calidad del agua de riego. Smart Fertilizer management, Blog. Recuperado de: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality> .

Hamlet, 2012, Cultivos. ¿Es su agua de riego adecuada para su cultivo? Recuperado de: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/62BE8B18BD5BD3C206256AE8005EF92A/\\$file/es+su+agua.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/62BE8B18BD5BD3C206256AE8005EF92A/$file/es+su+agua.pdf).

Hydroeviroment, (s.f), productos. ¿Qué es el riego?. Recuperado de: [http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=112](http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=112).

Instituto Geográfico "Agustín Codazzi." (IGAC), Mosquera, L. L., & Corporación Autónoma Regional del Cauca CVC (1969). Estudio detallado de suelos, para fines agrícolas, del sector plano de los municipios de Ginebra, Guacarí, Cerrito y Palmira (Departamento Valle del Cauca). Bogotá: Colombia, Dirección Agrologica.

Infoagro, (s.f). Documentos. El Cultivo de Caña de azúcar. Recuperado de: [http://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_cana\\_azucar.asp](http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_cana_azucar.asp).

Ingenio Providencia S.A, 2015. Informe de sostenibilidad 2014 – 2015. Recuperado de: [file:///C:/Users/PRINCIPAL/Downloads/informe\\_de\\_sostenibilidad\\_2014\\_-\\_2015-providencia.pdf](file:///C:/Users/PRINCIPAL/Downloads/informe_de_sostenibilidad_2014_-_2015-providencia.pdf).

Ingenio Providencia S.A, 2015. Proceso De Fertilización Año 2011- 2015 Ingenio Providencia S.A. Gerencia de Campo, El Cerrito, Colombia.

Lamz, Alexis y González, Maria. (2013). Scielo. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. Recuperada de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362013000400005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400005)

Madrid Más, (s.f), los suelos y la vida, Publicaciones. Tipo de Suelos Salinos. Recuperado de: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/04/8182>.

Pla, I. 1971. Evaluación de la influencia de factores naturales y artificiales en la recuperación y prevención de desarrollo de suelos afectados por sales. Rev. Agron. Trop. 21(5): 411-420.

Procaña, 2012. Asociación colombiana de productores y proveedores de caña de azúcar, Estadísticas. Historia de la Caña de azúcar. Recuperado de: <http://www.procana.org/new/estadisticas/historia-de-la-ca%C3%Bl-a-de-azucar.html>.

Significados, (s.f) Términos generales, Diagnostico, Recuperado de: <https://www.significados.com/diagnostico/>.

Sancllemente, Oscar, Ararát, Milton, De La Cruz , Cristihan. (2015). Contribución de Vigna unguiculata L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1404/1728>

Venemedia, 2015, Concepto, General. Agua concepto y definición. Recuperado de: <http://conceptodefinicion.de/agua/>.

### 13. Anexos

**13.1 Anexo 1.** Principales contribuciones físicas, químicas y biológicas que pueden obstruir un sistema de riego por absorción.

<b>A. Físicas</b>	<b>B. Químicas</b>	<b>C. Biológicas</b>
Sólidos en Suspensión	Precipitados	Bacterias Algas
1. Orgánicas	1. Carbonatos de Calcio y Magnesio	1. Filamentos
a. Plantas acuáticas (fitoplankton)	2. Sulfato de Calcio	2. Mucosa
b. Animales acuáticos (zooplancton)	3. Hidróxidos de minerales pesados óxidos, carbonatos silicatos y sulfatos	3. Deposiciones
c. Bacterias	4. Fertilizantes	a. Hierro
2. INORGANICAS	a. Fosfato	b. Azufre
a. Arena	b. Amonio	c. Manganeso
b. Limo	C. Fe, Zn, Cu, Mn	
c. Arcilla		

**Fuente:** Clasificación de Uso y Aguas de Riego, Sánchez 2012



### 13.2 Anexo 2. Datos Climatológicos mensuales Hacienda Marsella

#### Datos Precipitación y Evaporación Marsella 2016

MES	EVAPORACIÓN (mm)	PRECIPITACIÓN (mm)	DIFERENCIA (mm)
ENERO	160,2	0	160,2
FEBRERO	140,2	47	93,2
MARZO	124,1	122	2,1
ABRIL	105	111	-6
MAYO	104,5	201	-96,5
JUNIO	113,3	1	112,3
JULIO	126,9	32	94,9
AGOSTO	141,6	10	122,6
SEPTIEMBRE	147,1	51	96,1

OCTUBRE	108,7	135	-26,3
NOVIEMBRE	107,2	56	51,2
DICIEMBRE	112,8	60	52,8

**Fuente:** Clasificación de Uso y Aguas de Riego, Sánchez 2012

Datos Precipitación Y Evaporación Marsella 2017

MES	EVAPORACIÓN (mm)	PRECIPITACIÓN (mm)	DIFERENCIA (mm)
ENERO	106,1	60	46,1
FEBRERO	129,2	26	103,2
MARZO	29,5	6	23,5

**Fuente:** Clasificación de Uso y Aguas de Riego, Sánchez 2012

### 13.3 Anexo 3. Yeso agrícola y vinaza utilizada en el ensayo de campo.



Imágenes de autores.

Antes de iniciar los procesos de recuperación fue indispensable y prioritario realizar una caracterización adecuada del problema de sales y, es de fundamental importancia, la evaluación de la calidad del agua de riego para determinar el efecto posible en el cultivo y en el suelo. El agua es el elemento básico en la recuperación ya que disuelve y mueve las sales para llevarlas fuera del perfil radicular, para lo cual se necesita un buen drenaje (García, 2006).

- **Dosis de mejoradores químicos y necesidad de lavado de sales.** En la recuperación de suelos sódicos es necesario el cálculo de correctivos químicos como azufre (S) o el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). La cantidad de correctivo se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{DOSIS (kg/ha)} = [(PSI_i - PSI_f) * CIC * Pe * h * Da] / 100$$

**PSI<sub>i</sub>:** porcentaje de sodio intercambiable inicial

**Pe:** peso equivalente del correctivo (azufre=16 y yeso=84)

**PSI<sub>f</sub>:** porcentaje de sodio intercambiable final

**h:** profundidad del terreno a corregir

**CIC:** capacidad de intercambio catiónico del suelo

**Da:** densidad aparente del suelo.

En cuanto al lavado de sales, esta se determinó con la siguiente relación:

$$RL = C_{ear} / C_{ead} * 100, (\%)$$

**RL:** requerimiento de lavado

**C<sub>ead</sub>:** conductividad eléctrica del agua de ri

**C<sub>ear</sub>:** conductividad eléctrica deseada

$$L_r = C_{ead} (C_{ead} - C_{ear}) * UC, (\text{cm})$$

**L<sub>r</sub>:** Lámina de agua necesaria

**UC:** Uso consuntivo del cultiv

### 13.4 Anexo 4. Determinaciones de laboratorio necesarias para evaluar la calidad de agua para riego.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango Usual
<b>Salinidad</b>			
Conductividad eléctrica	CEa	dS m <sup>-1</sup>	0-3
Total sodios disueltos	TSD	mg l <sup>-1</sup>	0-2000
<b>Cationes y Aniones</b>			
Calcio	Ca <sup>++</sup>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0-20
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0-5
Sodio	Na <sup>+</sup>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0-40
Potasio	K <sup>+</sup>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0 – 0.02
Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0-0.1
Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0-10
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0-30
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0-20
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	cmol(+)l <sup>-1</sup>	0-5
<b>Misceláneos</b>			
Boro	B	mg l <sup>-1</sup>	0 - 2
Reacción	pH		6-8,5
Reacción Absorción de sodio	RAS	(cmol(+)l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	0 -15

\*RAS= Na/(Ca+Mg)<sup>1/2</sup>

**Fuente:** Ayers, R.S., y D.w. Westcot. 1985. Calidad de agua para agricultura, FAO Irrigation and Drainage, hoja 29, FAO, Roma, 156p

### 13.5 Anexo 5. Métodos de laboratorio

Variable	Método Analítico	1
MO( %)	Walkley y Black; y por combustión seca (mufla)	
CIC(cmol kg <sup>-1</sup> )	Acetato de amonio (1.0 N, pH 7.0)	
pH (H <sub>2</sub> O)	(potenciometría)	
Textura	Bouyoucos	
†Humedad (%)	Gravimetría	

La determinación de Nutrientes por método de Absorción atómica

## 14. Plan de mejora

---

Plan de mejora aplicado a la hacienda Marsella, para asegurar la recuperación del suelo salino de la suerte 512

---

**OBJETIVO GENERAL:** Socializar la Guía para el mejoramiento de labores agrícolas del Ingenio Providencia S.A, a los trabajadores (Mayordomos, Cabos y Obreros), de la Hacienda Marsella, con el fin de mejorar la calidad del suelo y reforzar las prácticas agrícolas implementadas.

<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	Brindar educación acerca del mejoramiento de labores agrícolas y recuperación de suelos salinos, a través de material pedagógico y dinámico. Evaluar los conocimientos previos y prácticas que cada uno de los integrantes del grupo de trabajo de la Hacienda aplica en sus labores agrícolas.
<b>POBLACION OBJETO</b>	Realizar seguimiento a las labores agrícolas posterior a la educación brindada a los trabajadores y evaluar la calidad del suelo y su salinidad. Mayordomos, Cabos y Personal Obrero de la Hacienda Marsella, Ingenio Providencia S.A
<b>ALCANCE ESPERADO</b>	Se espera que a través de esta intervención educativa el personal de trabajo de la Hacienda Marsella, logre realizar una recuperación optima del suelo que esta suerte presenta, de igual manera se pretende que logren corregir todas aquellas prácticas agrícolas que no estén aportando al suelo y a la producción de la caña de azúcar.
<b>MATERIAL</b>	Diapositivas Video BEAM Folletos

---