

EVALUACIÓN POS-INUNDACIÓN DE LA CORRECCION ALCALINA DE LOS
SUELOS DE LA HACIENDA CAÑERA SAN ALFONSO, CORREGIMIENTO
PALMASECA, PALMIRA, VALLE DEL CAUCA

PEDRO PABLO LENIS USCÁTEGUI

CODIGO: 16.855.389

FREDDY TOVAR VICTORIA

CODIGO: 6.400.721

DIRIGIDO POR:

Ingeniero Agrónomo EFIGENIO HERNANDEZ GARCIA

Ingeniero Agrícola JAVIER JARAMILLO BRAVO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA CEAD PALMIRA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE –
ECAPMA
AGRONOMÍA

PALMIRA, FEBRERO DE 2012

DEDICAMOS:

A Dios

Por habernos permitido llegar hasta este proceso de crecimiento personal y lograr nuestros objetivos.

A nuestros padres

Por su amor, consejos, valores y la motivación constante que nos ha permitido ser una persona de bien.

A nuestras esposas e hijos

Por su apoyo constante e incondicional mostrado para salir adelante, más que nada, por su amor.

A nuestras familias

Gracias a todos por el apoyo que nos brindaron para culminar nuestra carrera profesional

A nuestros tutores y directores académicos

Por su esfuerzo y dedicación en este proceso de educación

A todas y todos

Los que de corazón me acompañaron en este proceso de crecimiento profesional

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que creyeron en este trabajo contribuyendo de una u otra forma en su fortalecimiento.

Un fraternal reconocimiento a:

Ingenio Providencia S.A., Por darnos apoyo a la presente investigación.

Al Departamento de Diseño Agrícola y el Laboratorio Químico de Campo, por los espacios brindados y colaboración en el trabajo cartográfico, los muestreos y los análisis de suelos y aguas.

Efigenio Hernández García. Ingeniero Agrónomo Por su humanismo, gran amigo, consejero y valiosos aportes académicos.

Javier Jaramillo Bravo y José Rafael Rojas Legarda, Ingenieros Agrícolas. Por su apoyo, colaboración, en este proceso de crecimiento personal y profesional.

Alvaro Quiceno Martínez, Zootecnista. Por su gran colaboración y dedicación.

Reinaldo Giraldo Díaz, Msc. Por su incondicional colaboración y apoyo.

Fredis Albeiro Pérez (Q.E.D). Por su gran colaboración, y a todo el personal del Laboratorio Químico de Campo de Ingenio Providencia S.A., que participaron en la toma y análisis general de las muestras.

RESUMEN

Se investigó los posibles efectos en reducción de pH y lavado de sodio causado por la inundación de los terrenos de la hacienda cañera San Alfonso proveedora de caña de azúcar del Ingenio Providencia S.A., localizada en el Municipio de Palmira, Departamento del Valle del Cauca, Corregimiento de Palmaseca, a 951.30 msnm (3°42'55.62" N – 76°22'06.6" W) Se realizaron análisis de suelos, aguas de riego, aguas de canal de drenaje, aguas freáticas, se realizó balance de sales (Ca, Mg, Na y K) comprobándolos con la condición química pre-inundación año 2008. Se reconocieron tres zonas (inundable, semi-inundable y no-inundable), cambios notables en pH, con valores en el año 2008 (9.7 - 7.2) y en el 2011 (8.6 - 6.5). El Na⁺ procedente del riego continuo siendo uno de los elementos que más se incorpora durante el manejo del cultivo, y la relación Ca/Mg resultó invertida por los altos contenidos de Mg incorporados y el lavado de Ca encontrado en las aguas del canal de drenaje. Se recomienda estrategias que tengan en cuenta la contribución prudente de sales, lenta mineralización de residuos de cosecha, retención de las aguas lluvias en el suelo, planes de riego que combinen las aguas duras del riego actual con aguas blandas de otra fuente y examinar la fertilización y los aportes de K⁺ ante los contenidos altos, encontrados en los canales de drenaje.

Palabras claves: Efecto de la reducción de pH, lavado de sales, inundación de terrenos,

ABSTRACT

We Investigated the possible effects on reduction of pH and washing of sodium caused by the flooding of the grounds of the sugarcane hacienda San Alfonso supplier of sugar cane of the Ingenio Providencia S.A., located in the municipality of Palmira, Department of Valle del Cauca, Corregimiento of Palmaseca, to 951.30 masl (3°42'55.62 "N - 76°22'06.6" W) were conducted soil analysis, irrigation, drainage, ground water, canal water water balance of salts (Ca, Mg, Na and K) was checking with the chemical condition pre-inundation year 2008. Three areas (flooded, semi-inundable and non-flooded), notable changes in pH, with values in the year 2008 (9.7 - 7.2) and 2011 (8.6 - 6.5). The Na⁺ from the continuous irrigation is one of the elements that most joins during the management of cultivation and the Ca/Mg ratio was inverted by the high content incorporated Mg and the washing of Ca found in the waters of the drainage channel. Is recommended strategies that take into account the prudent contribution of salts, slow mineralization of crop residues, retention of the rainwater in the soil, irrigation plans that combine hard waters of current irrigation with soft water from another source and examine the fertilization and the contributions of K⁺ at the high contents found in the drainage canals.

Keywords: Effect of reduction of pH, washing salts, flood lands,.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específicos	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO	5
4. METODOLOGÍA	7
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
5.1 Geografía del pH de la hacienda San Alfonso	10
5.2 La Conductividad Eléctrica (Ce dS/m)	10
5.3 Materia orgánica (MO)	17
5.4 Sodio intercambiable y porcentaje de saturación	21
5.5 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	23
5.6 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	25
5.7 Contribución del agua del riego al mantenimiento del pH en rangos de manejo	25
5.7.1 Drenes Topo	28
5.7.2 Análisis de Aguas Freáticas y Drenajes.	33
5.8 Relacionando la condición especial del suelo con el manejo del cultivo	36
5.9 Balance de sales	42
6. CONCLUSIONES	44
7. RECOMENDACIONES	45

8. BIBLIOGRAFÍA	46
9. ANEXOS	50

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados de análisis químicos de suelos de la hacienda cañera San Alfonso antes de la inundación (año 2008).	12
Tabla 2. Análisis químico de suelo post inundación 2011.	13
Tabla 3. Guía de interpretación de la calidad de agua para riego.	26
Tabla 4. Nivel freático hacienda San Alfonso.	27
Tabla 5. Análisis químico de aguas freáticas	30
Tabla 6. Caracterización química del agua de pozo profundo (55 m).	32
Tabla 7. Valores de riesgo sódico a partir de carbonato de sodio residual-CSR (carbonato de sodio residual).	33
Tabla 8. Análisis químico de Aguas del canal de drenaje.	35
Tabla 9. Itinerario de técnicas y contribución química al suelo en 19.58 ha de caña de la hacienda San Alfonso, Palma seca (Palmira, Valle del Cauca).	36
Tabla 10. Balance de sales de Ca, Mg, K y Na en la plantación cañera de la hacienda San Alfonso, a partir de las operaciones técnicas relevantes de fertilización, riego y encalle de residuos de cosecha.	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación hacienda San Alfonso, municipio de Palmira, Vale del Cauca, corregimiento Palmaseca.	7
Figura 2. Plano actual de la hacienda San Alfonso.	8
Figura 3. Distribución de la inundación durante la ola invernal de 2010- 2011.	10
Figura 4. Comparación del comportamiento del pH entre 2008 y 2011.	14
Figura 5 Distribución de la Conductividad Eléctrica años 2008 y 2011.	17
Figura 6. Distribución de los contenidos de materia orgánica años 2008 y 2011.	18
Figura 7. Contenido y saturación de sodio.	22
Figura 8. Capacidad de Intercambio catiónico.	24
Figura 9. Canal de drenajes.	34

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo cerca de la tercera parte de las áreas bajo riego (70 millones de ha) están afectadas por diferentes niveles de salinidad. Estas áreas, proveen alimentos para el 14% de la población mundial, pierden substancialmente su productividad debido a la desertificación y salinización. Más de 400 millones de ha de tierras potencialmente arables están afectadas por la presencia excesiva de sales solubles en los suelos (Pessarakli, 1991).

En suelos con altas concentraciones de sodio en el complejo de cambio, se presenta un elevado pH y el deterioro de las condiciones químicas y físicas, por la capacidad para conducir agua, al tiempo que causa desbalance nutricional que afecta las plantas.

Las investigaciones sobre la recuperación de suelos con problemas de salinidad y/o sodicidad, están encaminadas al uso de nuevos métodos que tengan efecto en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. El trabajo realizado por Zahow y Amrhein (1992), quienes aplicaron polímeros sintéticos y yeso a un suelo salino-sódico logrando una disminución considerable en el porcentaje de sodio intercambiable - PSI y en la conductividad eléctrica - Ce cuando se aplicaban mezclados al suelo.

Los efectos de las sales en el suelo son muy variados, aunque generalmente inciden sobre el suministro de agua para las plantas, reduciendo generalmente su absorción por la alta presión osmótica que se genera en los suelos con alta concentración de sales solubles, e indirectamente cuando el ión sodio produce deterioro físico del suelo, causando disminución en la penetración y almacenamiento de agua en el mismo.

La concentración de sales solubles elevan la presión osmótica de la solución del suelo, el agua tiende a pasar la solución de menos concentrada a la más concentrada para diluir estas últimas e igualar la presión osmótica de ambas, cuando la concentración salina de la solución del suelo es superior a la del jugo celular de las plantas, el agua tiene tendencia a salir de estas últimas hacia la solución del suelo, este efecto llevó a (Shimper 1903) a plantear la teoría de la sequedad fisiológica, postula que en medios salinos, aunque exista humedad elevada, las plantas sufren stress hídrico y terminan con marchitez permanente.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la composición química de un suelo salino-sódico de la hacienda cañera San Alfonso (Ingenio Providencia S.A., Valle del Cauca) sometido a inundación natural durante la ola invernal del periodo 2010 – 2011, analizar aguas de fuentes hídricas de riego y nivel freático.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar los parámetros químicos de pH, Conductividad Eléctrica (Ce), Materia Orgánica (MO), Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.), Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y Porcentaje Saturación de Sodio antes y después de la inundación natural de los suelos de la hacienda cañera San Alfonso.
- Examinar la composición química de las aguas de riego y de nivel freático y el balance de sales que genera el manejo de la plantación de caña.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hasta el año 2001 el Valle geográfico del río Cauca (que se extiende desde el municipio de Santander de Quilichao Cauca, comprendiendo todo el Valle del Cauca, hasta La Virginia-Risaralda), contaba con 13 ingenios azucareros que ocupaban una extensión de 187.987 ha en 2059 haciendas y 1600 cañicultores, de las cuales 144.523 ha se localizaban en el Valle del Cauca y 43.464 ha entre Cauca y Risaralda. (Mora, 1998)

En la actualidad cuenta con 12 Ingenios azucareros que ocupan una extensión de 218.000 ha entre los cuales se destaca el Ingenio Providencia S.A, con un área total de 29.654,59 ha, distribuidas en 30 haciendas propias (6.860,36 ha), 7 haciendas arrendadas (340,27 ha), 90 haciendas en participación (5.274,75 ha), 7 haciendas proveedoras con administración directa (314,95 ha) y 333 haciendas entre proveedoras (15.665,97 ha) y en compra ocasionales (1.198,29 ha) (Ramos, 2011).

Entre los diversos suelos de Ingenio Providencia, S.A. se destacan los salino-sódicos, los cuales se encuentran parcialmente en nueve de las 467 haciendas. Esta condición ha sido objeto de preocupación desde comienzos de la década 80 del siglo pasado, con el fin de mejorar las propiedades del suelo para caña (Laboratorio Químico de Campo – Ingenio Providencia, S.A. 1983).

En 1980 la Superintendencia de Campo del Ingenio Providencia S.A, inicia la intervención técnica para corregir las condiciones salino-sódicas de terrenos de las haciendas Marsella, El Oviedo y La Ínsula, mediante fanguero (siembra de arroz por inundación) y por enmiendas ricas en sulfatos (Lenis y Tovar, 2011).

Las técnicas de corrección de suelos salino-sódicos y/o magnésicos se realizan con los métodos de drenajes subterráneos y enmiendas químicas como yeso agrícola y azufre elemental para lograr la lixiviación de las sales y el sodio. En la actualidad se está tratando de complementar estas técnicas de ingeniería y de corrección química con la vinaza, subproducto de la destilería de alcohol carburante (Gasca, 2010).

La experiencia acumulada de recuperación y las estrategias de mantenimiento de condiciones químicas de los suelos (como el uso de de la variedad V-7151, fertilización con productos de base sulfatadas con residualidad ácida, aguas de dureza reducida para riego y actualmente aplicación de vinaza) constituyen esfuerzos por mantener rendimientos comerciales aceptables; a estas situaciones se le suma la oportunidad de generar información sobre posibles contribuciones que han realizado las inundaciones naturales de 2010-2011 como consecuencia de la ruptura de un dique del río Guachal, el cual posiblemente ejerció un lavado de sales en los terrenos de la hacienda San Alfonso.

Como las inundaciones de 2010-2011 fueron vistas negativamente por afectar las producciones agrícolas, agroindustrias, ganaderías, viviendas y obras civiles, resulta oportuno generar información sobre la existencia de efectos benéficos naturales en terrenos que comienzan la vida productiva en caña de azúcar como la hacienda San Alfonso.

Esta información también permitirá conocer la naturaleza química de las aguas procedentes de la inundación y de esta manera apreciar las potencialidades o restricciones que tendrían los riegos periódicos de estas fuentes (acuífero de 55 m -pozo) (Colpozos, 2010). Características de los pozos de la hacienda San Alfonso en la composición química del suelo y el desarrollo del cultivo de la caña.

3. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

Entre las causas naturales que originan los problemas de salinidad se encuentran el intemperismo de los minerales, la precipitación atmosférica y las sales fósiles; las actividades humanas que contribuyen con esta condición están relacionadas con el uso del agua de riego con alta salinidad y desechos industriales. En el Valle del Cauca, esta problemática se restringe solo a las áreas más secas (Zarzal y Palmaseca), características que imponen limitaciones fuertes para su uso agropecuario intensivo (Herrada y Madero, 2009).

Los suelos salino-sódicos se caracterizan por presentar $\text{pH} \leq 8.5$, conductividad eléctrica $\geq 4 \text{ dS/m}$, $\text{PSI} > 15\%$, exceso de sales que no deja que la estructura se colapse al impedir la dispersión de los coloides y no presentan los problemas físicos de los suelos sódicos. La eliminación de las sales antes que el Na^+ , los transforma en sódicos.

La perspectiva química de las investigaciones y técnicas que se orientan a la corrección de los factores que dificultan la lixiviación de las sales se centra en la utilización de ácidos o precursores de ácidos como el azufre elemental (S), la pirita (Sulfuro de Hierro, FeS_2) y las enmiendas de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). En el enfoque biológico se considera la bioremediación mediante uso de bacterias con capacidad de transformar los contenidos de azufre elemental o algunas sales de sulfato como la aplicación de bacterias acidofílicas del género *Thiobacillus* (López, 2002). También se considera la aplicación de vinaza complementada con una red de drenaje adecuada que evite la acumulación de sales de Ca y Mg en el perfil del suelo (Herrada y Madero 2009).

Para el manejo de estos suelos se recomienda resolver primero el problema del exceso de Na^+ y luego el de las sales; si se hace el proceso contrario, se transforma en un suelo sódico, dificultándose la recuperación. Se recomienda aplicar enmiendas para desplazar Na^+ , luego se hacen los lavados, tanto para eliminar el Na^+ como las sales, teniendo en cuenta que el lavado de las sales es más eficiente que el del Na^+ (Jaramillo, 2002).

4. METODOLOGÍA

La investigación se realizó en los terrenos de la hacienda San Alfonso (50 ha) proveedora de caña del Ingenio Providencia S.A. (coordenadas geodésicas son: Latitud de 3°42'55.62" N – Longitud de 76°22'06.6" W y Altitud de 951.30 msnm) localizada en el corregimiento de Palmaseca, municipio de Palmira, Valle del Cauca (Figuras 1 y 2). La precipitación media anual que alcanzan hasta 1500 mm, 950.75 msnm, temperatura media de 24°C, con una condición textural arcillosa-(Ar) en la mayoría de los suelos pertenecientes a la serie de suelos Palmaseca (IGAC 1980).

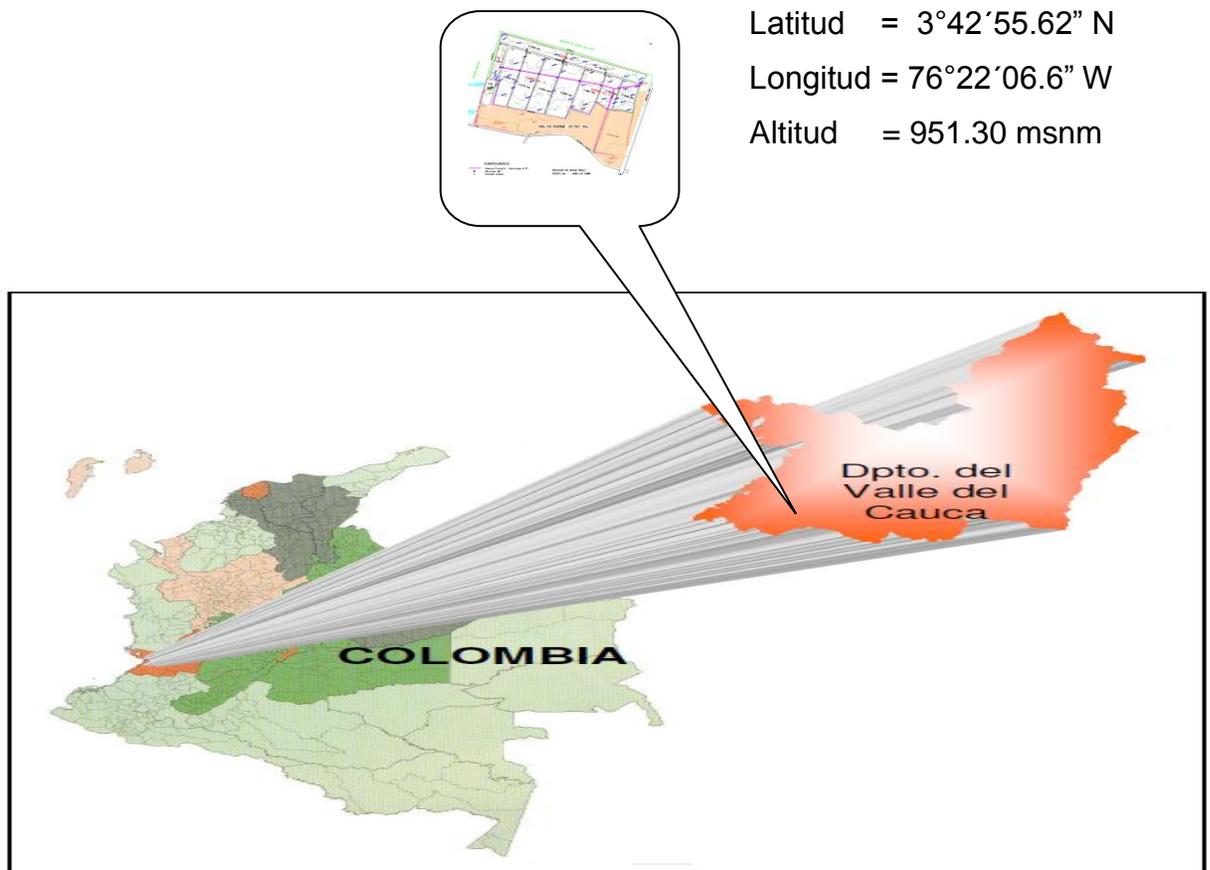


Figura 1. Ubicación hacienda San Alfonso, municipio de Palmira, Vale del Cauca, corregimiento Palmaseca. Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A

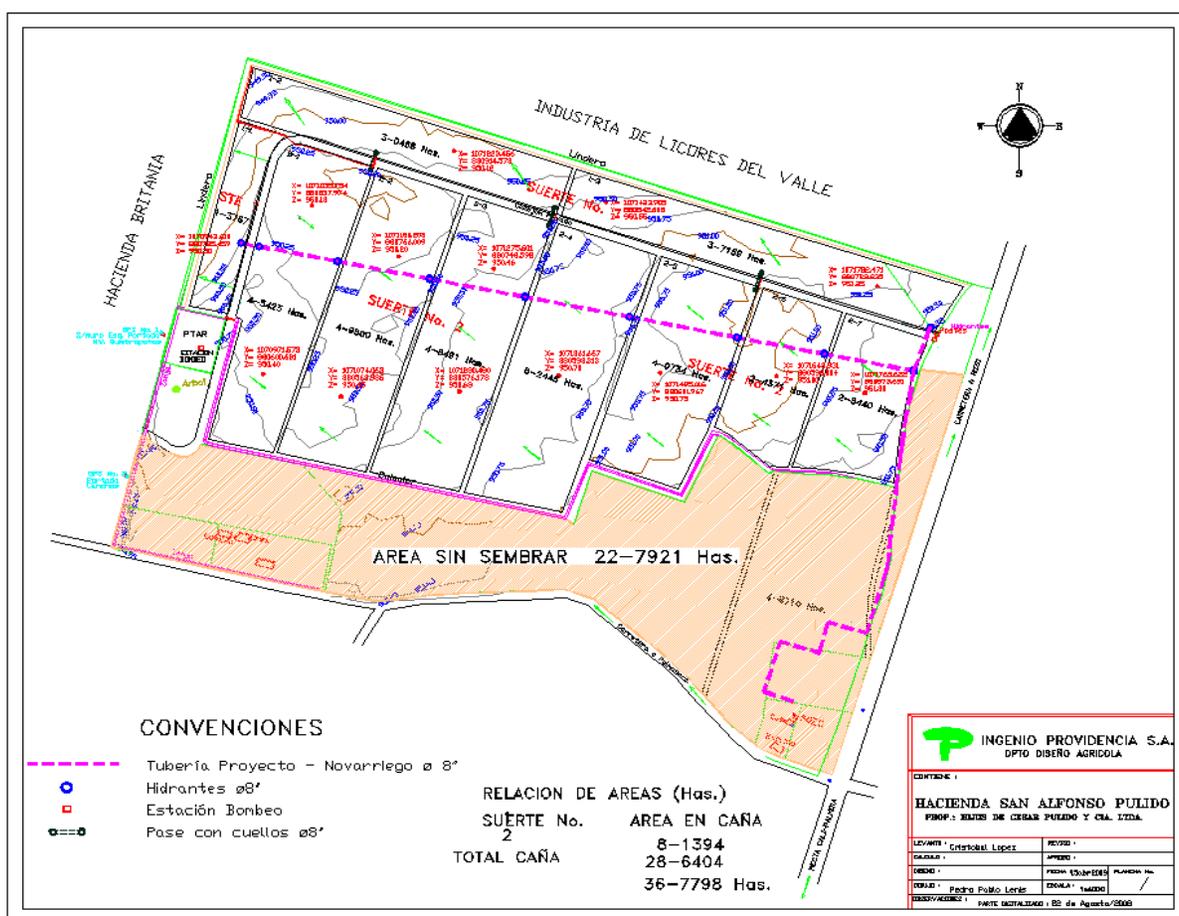


Figura 2. Plano actual de la hacienda San Alfonso. Fuente: Ingenio Providencia S.A.

Desde 2008 el uso del terreno pasó de pastizal a plantación industrial de caña, con condición química dominada por la alcalinidad (alcalino 7.4 - 8.4 y muy alcalino ≥ 8.5), nivel freático alto en el 60% del terreno y una zona inundable que comprende el 30%. Con el nuevo uso del terreno la preocupación dominante se centro en la corrección del pH mediante obras de ingeniería (construcción de canales de desagües y en la adición de fertilizantes de residualidad ácida (Sulene y vinaza) (Laboratorio Químico de Campo – Ingenio Providencia S.A).

A raíz de la denominada ola invernal del año 2010 (Giraldo, Quiceno y Valencia, 2010), el 70% de la hacienda se emprendió la investigación para evaluar el

efecto corrector sobre la condición alcalina del suelo, se realizaron análisis de suelos en abril (14 muestras geo-referenciadas a dos profundidades 0-20 – 20-40 cm) de 2011, dos análisis de las aguas de riego, dos análisis de las aguas de canal de drenaje, se analizaron tres puntos de aguas freáticas, se realizó balance de sales (Ca, Mg, Na y K) y se comparó con la condición química pre-inundación (2008).

Los parámetros evaluados fueron pH, Ce, MO, Na intercambiable, porcentaje de saturación Na, CIC y PSI. Se mapearon los parámetros para facilitar el análisis de los cambios.

El agua para riego considera varios parámetros, entre ellos la salinidad, factor que afecta el rendimiento de los cultivos y hace no apta para el uso agrícola cuando alcanza elevados niveles de sales. También la presencia del catión sodio en elevadas concentraciones en el agua constituye un problema por cuanto sustituye al calcio en la estructura del suelo produciendo así su dispersión y pérdida de estructura. Otro componente perjudicial lo constituyen los bicarbonatos que favorecen la precipitación del calcio y del magnesio propiciando así la sodificación del suelo.

Debe señalarse que en la evaluación de la calidad de agua para riego, además de las características químicas, se deben tener en cuenta otros factores como el tipo de suelo, cultivo a regar y condiciones climáticas (Bresler et al., 1982).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Geografía del pH de la hacienda San Alfonso

La geografía del pH en la hacienda San Alfonso se relaciona con el relieve del terreno; la condición muy alcalina se localiza en la parte alta (950.75 y 951.30 msnm) mientras la “casi neutro a neutro” y la “alcalina” se sitúan en la zona inundable y semi-inundable (Figura 3).

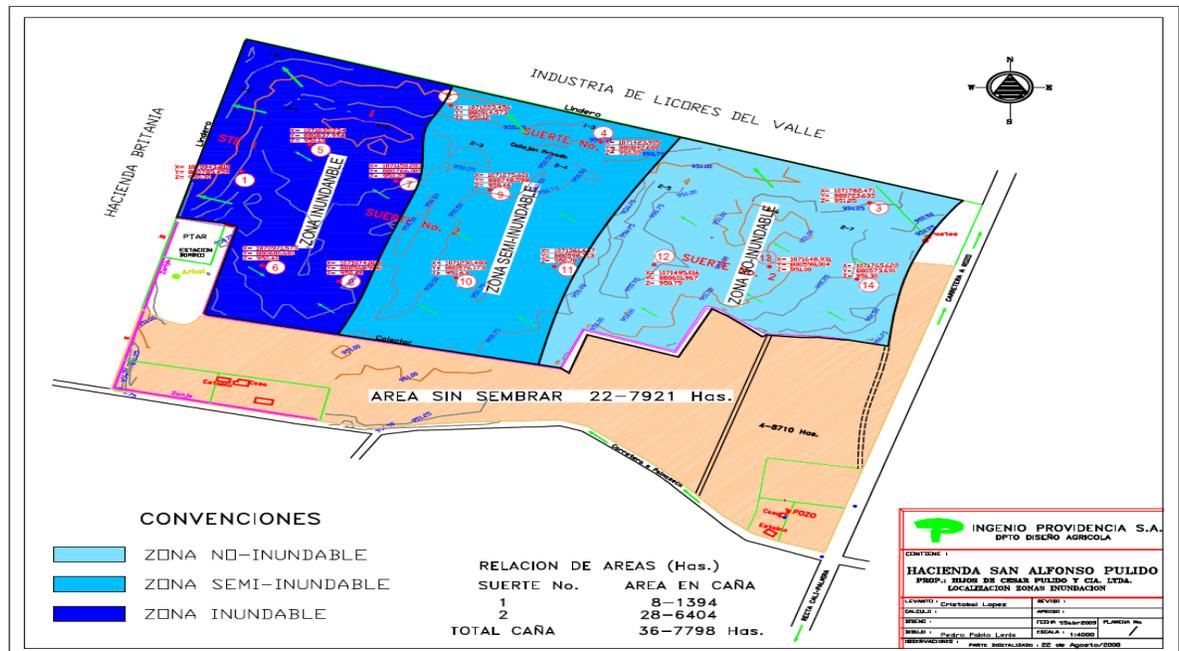


Figura 3. Distribución de la inundación durante la ola invernal de 2010-2011.Fuente: Ingenio Providencia S.A.

Al comparar la geografía del terreno con respecto al pH se observó la tendencia general a la desalinización, las zonas inundables y no-inundables fueron las que presentaron más variación a la desalinización. La zona no-inundable, que

presentaba en 2008, uniformidad en la condición muy alcalina, empezó a mostrar un patrón parchoso después de la inundación, mientras que en la zona inundable la condición “casi neutro a neutro” comenzó a extenderse con tendencia a la normalidad (neutro).

Respecto a la zona semi-inundable la tendencia fue a subir ligeramente el pH, observándose mayor dinámica en los cambios, lo cual puede explicarse parcialmente porque en términos de micro-relieve correspondería a la cota intermedia, que recibiría el lavado de sales procedente de la región más alta (no-inundable) del terreno

Con base en los resultados del análisis químico de 2008 y 2011 (Tablas 1, 2) el terreno de la hacienda San Alfonso presentó tres condiciones de pH. La condición casi neutro a neutro (7.2 - 7.3) correspondió a los cateos 6, 8 y 10 y presentan reacción adecuada para el cultivo de caña; la alcalina (7.4 - 7.7) a los cateos 1, 2, 4, 5, 7, 9 y 11, con probable solubilidad baja de P y posible exceso de carbonatos de Ca y Mg; y la muy alcalina (8.7 - 9.0) a los cateos 3, 12, 13 y 14, que se caracterizaron por el exceso de Na^+ (Figura 4).

Tabla 1. Resultados de análisis químicos de suelos de la hacienda cañera San Alfonso antes de la inundación (2008)

CATEO Nº	PROF. cm	pH V:V 1:1	CEa dS/m	MO W.B %	P Bray II ppm	Cañones intercambiables meq/100 g							Saturación de bases %				Textura Bouyoucos (%)			
						Ca	Mg	K	Na	CIC	Ca/Mg	PSI	Ca	Mg	K	Na	Arena	Limos	Arcillas	Clasif. Tex.
1	0-20	7,5	0,80	4,45	21,98	26,61	17,94	1,16	1,94	47,65	1,48	4,07	55,84	37,65	2,43	4,07	13,12	26,00	60,88	Ar
	20-40	7,6	1,87	1,55	27,93	22,09	18,04	0,58	2,94	43,65	1,22	6,74	50,61	41,33	1,33	6,74	13,12	22,00	64,88	Ar
2	0-20	7,6	2,41	2,95	31,06	25,95	20,86	0,98	3,42	51,21	1,24	6,68	50,67	40,73	1,91	6,68	19,12	28,00	52,88	Ar
	20-40	7,9	2,94	1,29	35,08	21,66	23,44	0,48	6,58	52,16	0,92	12,62	41,53	44,94	0,92	12,62	3,12	26,00	70,88	Ar
3	0-20	9,0	0,24	1,14	96,40	20,20	18,92	0,47	5,58	49,50	1,07	11,27	44,72	41,89	1,04	12,35	22,41	27,99	49,60	Ar
	20-40	8,4	0,23	2,53	82,56	27,90	16,08	0,94	1,89	48,70	1,74	3,88	59,60	34,35	2,01	4,04	24,40	28,00	47,60	Ar
4	0-20	7,4	0,35	3,89	26,89	26,40	16,22	0,81	0,80	44,23	1,63	1,81	59,69	36,67	1,83	1,81	7,78	24,40	67,82	Ar
	20-40	7,9	0,20	2,03	35,82	25,20	15,59	0,46	3,60	44,85	1,62	8,03	56,19	34,76	1,03	8,03	5,78	24,40	69,82	Ar
5	0-20	7,4	0,63	3,72	29,57	31,22	16,38	1,08	1,66	50,34	1,91	3,30	62,02	32,54	2,15	3,30	7,12	28,00	64,88	Ar
	20-40	7,7	0,81	1,97	32,99	30,41	18,72	0,63	3,38	53,14	1,62	6,36	57,23	35,23	1,19	6,36	5,12	24,00	70,88	Ar
6	0-20	7,3	0,66	3,52	27,93	30,75	15,25	1,18	1,54	48,72	2,02	3,16	63,12	31,30	2,42	3,16	19,12	28,00	52,88	Ar
	20-40	7,8	1,85	1,24	25,26	30,44	18,10	0,42	1,98	50,94	1,68	3,89	59,76	35,53	0,82	3,89	15,12	24,00	60,88	Ar
7	0-20	7,4	2,58	3,62	23,32	30,15	21,54	0,83	1,98	54,50	1,40	3,63	55,32	39,52	1,52	3,63	7,12	28,00	64,88	Ar
	20-40	7,6	3,21	2,12	22,13	28,30	17,90	0,44	2,26	48,90	1,58	4,62	57,87	36,61	0,90	4,62	3,12	32,00	64,88	Ar
8	0-20	7,3	0,83	3,78	34,48	31,30	19,06	0,96	2,14	53,46	1,64	4,00	58,55	35,65	1,80	4,00	11,12	24,00	64,88	Ar
	20-40	7,6	2,01	2,22	47,58	26,40	18,50	0,49	3,76	49,15	1,43	7,65	53,71	37,64	1,00	7,65	3,12	26,00	70,88	Ar
9	0-20	7,7	1,47	4,14	66,93	25,10	12,94	1,05	1,15	40,24	1,94	2,86	62,38	32,16	2,61	2,86	7,78	36,40	55,82	Ar
	20-40	7,7	0,44	2,19	46,69	25,50	14,41	0,42	5,04	45,37	1,77	11,11	56,20	31,76	0,93	11,11	11,78	32,40	55,82	Ar
10	0-20	7,2	0,84	3,47	41,18	29,65	16,65	0,82	1,32	48,44	1,78	2,73	61,21	34,37	1,69	2,73	11,12	32,00	56,88	Ar
	20-40	7,4	0,30	2,74	29,13	28,18	22,12	0,62	2,80	53,72	1,27	5,21	52,46	41,18	1,15	5,21	9,12	34,00	56,88	Ar
11	0-20	7,6	0,85	3,94	165,16	25,50	9,95	0,44	1,53	37,42	2,56	4,09	68,15	26,59	1,18	4,09	15,78	32,40	51,82	Ar
	20-40	7,3	1,74	3,16	54,43	20,60	13,09	0,68	1,33	35,70	1,57	3,73	57,70	36,67	1,90	3,73	13,75	34,43	51,82	Ar
12	0-20	8,9	0,97	2,07	81,22	29,50	15,49	1,16	16,25	62,40	1,90	26,04	47,28	24,82	1,86	26,04	11,78	26,40	61,82	Ar
	20-40	9,2	2,09	0,88	65,74	19,90	15,55	0,80	25,25	61,50	1,28	41,06	32,36	25,28	1,30	41,06	8,40	32,00	59,60	Ar
13	0-20	8,9	0,60	3,00	173,04	18,50	10,33	0,76	13,25	42,84	1,79	30,93	43,18	24,11	1,77	30,93	26,40	30,00	43,60	Ar
	20-40	9,7	0,68	1,24	177,51	30,30	12,66	0,47	18,00	61,43	2,39	29,30	49,32	20,61	0,77	29,30	24,40	32,00	43,60	Ar
14	0-20	8,7	0,67	1,66	24,66	32,60	8,99	0,24	18,25	43,22	3,63	42,23	54,26	14,96	0,40	30,38	24,40	36,00	39,60	FAr
	20-40	9,3	0,83	0,47	6,80	29,80	9,59	0,14	16,00	55,53	3,11	28,81	53,66	17,27	0,25	28,81	34,40	36,00	29,60	FAr

<p>Nota: Los resultados de los análisis, corresponden a las muestras recibidas en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.</p>	<p>Cordialmente,</p>
<p>COPIA: ARCHIVO</p>	<p>JAVIER JARAMILLO B. Jefe Laboratorio Químico de Campo</p>
<p>Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.</p>	

Tabla 2. Análisis químico de suelo post inundación 2011

INGENIO PROVIDENCIA, S.A.		LABORATORIO QUIMICO DE CAMPO										METODOLOGIA DE ANALISIS									
		Resultado Análisis de suelos										pH: V: - Cu, Fe, Mn, Zn: DTPA - TEA									
Fecha: Abril 19 de 2011												CE: (USDA) en el Manual 60 (1964)									
												M.O: Walker Black									
												P: Bray I B: Hunter (Colorimetría)									
												Ca, Mg, K y Na: (NH4OAc - 1N - pH7)									
												Textura Bouyoucos									
HACIENDA: San Alfonso																					
SUERTE (Cateo)	Prof. cm	pH V:V 1:1	CEa dS/m	MO W.B %	P Bray II ppm	Cationes intercambiables meq/100 g								Saturación de bases				Textura Bouyoucos			
						Ca	Mg	K	Na	CIC	Ca/Mg	PSI	PMgl	%				Clasif.			
														Ca	Mg	K	Na	Arena	Limos	Arcillas	Tex.
1(1)	0-20	6,5	0,39	4,29	29,57	18,48	11,86	1,71	1,51	40,60	1,56	3,72	29,21	55,07	35,34	5,10	4,50	19,12	28,00	52,88	Ar
1(1)	20-40	6,7	0,30	3,52	17,07	21,01	13,66	1,66	1,65	46,14	1,54	3,58	29,60	55,32	35,96	4,37	4,34	5,12	26,00	68,88	Ar
1(2)	0-20	7,0	0,91	4,14	27,34	20,16	17,08	0,73	2,12	47,52	1,18	4,46	35,94	50,29	42,60	1,82	5,29	3,12	24,00	72,88	Ar
1(2)	20-40	7,1	1,92	2,95	29,57	19,02	18,42	0,42	2,85	50,50	1,03	5,64	36,48	46,72	45,25	1,03	7,00	3,12	26,00	70,88	Ar
1(3)	0-20	7,4	0,50	2,90	81,22	15,01	8,76	0,87	0,79	59,28	1,71	1,33	14,78	59,02	34,45	3,42	3,11	17,12	30,00	52,88	Ar
1(3)	20-40	7,3	0,46	1,97	72,14	17,17	10,71	0,83	0,83	65,06	1,60	1,28	16,46	58,12	36,26	2,81	2,81	17,12	30,00	52,88	Ar
1(4)	0-20	7,9	1,32	0,62	175,28	13,60	9,59	0,76	1,88	32,26	1,42	5,83	29,73	52,65	37,13	2,94	7,28	57,12	16,00	26,88	FArA
1(4)	20-40	8,1	0,95	0,16	99,08	11,41	12,66	0,74	1,97	36,78	0,90	5,36	34,42	42,61	47,27	2,76	7,36	57,12	18,00	24,88	FArA
2(5)	0-20	7,6	0,78	3,67	30,61	18,69	15,26	0,91	2,24	75,74	1,22	2,96	20,15	50,38	41,13	2,45	6,04	7,12	30,00	62,88	Ar
2(5)	20-40	7,5	1,14	2,17	31,36	18,74	17,38	0,59	2,62	72,52	1,08	3,61	23,97	47,65	44,19	1,50	6,66	3,12	28,00	68,88	Ar
2(6)	0-20	7,2	1,15	3,52	39,54	17,10	12,51	0,76	1,98	63,62	1,37	3,11	19,66	52,86	38,67	2,35	6,12	7,12	38,00	54,88	Ar
2(6)	20-40	7,4	0,64	3,00	34,33	17,04	12,90	0,53	2,04	43,62	1,32	4,68	29,57	52,41	39,68	1,63	6,27	17,12	32,00	50,88	Ar
2(7)	0-20	7,6	1,31	3,05	53,09	18,57	13,15	0,76	2,20	55,92	1,41	3,93	23,52	53,55	37,92	2,19	6,34	5,12	28,00	66,88	Ar
2(7)	20-40	7,2	0,74	4,50	55,17	20,94	14,14	1,83	1,69	53,64	1,48	3,15	26,36	54,25	36,63	4,74	4,38	11,12	26,00	62,88	Ar
2(8)	0-20	7,4	0,89	3,41	62,31	19,73	10,91	1,38	1,74	51,02	1,81	3,41	21,39	58,44	32,32	4,09	5,15	3,12	42,00	54,88	ArL
2(8)	20-40	7,7	0,61	2,12	49,37	18,16	10,44	0,58	1,91	55,22	1,74	3,46	18,91	58,41	33,58	1,87	6,14	1,12	44,00	54,88	ArL
2(9)	0-20	7,6	0,82	2,07	39,54	19,72	15,54	0,53	1,76	66,02	1,27	2,67	23,54	52,52	41,38	1,41	4,69	1,12	40,00	58,88	ArL
2(9)	20-40	7,5	1,01	2,90	65,29	20,55	13,33	1,10	1,48	52,58	1,54	2,81	25,35	56,36	36,56	3,02	4,06	5,12	34,00	60,88	Ar
2(10)	0-20	7,6	1,01	3,41	61,72	20,53	12,64	1,07	1,76	37,08	1,62	4,75	34,09	57,03	35,11	2,97	4,89	7,12	36,00	56,88	Ar
2(10)	20-40	7,9	0,56	2,59	35,82	21,47	12,53	0,59	2,12	44,06	1,71	4,81	28,44	58,49	34,13	1,61	5,77	1,12	38,00	60,88	Ar
2(11)	0-20	7,4	0,76	3,83	52,19	18,63	11,81	0,88	0,93	50,14	1,58	1,85	23,55	57,77	36,62	2,73	2,88	3,12	40,00	56,88	ArL
2(11)	20-40	7,7	0,59	1,81	55,91	17,90	10,33	0,33	1,58	43,44	1,73	3,64	23,78	59,39	34,27	1,09	5,24	1,12	46,00	52,88	ArL
2(12)	0-20	7,6	0,33	2,95	60,38	18,64	11,17	0,79	0,69	54,42	1,67	1,27	20,53	59,57	35,70	2,52	2,21	13,12	32,00	54,88	Ar
2(12)	20-40	7,7	0,51	1,60	25,26	18,45	11,94	0,41	1,73	50,40	1,55	3,44	23,69	56,71	36,70	1,26	5,32	9,12	24,00	66,88	Ar
3(13)	0-20	7,6	0,35	2,90	59,64	20,67	13,41	0,92	1,03	62,40	1,54	1,65	21,49	57,37	37,22	2,55	2,86	7,12	30,00	62,88	Ar
3(13)	20-40	7,8	0,43	2,48	39,99	21,70	15,78	0,78	1,61	53,30	1,38	3,02	29,61	54,43	39,58	1,96	4,04	5,12	28,00	66,88	Ar
3(14)	0-20	8,6	1,01	1,45	48,03	15,25	9,39	0,59	4,22	45,04	1,62	9,37	20,85	51,78	31,88	2,00	14,33	21,12	24,00	54,88	Ar
3(14)	20-40	8,3	1,45	0,78	42,22	13,48	8,64	0,38	4,38	39,60	1,56	11,06	21,82	50,15	32,14	1,41	16,29	33,12	22,00	44,88	Ar
Nota:		Los resultados de los análisis, corresponden a las muestras recibidas en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.										Cordialmente,									
COPIA:		ARCHIVO										JAVIER JARAMILLO B. Jefe Laboratorio Químico de Campo									
Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.																					

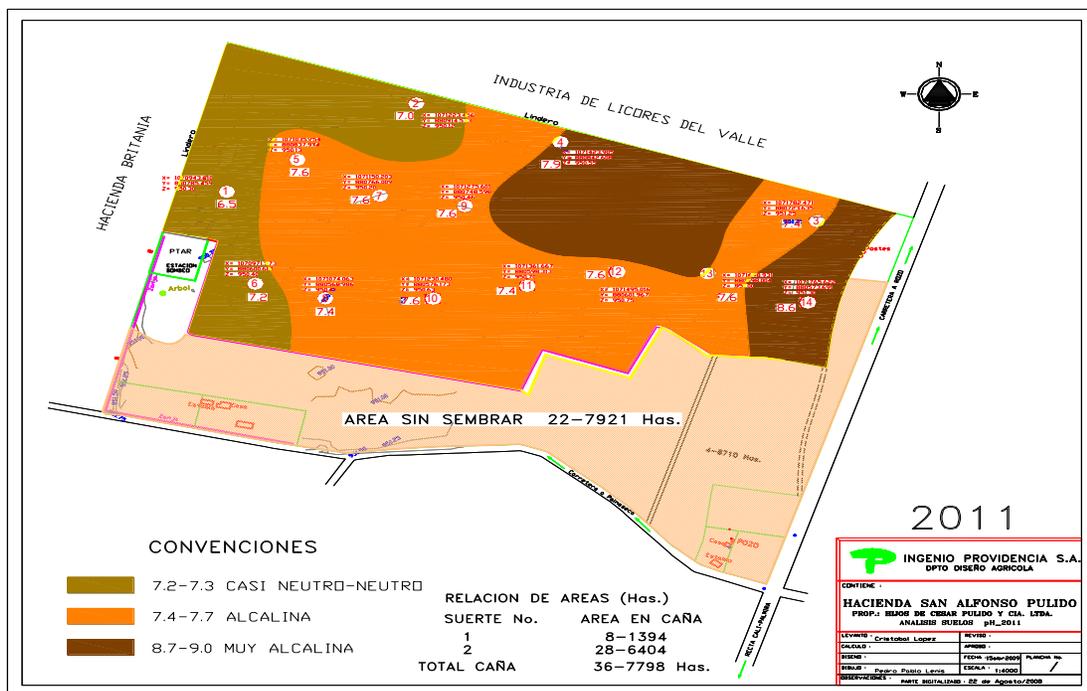
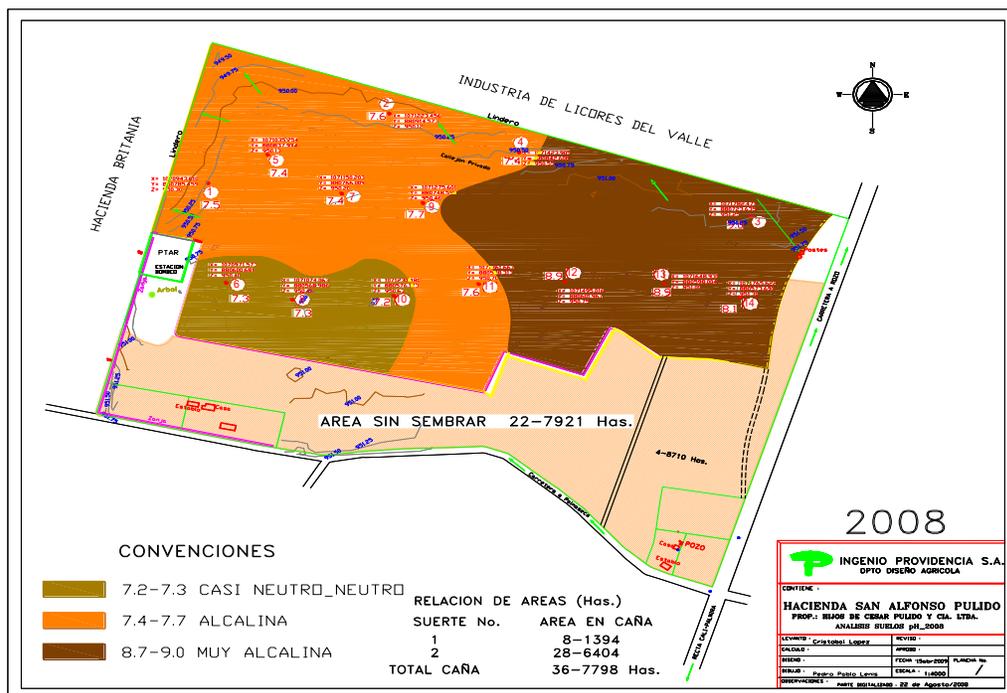


Figura 4. Comparación del comportamiento del pH entre 2008 y 2011. Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A

Para estas dos últimas condiciones el Laboratorio Químico de Suelos recomienda prácticas de recuperación con aplicaciones de enmiendas sulfatadas, lavado y mejoramiento del drenaje .

5.2 La Conductividad Eléctrica (Ce dS/m)

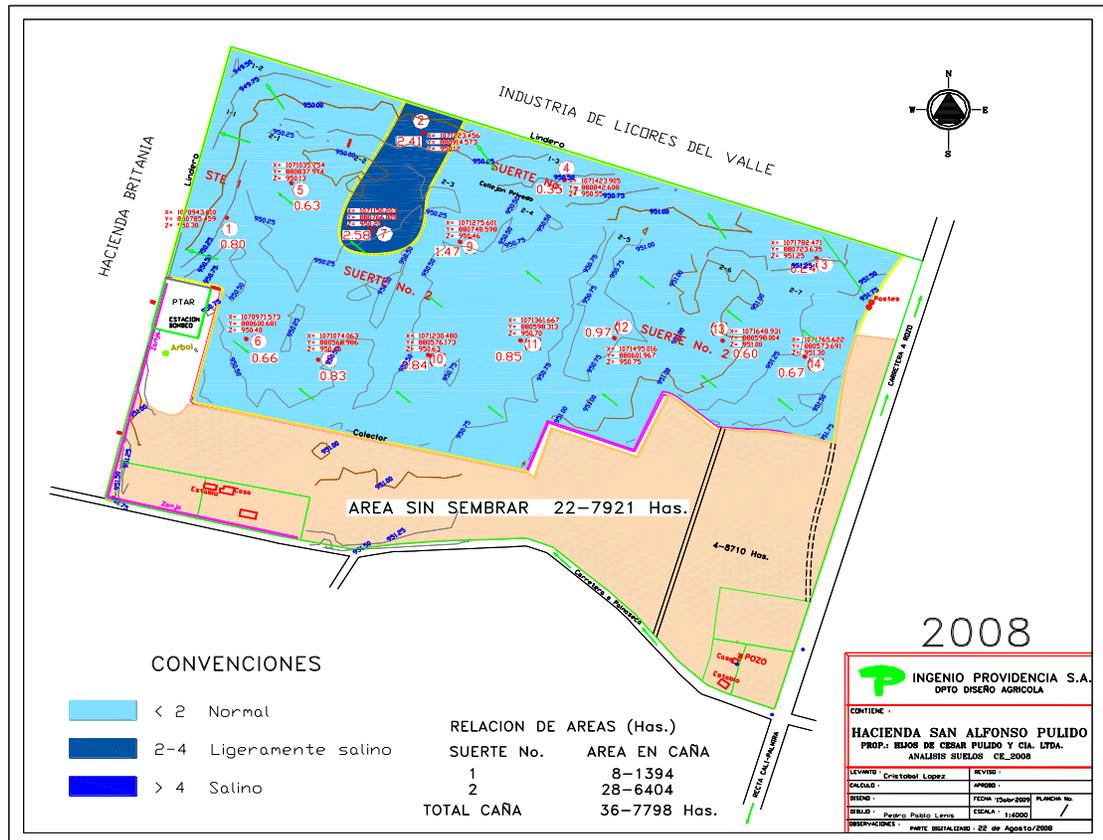
Registra la presencia de sólidos e indica la capacidad que tienen las sales inorgánicas de la solución disueltas en el suelo (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica de las cuales dependen del número de iones presentes y de su movilidad (Calderón, 2005).

En 2008 el rango de Ce en los cateos 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 osciló entre 0.24 y 1.47, correspondiendo a un valor normal. En los cateos 2 y 7 estuvo en el rango 2.41 - 2.58, encontrado parte del área con conductividad eléctrica (CE) media y bajo porcentaje de sodio intercambiable (PSI); estas condiciones de deterioro de los suelos resultan principalmente importantes, ya que el exceso de sodio y de magnesio intercambiables contribuye en alto grado a complicar el manejo de las prácticas de recuperación de los suelos y el desarrollo de la plantación.

Aunque los valores problemáticos de Ce se localizaron en las zonas baja y media de la terraza (cateos 2 y 7) contrastando con las regiones de pH alto, este indicador requerirá integrarlo al examen de otros parámetros químicos (Figura 5).

En 2011 Ce fue normal en toda el área de la hacienda (0.33 a 1.32). El parche con conductividad eléctrica media localizado en los cateos 2 y 7 (2.41 y 2.58) se redujo en cationes, posiblemente debido a lavados de sales. No obstante las aguas

utilizadas para riego tienen 15.66 de meq/l, el análisis en el canal de drenaje reportó una concentración de 22.80 meq/l, confirmando la remoción de sales. Es necesario continuar observando este parámetro en diferentes condiciones climáticas y de manejo para examinar la sostenibilidad de esta reducción.



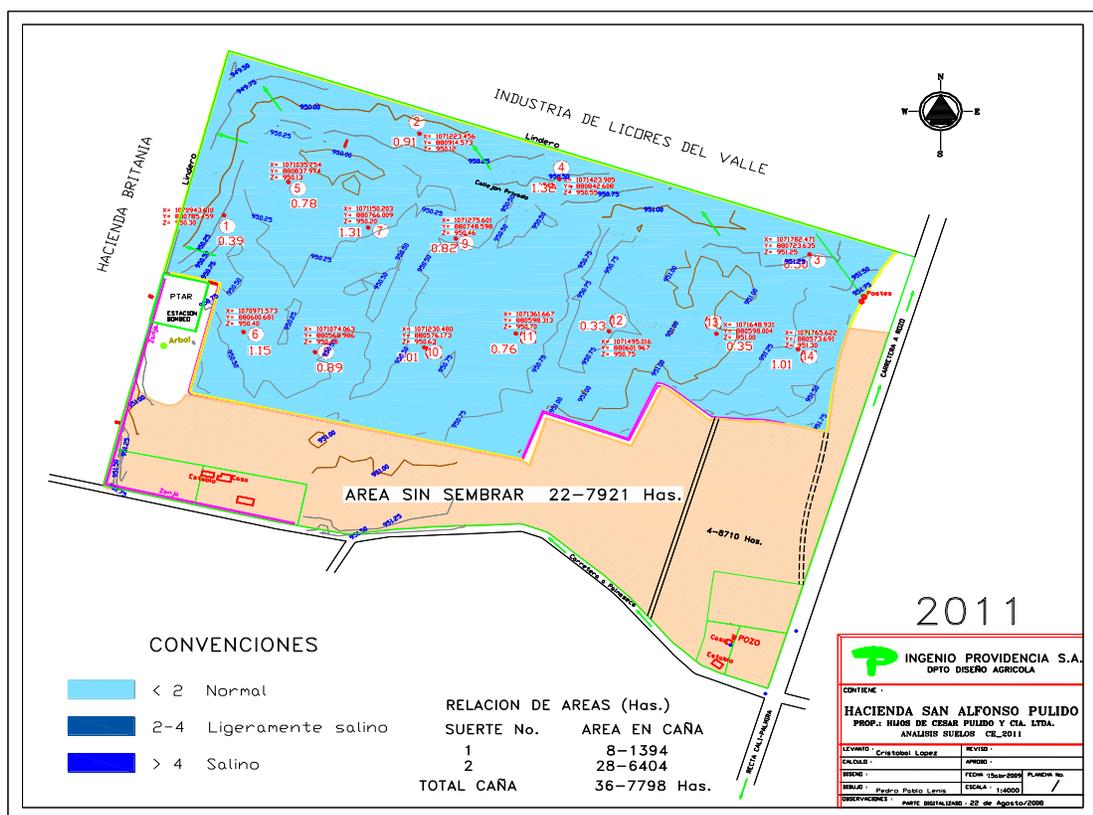


Figura 5. Distribución de la Conductividad Eléctrica en los años 2008 y 2011.

Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

5.3 Materia orgánica (MO)

La cobertura cultivada en la hacienda San Alfonso estuvo precedida por una condición de inundación natural (Moreno, 2011) y crecimiento espontáneo de gramíneas en temporadas de sequía, heredando el cañaduzal contenidos variables de materia orgánica; en la zona semi-inundable se presentó un patrón parchoso de MO alta (>4%), los contenidos bajos (<2%) se localizaron en el 30% de la parte alta y el contenido medio (2 - 4%) comprendió el 85% de la hacienda (Figura 6).

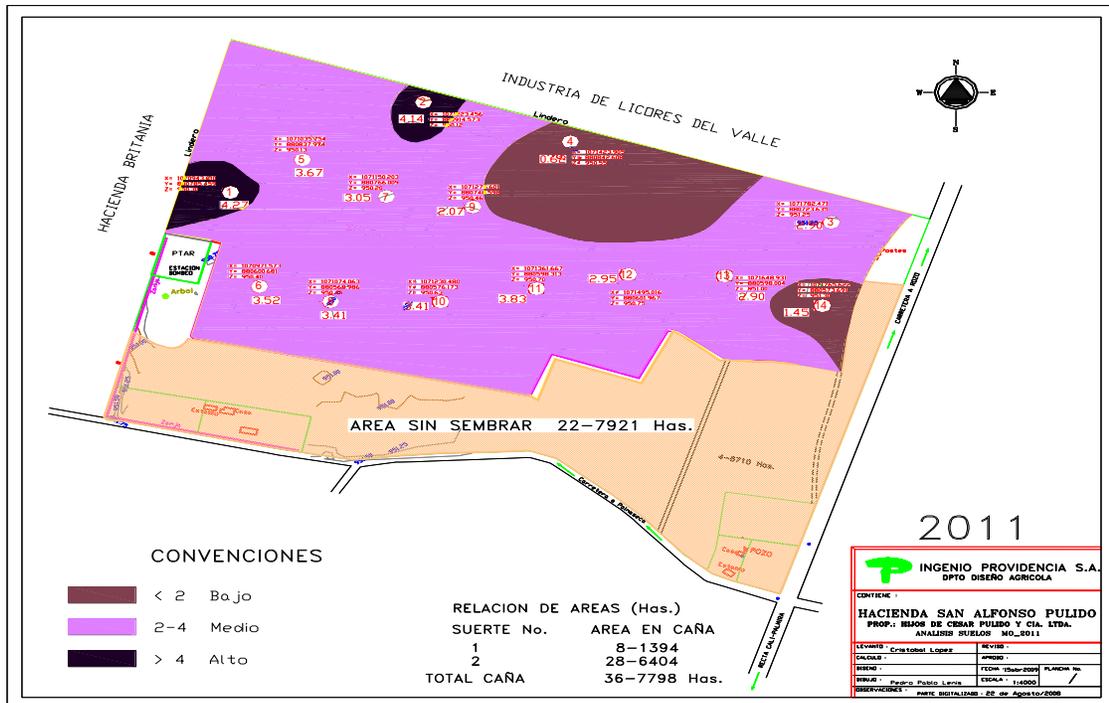
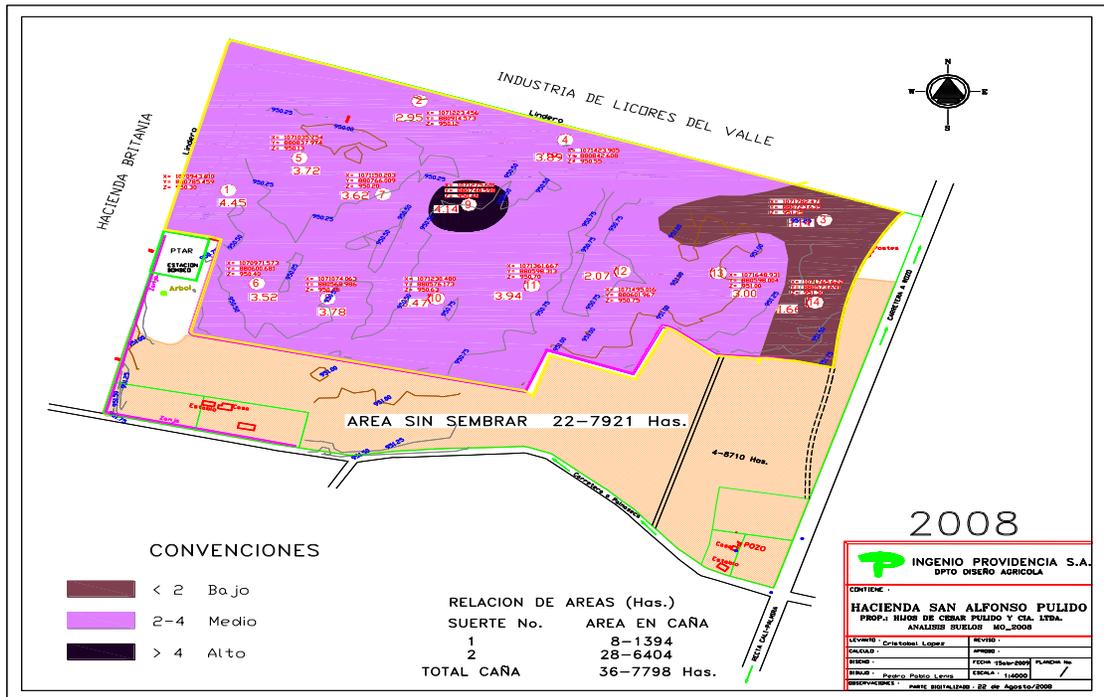


Figura 6. Distribución de los contenidos de materia orgánica años 2008 y 2011. Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

El comportamiento de la materia orgánica mostró gran dinámica en tres años los parches de materia orgánica baja y alta se desplazaron hacia la parte media y baja del terreno; la zona semi-inundable comenzó a mostrar descensos en los contenidos de materia orgánica mientras que la zona inundable concentró los mayores contenidos de liberación de nutrientes en el suelo.

El contenido de materia orgánica total en suelos agrícolas cambia lentamente a través del tiempo; así, el ciclaje de todos sus componentes puede tardar desde décadas a siglos (Biederbeck *et al.*, 1994), producto del clima, y del uso y manejo del suelo.

Las fracciones lábiles o activas corresponden a la liberación de nutrientes, que afectados directamente por el manejo agronómico; la materia orgánica pasiva es aquella de menor reacción en el suelo. Una de las fracciones de la MOS de significancia biológica en el suelo es la biomasa microbiana, que es la masa de organismos que habita en el suelo, cuya proporción respecto de la MOS asciende del 1 a 5%, y es una fracción lábil que contiene cantidades sustanciales de N y P (Jenkinson y Ladd, 1981).

Es importante examinar con detenimiento y manejo de la plantación de caña en relación con la dinámica de la materia orgánica ya que los parches de contenido bajo mostraron un leve crecimiento y tendencias a la mineralización de la materia orgánica en la zona semi-inundable. Los resultados es claro, que no se involucre la quema y que permita la utilización de los residuos vegetales de producto de la cosecha que pueden mejorar considerablemente el contenido de materia orgánica en el suelo.

5.4 Sodio intercambiable y porcentaje de saturación

En el año 2008 los suelos sódicos tienen alta contenido de sodio intercambiable y bajo nivel de sales solubles, para el caso del sodio (Na^+) los valores de “bajo a normal” (0.80) se situó en el cateo 4 mientras que se advierte restricciones por sodio intercambiable (1.15 - 5.58) en los cateos 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 y extrema sodicidad (13.25 - 18.25) 12, 13 y 14. El valor discordante de sodio en el cateo 4, ayuda a explicarse porque parece localizarse en el rango de la profundidad de 20-40 cm su limitación el cual se reduce la productividad agrícola a causa de que las plantas no pueden extraer suficiente agua del suelo afectado por el sodio el cual es tóxicos para el cultivo en zona no-inundada.

Respecto a la saturación de Na, todo el terreno de la hacienda presenta valores altos (> 2%), sin embargo, los niveles más altos (26-30%) se localizaron en los cateos 12, 13 y 14 que corresponden con la zona no-inundada. Se destaca que en la profundidad 20-40 cm es donde predominan los mayores porcentajes de saturación.

En 2011 El sodio (Na^+) en los puntos geo-referenciados 3, 11 y 12 es normal (0.69-0.93), en los cateos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13 y 14 (1.03 - 4.22) se advierte peligro por sodio intercambiable, el exceso de iones de sodio desplaza el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) provocando la dispersión y desagregación del suelo volviendo duro y compacto en condiciones secas, reduciendo la infiltración de agua y aire a través de los poros que conforman el suelo y la pérdida de fertilidad.

Los altos contenidos de iones sódicos afectan la permeabilidad del suelo al desplazar cationes generadores de estructuras granulares como el calcio (Ca) y magnesio (Mg), condición que se agrava al tener en cuenta que los suelos de la hacienda San Alfonso en general presentan texturas arcillosas (Ar), provocando

la compactación y agrietamientos en temporadas secas y la dispersión y desagregación del suelo en temporadas húmedas.

Al comparar los años 2008 – 2011 (Figura 7) el cambio más significativo en contenido de sodio se presentó en la parte sur de la zona no-inundable, reduciendo hasta en 13.5 (meq/100 gr de suelo) en la profundidad de 0-20 cm y 17 meq en la profundidad 20-40 cm La zona semi-inundable, en la profundidad de 0-20 cm continuó en condición alta pero presentó leve descenso en los niveles de sodio, en la profundidad 20-40 cm las variaciones fueron más significativas y se observó que los parches con sodio normal no son duraderos.



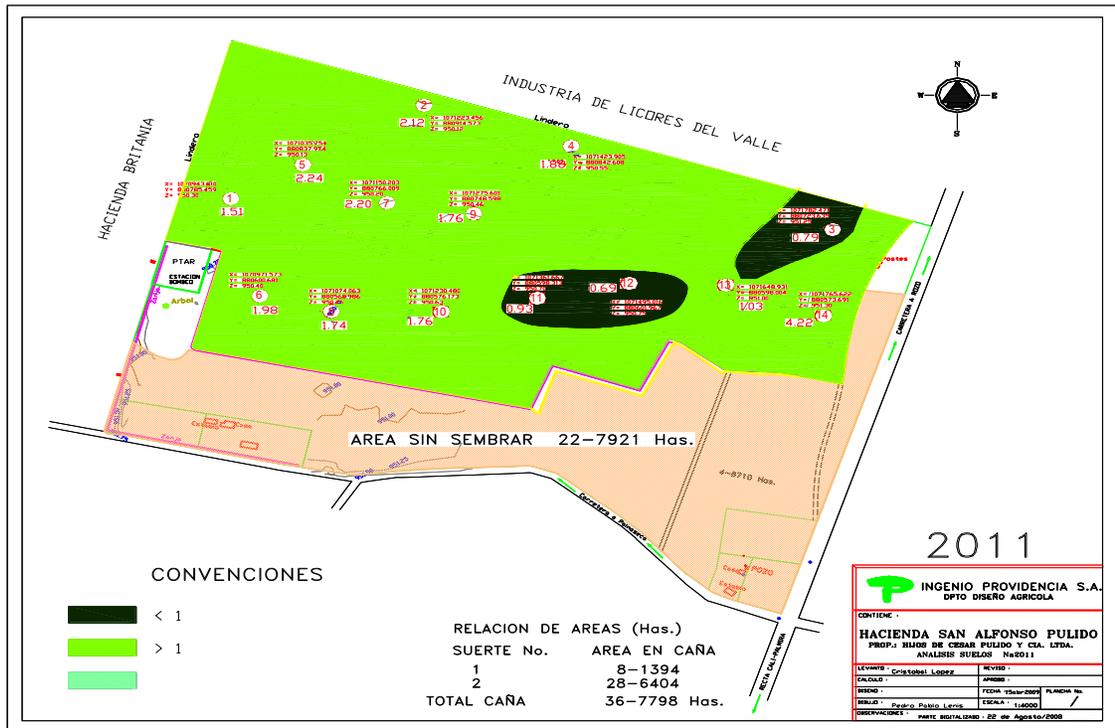


Figura 7. Contenido y saturación de sodio. Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

El contraste se observó en la zona inundable, ya que los niveles de sodio se incrementaron en la profundidad 0-20 cm y decrecieron en la de 20-40, lo que parcialmente puede explicarse por el muestreo en temporada seca, volviendo más compleja la hipótesis planteada en la investigación sobre el efecto de lavado de sales provocado por las inundaciones. En este sentido pareciera que las lluvias produjeran un mejor efecto de lavado en las zonas que no se inundaron y con contenidos de arcillas que oscilaron entre 54 y 66%.

Respecto al porcentaje de saturación de sodio, el cual presenta correspondencia con los contenidos de cationes sódicos, el cambio observado en 2011 fue significativo. La zona con alta saturación (zona alta) reportada en 2008 con rangos que oscilaban entre 11.27-42.23 se redujo radicalmente a 1.27-9.37. Esta

situación beneficiada por las lluvias y el manejo de la plantación, también presentó correspondencia con reducciones de Ca y Mg en la mayoría del terreno (excepto el punto 13).

5.5 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC del suelo es el depósito de iones (Ca, Mg, K, Na y H), que pueden ser cedidos por arcillas y materia orgánica a la solución del suelo y asimilados por las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad (Jaramillo, D.F.2002). La CIC (meq/100 gr de suelo) basada en la sumatoria de bases (NH₄OAc – 1N – pH 7) al relacionarla con pH y porcentaje de saturación de bases de 2008 y 2011 (Figura 8), resultó alta en todos los perfiles (>25). Igualmente ocurrió con los contenidos de Ca y Mg.

Al prestar atención a la relación “normal a estrecha” de Ca/Mg los resultados de 2011 indican que se presentó una remoción de sales de Ca y Mg, no obstante la carga de carbonatos y bicarbonatos de las aguas de riego. Como la ola invernal natural de 2010-2011 rebasó la evapotranspiración, es posible que la lixiviación de los cationes de Ca y Mg presente un ligero descenso y se continúe manteniendo la relación estrecha de Ca/Mg.

Los cationes con relación al crecimiento de las plantas son el Ca, Mg, K, Na e H. El Na⁺ y el pH tienen efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En suelos ácidos, los cationes hidrogeno y aluminio en diversas formas son limitantes en el desarrollo de las plantas.

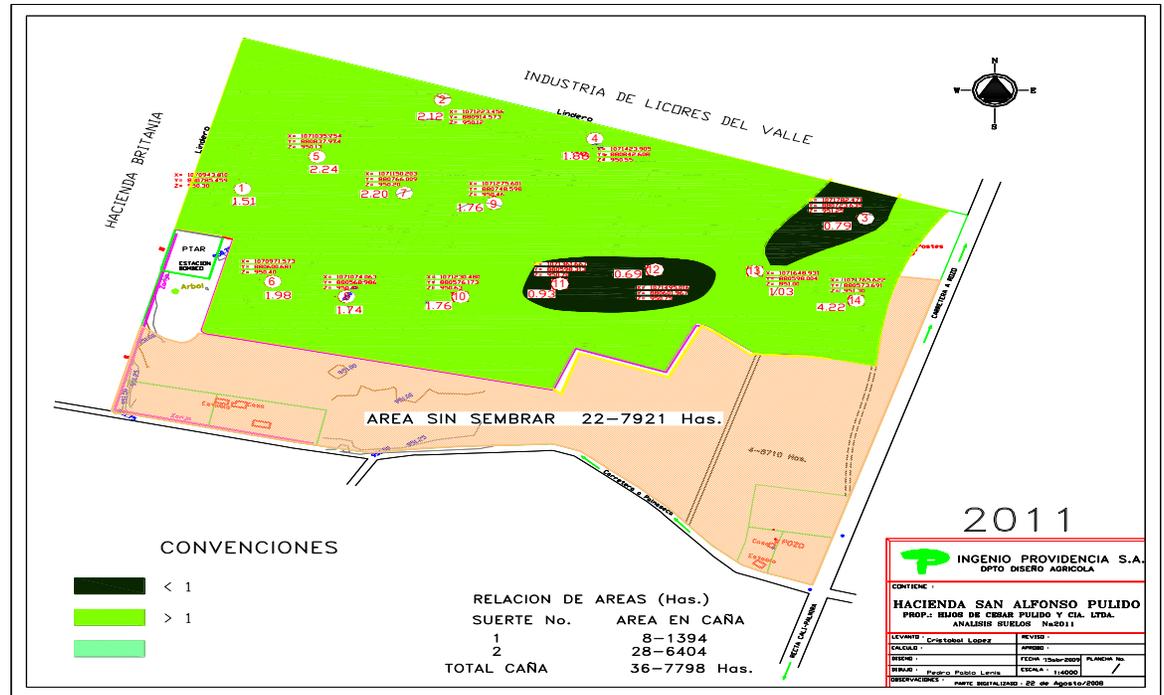
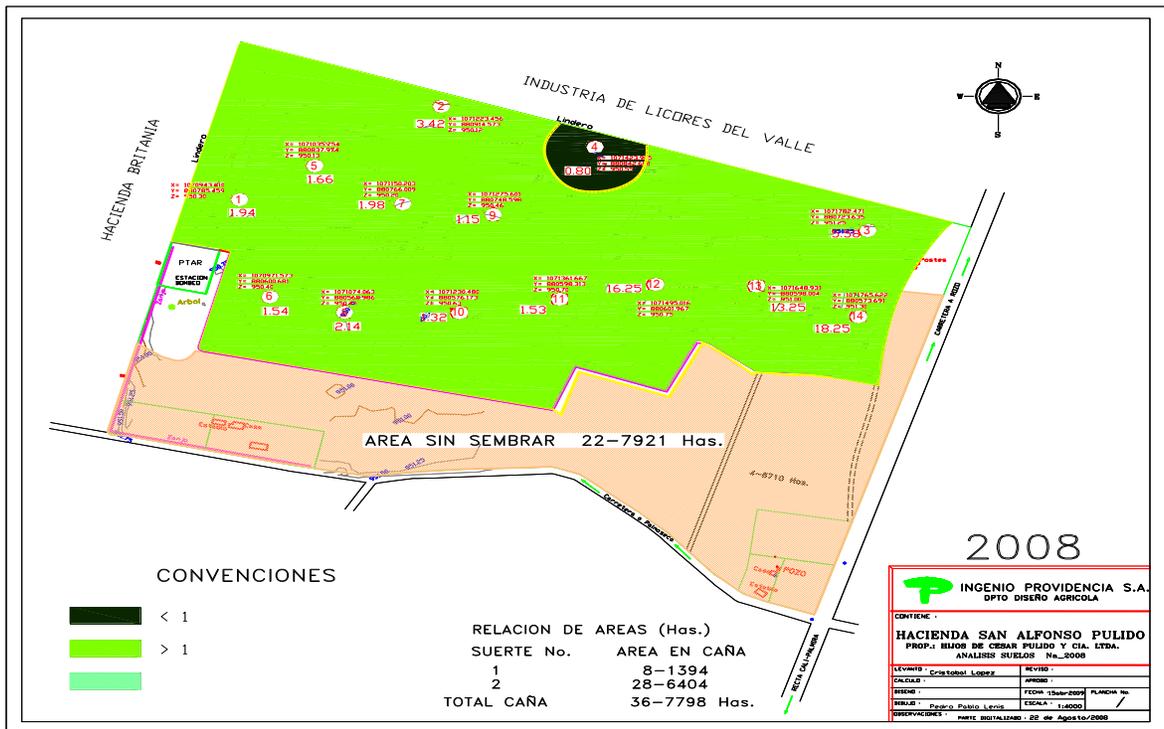


Figura 8. Capacidad de Intercambio catiónico. Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

También contribuyen a la CIC las cantidades y combinaciones de los minerales en su estado de descomposición. Las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca^{++} y el Mg^{++} , con más energía que el K^+ . Los suelos con arcillas caoliníticas tienen una menor energía de enlace.

Si la CIC está neutralizada principalmente por calcio, magnesio, potasio y sodio, se dice que está saturada de bases. Si los cultivos o el lixiviado han removido la mayor parte de los cationes básicos, el suelo está bajo saturación de bases o alto en saturación ácida. Las cantidades totales de cationes ácidos relativas a la CIC son una medida de la saturación ácida y se debe aplicar una fuente de cal para su neutralización.

5.6 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

El PSI resultó normal en los cateos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 (1.81 - 6.88) en cuanto a sodicidad; los cateos 3, 12, 13 y 14 (11.27 - 42.23) caracterizan un suelo sódico, donde es necesario tomar correctivos para su recuperación, la fertilización que se realiza actualmente se basa en la aplicación de sulfatos por su residualidad acida.

5.7 Contribución del agua de riego al mantenimiento del pH en rangos de manejo.

Las aguas de riego en la hacienda San Alfonso dependen exclusivamente de pozo (55 m) y en la actualidad es imposible pensar en fuentes diferentes para formar mezclas. Las tendencias observadas en reducción de pH y las dinámicas

en los parámetros (Ce, MO y Na) del suelo ameritan prestar atención a la calidad del agua si se desea volver sostenible el cambio en pH monitoreado durante el periodo 2008 - 2011.

Para la interpretación del análisis químico de las aguas, se adoptó el método interpretativo de la FAO (Tabla 3) que permite relacionar Ce y RAS y el tipo de riego empleado (aspersión y gravedad). En la hacienda San Alfonso se combinan los riegos por gravedad (80%, surco continuo, ventanas) y aspersión (20%), la dirección dominante del surco es de Oriente a Occidente y los cateos piezométricos geo-referenciados se situaron en las tres zonas (inundable, semi-inundable y no-inundable) del territorio agrícola.

Tabla 3. Guía de interpretación de la calidad de agua para riego

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción en el uso		
		Ninguna	Moderada	Severa
Salinidad				
CEi	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
SDT	mg/l	< 450	450 - 2000	>2000
Infiltración				
RAS= 0 – 3 CEI=		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
RAS= 3 – 6 CEI=		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
RAS= 6 – 12 CEI=		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
RAS= 12 – 20 CEI=		> 2.9	2.9 – 1.5	< 1.5
RAS= 20 – 40 CEI=		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicidad Especifica				
Sodio (Na)				
Riego superficial	RAS	< 3	– 9	> 9
Riego por aspersión	meq/l	< 3	3	
Cloro (Cl)				
Riego superficial	meq/l	< 4		> 10
Riego por aspersión	meq/l	< 3		
Boro (B)	meq/l	< 0.7		> 3
Efectos misceláneos (solo afecta cultivos sensibles)				
Nitrógeno (NO ³)	meq/l	< 1.5	5 – 30	> 30
Bicarbonatos (HCO ³)	meq/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
pH			6.5 – 8.4	

Fuente: Ayers y We 1985

Esta nueva propuesta (FAO) es menos restrictiva en cuanto al contenido salino, en relación a los problemas de salinidad. Incorpora el concepto de interacción RAS – CE para evaluar el riesgo de sodicidad e incorpora los métodos de riego en la evaluación de los problemas de toxicidad en aquellos iones que pueden ser absorbidos por las plantas a través de sus hojas. (Báez., 2002).

La información freaticométrica resulta limitada para adelantar resultados porque corresponden a lecturas en período seco (Tabla 4), sin embargo puede advertirse parches de nivel freático muy alto (< 20 cm) y una carga alta de sodio y magnesio en la mayor parte del terreno.

Tabla 4. Nivel freático hacienda San Alfonso

Sitio	Cota superficie	FECHAS DE LECTURAS (2011)							
		Julio 19		Julio 22		Agosto 10		Agosto 25	
		ISOBA TAS	ISOHIP SAS	ISOBA TAS	ISOHIP SAS	ISOBA TAS	ISOHIP SAS	ISOBA TAS	ISOHIP SAS
Nivel (m)									
1	950,30	0,35	949,95	0,53	949,77	0,72	949,58	0,00	950,30
2	950,12	0,24	949,88	0,23	949,89	0,59	949,53	0,00	950,12
3	951,25	1,15	950,10	0,61	950,64	1,05	950,20	0,81	950,44
4	950,55	0,67	949,88	0,33	950,22	0,71	949,84	0,15	950,40
5	950,13	0,40	949,73	0,46	949,67	0,73	949,40	0,89	949,24
6	950,40	0,35	950,05	0,40	950,00	0,65	949,75	0,92	949,48
7	950,20	0,30	949,90	0,32	949,88	0,66	949,54	0,10	950,10
8	950,45	0,13	950,32	0,21	950,24	0,55	949,90	7,75	942,70
9	950,46	0,25	950,21	0,32	950,14	0,66	949,80	0,21	950,25
10	950,63	0,32	950,31	0,38	950,25	0,74	949,89	0,88	949,75
11	950,70	0,33	950,37	0,40	950,30	0,43	950,27	0,87	949,83
12	950,75	0,85	949,90	0,50	950,25	0,00	950,75	0,97	949,78
13	951,00	1,20	949,80	0,38	950,62	0,57	950,43	0,85	950,15
14	951,30	1,35	949,95	0,54	950,76	0,83	950,47	0,00	951,30

Agosto 10/2011= Punto 12= Área en riego.

Agosto 25/2011= Punto 7= Área en riego

Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

No siempre se encuentra una relación establecida entre la RAS del agua y el PSI. En este caso es interesante el concepto de carbonato de sodio residual (CSR), y

también importa la composición aniónica del agua de riego, especialmente los contenidos de carbonatos y bicarbonatos. El agua puede precipitar o disolver carbonato de calcio agravando o disminuyendo con ello su peligrosidad por sodio (U.S. Salinity Laboratory, 1964, 1965; Bower et al., 1965; Lavado 1976).

El riego amerita atención por la condición arcillosa del terreno, alcanzando en algunas regiones rangos superiores al 60% y el riesgo que implica el desplazamiento de la M.O superficial.

Con base en 2 muestreos (durante y pos-inundación) distanciados 10 meses los parámetros de pH y Ce de la calidad del agua resultan manejables, según la FAO, para incorporarse en la estrategia integral de manejo de la condición “casi neutro a alcalina” que se observa en el 80% del terreno. Como en algunas zonas la reducción del pH fue drástica y en corto tiempo (tres años) el sostenimiento del cambio amerita observaciones continuadas.

Los muestreos de aguas freáticas correspondieron a las zonas inundable, semi-inundable y no inundable; el 50% del terreno presentó dinámica freaticométrica entre 20 y 40 cm, 35% entre 40 y 100 cm y 12% correspondió a la freaticometría de mayor profundidad 100 a 120 cm.

5.7.1 DRENES TOPO

Para los niveles falsos o colgados que se presentan cuando el agua se queda retenida en los estratos superiores del perfil del suelo, se recomienda el trazado de drenes “topo”, diseñados con grava por encima del dren hasta una profundidad de 0.40 m desde la superficie del terreno, para recibir los topos y no queden ciegos en su entrega.

Los drenes topo son conductos subterráneos que se instalan sin abrir zanjas, sino instalando una bola en el subsolador para que realice el rompimiento del suelo, dejando a su paso el conducto. Son apropiados para suelos pesados y poco permeables. El espaciamiento debe hacerse calle de por medio, asegurando la fisuración del área.

Si el suelo está muy húmedo, se dificulta el rompimiento y no garantiza que queden las fisuras. Si está muy seco tampoco es recomendable, ya que se puede desmenuzar el suelo, dando lugar a taponamientos a corto plazo.

Las líneas de topeo deben tener una pendiente continua y sin cambios bruscos, dado que las máquinas excavan el conducto paralelo a la superficie del terreno. Es recomendable una profundidad aproximada de 0.50 m. y su longitud no debe exceder los 1.50 m. para garantizar la adecuada evacuación de aguas superficiales. Los drenes topo son muy susceptibles al deterioro y su duración está determinada por las propiedades físicas del suelo, las condiciones de humedad y la velocidad del agua que vayan a transportar.

Los suelos deben tener cierta plasticidad para conformar los conductos y asegurar la duración de un largo período, debe ser homogéneo en toda el área, ya que si se presentan estratos sueltos, los conductos se derrumban, impidiendo el flujo del agua. Los conductos pueden descargar a una zanja abierta y proteger la salida por el deterioro, se recomienda entubar el último tramo (1 a 2 m). También se pueden instalar drenes entubados, los cuales se llena la zanja con grava hasta un nivel mayor que irán perpendicular a los drenes recibidores, que descarguen el agua por el material de relleno y fluya hacia el tubo.

Como el pH y Ce están en rangos manejables y como el Na introduce restricciones por los valores “muy alto” (Tabla 5), al igual que la alta dureza total de las aguas, la calificación de la condición química del agua sería de “salinidad parcial”. Hasta el momento los rendimientos de THC oscilan entre 89.24 y 153.11 y los de sacarosa entre 11.95% y 14.95%, considerados “aceptables y por mejorar”, a pesar de las restricciones que impone la naturaleza y formación del suelo.

Tabla 5. Análisis químico de aguas freáticas - agosto 08 de 2011.

Parámetros		Piezómetros			
		5	9	14	
pH		7.6	7.9	8.0	
CE /dS/m		2.64	0.32	7.31	
Cationes (me/litro)	solubles	Calcio (Ca ⁺⁺)	12,50	2,05	2,00
		Magnesio (Mg ⁺⁺)	19,75	6,95	45,80
		Potasio (K ⁺)	0,45	0,50	0,35
		Sodio (Na)	44,70	25,90	76,70
		Suma de cationes	77,40	35,40	124,85
		RAS	11,13	12,21	15,69
		Dureza Cálcica	625,00	102,50	100,00
		Dureza magnésica	987,50	347,50	2290,00
		Dureza total	1612,50	450,00	2390,00
Aniones (me/litro)	solubles	Sulfatos (SO ₄ =)	126,13	58,80	125,25
		Carbonatos (CO ₃ =)	1,25	1,25	3,74
		Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	10,61	8,74	24,54
		Cloruros (Cl ⁻)	5,17	3,14	15,23
Interpretación (FAO)		Salinidad (CE)	Media	Baja	Muy alta
		Magnesio (Mg)	Muy alto	Alto	Muy Aalto
		Sodio (Na)	Muy alto	Muy alto	Muy alto
		Bicarbonatos (HCO ₃)	Alto	Alto	Muy alto
		Dureza Total	Muy duras	Muy duras	Muy duras

Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

La elaboración de estos rendimientos también dependerá de la manera en que la variación de los parámetros hídricos y de suelo se acoplen con las operaciones

técnicas de cultivo (fertilización, manejo de residuos de cosecha, manejo de hierbas acompañantes, material genético tolerante a la salinidad y sistema de riego) y se reconozca un tipo de agricultura industrial específica para terrenos en esta condición (química, física y biológica).

La salinidad afecta el crecimiento y rendimiento de la población cultivada al reducir el potencial hídrico del suelo, disminuyendo la disponibilidad de agua, y al crear desequilibrio nutritivo por la elevada concentración de elementos (Na^+ , Cl^-) que pueden interferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular. En consecuencia, los diversos efectos observados a distinta escala, desde reducción de turgencia y crecimiento hasta la pérdida de la estructura celular por desorganización de membranas e inhibición de la actividad enzimática, son el producto combinado de estrés hídrico, toxicidad iónica y desequilibrio nutricional (Leidi y Pardo, 2002).

Como el stress salino que puede presentar la población de caña se acrecienta con la condición de “salinidad parcial” del agua y con la carga salina de los niveles freáticos, las posibles implicaciones se expresan en la reducción de la capacidad de absorción de agua por la planta. La capacidad adaptativa de la plantación podría beneficiarse de la manera como se maneje el aprovechamiento de los 962 mm aguas blandas procedentes de la precipitación local; este aprovechamiento dependería del ajuste en el manejo de las operaciones técnicas claves que ayudarían a conservar esta agua blanda en el suelo y en forma metabólica que luego pueda restituirse a la planta.

El grado de daño depende del tiempo, la concentración, la sensibilidad del cultivo y el consumo de agua. Los iones de las aguas de riego que pueden causar daño en forma individual o combinada son: cloro (Cl), sodio (Na) y boro (B) (Maas, 1984b citado por Báez., 2002.).

Ante la alta dureza de las aguas de riego el indicador de carbonato sódico residual CSR ofrece la posibilidad de integrar los carbonatos (CO₃), bicarbonatos (HCO₃), calcio, magnesio, ayudando a predecir la tendencia del calcio y magnesio a precipitar en el suelo. Cuando esto ocurre, aumentará la proporción relativa de sodio presente en el suelo (RAS) y por tanto, el riesgo de sodificación, a pesar de que la cantidad presente de sodio no ha variado.

El sodio determinado osciló entre alto a muy alto (4.30 – 6.62 meq/l) y el cloro presentó valores bajos (1.75 - 1.27 (Tabla 6)), como estos iones son absorbidos por la raíz y hojas, la concentración adecuada de estos iones depende de la variedad, el estado de crecimiento, concentración de los iones tóxicos, combinación de los mismos, clima y condiciones particulares del tipo de suelo.

Tabla 6. Caracterización química del agua de pozo profundo (55 m)

Fecha	pH	CE dS/m	Na meq/l	RAS	Aniones solubles meq/l				Dureza Total
					SO ₄ =	CO ₃ =	HCO ₃ =	Cl-	
Nov. 2010	7.8	0.58	4.30	2.29	3.12	Trazas	6.46	1.75	353,5
Ago-11	7.7	0.62	6.62	3.12	24.70	1.25	6.03	1.27	449,5
Interpretacion FAO									
Nov. 2010	Normal	Baja	Alto	Moderado	Alto	-	Medio	Bajo	Muy dura
Ago-11	Normal	Baja	Muy Alto	Moderado	Alto	-	Medio	Bajo	Muy dura

Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

La ecuación se representaría como: $NaCO^3 = (CO^3 + HCO^3) - (Ca + Mg)$, donde las concentraciones se expresan en meq/l. El CSR en el suelo de 2010 presentó valor de 0.61, y se considera que el agua de riego no tendría restricción para el uso agrícola; mientras que la de 2011 (1.71) se encuentra en rango medio, requiriendo seguimiento a las aguas de riego ante posibles riesgos de que se recupere el estado de salinidad que tantos esfuerzos ha demandado.

Los trabajos de Wilcox et al. (1954) demostraron que cuando se incrementan los valores de bicarbonatos en el agua, se incrementa la cantidad de CaCO_3 precipitado. El concepto de Eaton (1950) de completa precipitación del Ca + Mg, no fue reportado por Wilcox et al, (1954), quienes propusieron usar el concepto de CSR para clasificar las aguas de riego, dando lugar a tres clases que se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de riesgo sódico a partir de carbonato de sodio residual-CSR (carbonato de sodio residual).

CSR (meq / l)	Riesgo sódico
<0	Bajo
1,25 - 2,5	Medio
más de 2,5	Alto

Fuente: Adaptado de Wilcox et al. 1954

5.7.2 Análisis de Aguas Freáticas y Drenajes.

Aunque en la zona no inundable la calificación en dureza total, salinidad, bicarbonatos y sodio fue muy elevada el riesgo de acercar las sales a la zona radical de la caña se reduce por la profundidad del nivel freático; además, como las cepas sembradas en estos terrenos alcanza hasta la edad de los 4 cortes y como y la zona de mayor área radicular se encuentra aproximadamente a 40 cm, la posibilidad de que esta aguas freáticas alcancen niveles problemáticos se reduce aun mas. Sin embargo, es importante monitorear la dinámica freática en esta zona para crear mayor información sobre los niveles máximos que pueden alcanzar.

Como la estabilidad parcial de los cambios que experimentó el terreno en 2011 (pH “neutro a alcalino”, relación Ca/Mg estrecha y reducciones en magnesio)

dependen de la dinámica del nivel freático y las intervenciones de regulación, es importante prestar atención a las posibles derivas magnésicas en que puede terminar el terreno ya que los contenidos de magnesio en el suelo siguen siendo considerables y la dureza magnésica freática también es significativa.

En la temporada de sequia de agosto 11, al comparar las lecturas de aguas de riego y freáticas con las de drenaje (Figura 9) los valores elevados de pH y Ce de esta últimas indicaron la ocurrencia de un lavado catiónico y anionico. Los parámetros de salinidad, magnesio, sodio, bicarbonatos y dureza total demuestran que la carga salinizante de las aguas de riego está saliendo junto con una proporción mineral significativa de los depósitos freáticos y del suelo, exceptuando los carbonatos.

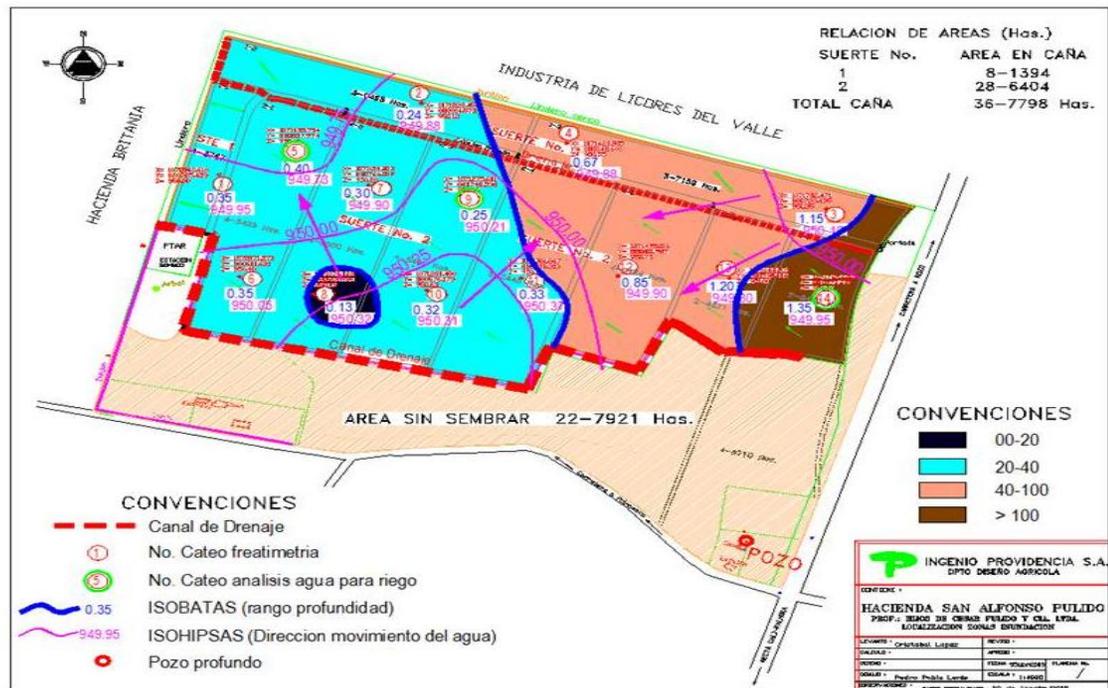


Figura 9. Canal de drenajes. Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

El contraste más notorio se observó con el lavado potásico, que superó en 17 veces lo que ingresó en el agua de riego y casi dobló las concentraciones

freáticas. Este comportamiento está expresando despilfarro potásico del depósito del suelo ó de las fertilizaciones ó de las cenizas procedentes de la quema de caña.

Al comparar la composición mineral de las aguas de drenaje de agosto 11 y 25 (Tabla 8) se observó un lavado continuado de cationes, excepto potasio. La procedencia es difícil identificar cual de la zonas está realizando la mayor contribución al lavado ya que la muestra se tomó al final del canal recolector, el monitoreo de éste proceso es importante continuarlo para generar una idea de la magnitud del lavado del terreno y de la carga salina con que puede contribuir esta intervención a las cuencas vecinas.

Tabla 8. Análisis químico de Aguas del canal de drenaje.

Parámetros		Fecha: 2011	
		Agosto 11	Agosto 25
pH		8,4	7,5
CE /dS/m		0,84	1,06
Cationes (me/litro)	solubles		
	Calcio (Ca ⁺⁺)	6,75	7,60
	Magnesio (Mg ⁺⁺)	6,50	6,85
	Potasio (K ⁺)	0,85	0,50
	Sodio (Na)	8,70	9,50
	Suma de cationes	22,80	24,45
	RAS	3,38	3,53
	Dureza Cálcica	337,50	380,00
	Dureza magnésica	325,00	342,50
Dureza total	662,50	722,50	
Aniones (me/litro)	solubles		
	Sulfatos (SO ₄ =)	44,80	9,89
	Carbonatos (CO ₃ =)	1,25	Trazas
	Bicarbonatos (HCO ₃ -)	6,24	6,03
Cloruros (Cl-)	2,60	2,01	
Interpretacion (FAO)	Salinidad (CE)	Baja	Baja
	Magnesio (Mg)	alto	Alto
	Sodio (Na)	Muy alto	Muy alto.
	Bicarbonatos (HCO ₃ -)	Medio	Medios
	Dureza Total	Muy duras	Muy dura

Fuente: Laboratorio Químico de Campo, Ingenio Providencia S.A.

5.8 Relacionando la condición especial del suelo con el manejo del cultivo

Como los correctivos que se introdujeron a los suelos de la hacienda San Alfonso produjeron resultados notorios en un corto período de tiempo (2008 – 2011) es importante considerar el peso que ejerce el manejo en la sostenibilidad del cultivo. La contribución significativa al balance de las sales al suelo proceden de las operaciones de fertilización, riego y encalle de residuos de cosecha; en menor proporción aparecen la aplicación de madurante con nitrato de potasio y el aporte no determinado de sales que pueden generar los herbicidas aplicados por ciclo de cultivo en las 19.58 ha de la hacienda (460.5 l de Amina 2-4 D, Glifolaq, Ametrina e Igram y 196 kg de Karmex) (Tabla 9).

Tabla 9. Itinerario de técnicas y contribución química al suelo en 19.58 ha de caña de la suerte 2 de la hacienda San Alfonso, Palmaseca (Palmira, Valle del Cauca).

Itinerario de técnicas y prácticas	Características	# Repeticiones	Productos	Constituyentes de sales	Dosis	Cantidad
Encalle residuos de cosecha	Manual, caña quemada	1	Hojarasca de caña sin quemar	CaO 0.65% - MgO 0.68% K ₂ O 0.65 NaO 0.02%	17.5 ton/ha	345.2 7 ton
Fertilización	abonamiento aéreo	2	CAÑA CROP BIOESTIMU	120g de K/l, 4g de Mg/l	5 l/ha	197.3 0

			LANTE			
abonamiento manual	3		DAP-Fosfato Diamónico	Total (N) 21.0% Nitrógeno Amoniacal (N) 21.0% Fósforo Asimilable (P ₂ O ₅) 53.0%	100kg /ha	1973.00 kg
			MEJISULPHUR 70 k	30% de K, 40% Mg 6% de Si (Si O ₂)	220 kg/ha	2200
abonamiento mecánico tercera aplicación	2		Boro granulado	3 % de K ₂ O, 10% de B	10.14	200
			MICROZINC	40.7 g /l de N – Org., 149 g /l Zn	1014	506.84
			SULENE-56 ABONO	38% N - 18%S	154.59 kg/ha	3050
abonamiento único	1		Sulfato de amonio	20.5% de N	300 kg/ha	5574
aplicación de vinaza	1		Vinaza (15.91 Brix)	K ₂ O 1.56%, Ca .29%, Mg 0.28%, Na 0.06 %	10000 l/ha	197300 l
aplicación de correctivos	3		Nitrax 22	266 g/l N total	82.87 l/ha	300
			Azufre	99.5 % _	Mezcla	-

		1	BORO LIQUIDO MICROFER TIZA	95.5 g/l de N – org, 132 g/l de B	2.98 tambo res/ha	5 tambo res	
		1	Nitrax 22 - S	266 g/l N total	208.3 3 l/ha	350	
			Azufre	–	Mezcl as	-	
		1	BORO LIQUIDO MESAGRO	95.5 g/l de N, 132 g/l de B	1.84 l/ha	36	
			SULFATO FERROSO	(FeSO ₄ . 5H ₂ O) 30% Fe soluble, 17% de S	12.77 kg/ha	250	
			UREA	46% de N	183.8 6 kg/ha	9193. 05	
	Aplicación proviN	1	Vinaza 15.91%	K ₂ O 1.56%, Ca 0.29% Mg 0.28%, Na 0.06 %	10000 l/ha	19730 0 l	
			+ Urea	46% d e N	100 kg / 10000 l/	1973	
	Manejo de hierbas acompañantes	Control químico mecanizado de malezas jacto	1	AMINA 2-4-D +	Auxina sintética con 2 o 3 átomos de cloro.	1.5 l/ha	30 litros
				GLIFOLAQ	C6H17N2O5P	1.0	20

					l/ha	litros
	deshierbas manuales	14	Jornales		2.73 j/ha.	67.73 jor.
	Herbicida control químico mecaniz.de malezas	1			1.54l/ Ha	19.73
	Rodeos con herbicida	7	AMINA-2-4 D	Auxina sintética con 2 o 3 átomos de cloro	3.57 l/Ha	23.55 l
GLIFOLAQ			Sal isopropilamina de Glifosato, CO ₂ -C-CH ₂ - CO ₂ -C-CH ₂ - NH-CH ₂ - PO(OH) ₂ (Composición) 5.6% p/v Glifosato ácido, equivalente a 48 % p/v sal de isopropilamina de la n- fosfometil Glicina)	6.59 l/ha	22.0 l	
AMETRINA			C ₉ H ₁₇ N ₅ S, 2- etilamino-4- isopropilamino-6-	1.96 l/ha	20.0 l	

				metiltio-s-trizaina		
			KARMEX	N'-(3,4-Diclorofenil) - N,N-dimetil urea)	1.96 kg/ Ha	20.0 kg
			MEXCLATE R ADHERENT E SURFATAN TE	Hidrocarburos parafínicos	0.25 l/ha	2.5 l
	Aplicación de herbicidas	9	AMETRINA	C ₉ H ₁₇ N ₅ S, 2- etilamino-4- isopropilamino-6- metiltio-s-trizaina	17.83 l/ha	171 l
			KARMEX	N-(3,4-Diclorofenil) - N,N-dimetil urea)	18.79 kg /ha	176 kg
			MEXCLATE R ADHERENT E SURFATAN TE	Hidrocarburos parafínicos	1.23 l/ha	15.5 l
			GLIFOLAQ	Sal isopropilamina de Glifosato, CO ₂ -C-CH ₂ -CO ₂ -C-CH ₂ -NH-CH ₂ -	0.97 l/ha	3.0 l

				PO(OH) ₂ (Composición) 5.6% p/v Glifosato ácido, equivalente a 48 % p/v sal de isopropilamina de la n- fosfonometil Glicina)			
				AMINA-2-4 D	Auxina sintética con 2 o 3 átomos de cloro	14.02 l/ha	120.5 l
				IGRAM	47.2 %P/P deTerbutrina, 1 – 5 %P/P de 1,2 propanodiol	1.68 l/ha	33.0 l
	Limpieza de cañas socas y plantillas	4	jornal			1.23 j/ha	29.6 j
	limpieza del terreno	3					
Maduración	Aérea, con bioticon				Nitrato de Potasio	0.50 kg/ha	9.75 kg
Riego		14			Ca= 4.72 meq/l Mg= 2.35 meq/l Na= 4.30 meq/l	12716 .26 m3/ha	250.8 91,80 m3

Fuente: Los autores.

5.9 Balance de sales

Ante la dificultad de reunir información sobre el volumen de agua que sale por los canales de desagüe durante el ciclo de cultivo el balance de sales (Tabla 13) produce una idea general sobre las elevadas cargas de sales que pueden generar el riego y la fertilización con vinaza, e igualmente indica el riesgo que puede causar el manejo para la estabilidad de los logros alcanzados con los correctivos actuales (aplicación de fertilizantes de residualidad ácida como el sulene y la vinaza, la variedad V-7151 tolerante a las sales y manejo adecuación de canales).

El Na procedente del riego constituye uno de los elementos que más se incorpora en el manejo y la relación Ca/Mg resulta problemática ya que se encuentra invertida por los contenidos altos de Mg que se incorporan y el lavado representativo de Ca que se encuentra en las aguas del canal de drenaje.

La consideración del agua freática como fuente del balance de sales presenta dos dimensiones, en ocasiones puede representar entradas de sales cuando el nivel freático se acerca a la superficie e incorpora sales a la rizosfera pero puede convertirse en ruta de evacuación de sales con el descenso. Otro elemento problemático en el manejo corresponde al potasio, en el análisis de las aguas drenadas se reportaron concentraciones altas que indicaban lavado y despilfarro de este recurso, ahora en el balance de sales parece indicar que el riego se ha convertido en una manera de ferti-riregación de sales, lo que significaría la necesidad de adelantar una evaluación más detallada para estimar la otra función del riego y los problemas que pueden generar a largo plazo si se continúa con el actual itinerario técnico.

Al considerar una estrategia que tenga en cuenta la contribución prudente de sales sería importante el manejo de los residuos de cosecha no incluyera la rápida mineralización vía quemas o requemas sino en proceso de descomposición lenta

de la materia orgánica; igualmente estrategias para demorar la retención de las aguas lluvias en el suelo y planes de riego que combinen las aguas duras del riego actual con aguas blandas de otra fuente. Otra consideración estratégica consistiría en examinar el balance actual que sustenta la fertilización y en redefinir las aplicaciones actuales de vinaza en suelos que la composición de las arcillas puede alcanzar hasta el 72%.

Tabla 10. Balance de sales de Ca, Mg, Na y K en la plantación cañera de la hacienda San Alfonso, a partir de las operaciones técnicas relevantes de fertilización, riego y encalle de residuos de cosecha.

Fuente	Ca		Mg		Na		K	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Fertilización	315 kg	SD	1.184 kg		6.984 kg		2.352 kg	
Riego	1.888.000 kg	7,175 meq/l	7.169.480 kg	6.675 meq/l	24.802.411 kg	9.10 meq/l	1.177.184 kg *	0.67 meq/l
Hojarascas	1.234 kg		1.665 kg		4.070 kg		1.234 kg	
Agua Freática	5.5 meq/l	SD	24.1 meq/l	SD	49.1 me/l	SD	0.43 meq/l	SD
Totales	1.889.549 kg		7.172.329 kg	19.830.535 kg	24.813.465 kg		1.180.770 kg	

SD= Sin determinar

*= Aporte de la vinaza

Fuente: Los autores.

6. CONCLUSIONES

Aunque la diferencia altitudinal en el territorio agrícola de la hacienda cañera san Alfonso es solo de 1.18 m., se destacaron tres zonas (inundables, semi-inundables y no-inundable) y en un periodo de 4 años, se produjo un cambio notable en el pH, se pasó de 2008 de pH. En 2008 algunas zonas presentaron pH de 8.7, 8.9 y 9.0; con las aplicaciones de sulfuro, azufre elemental y vinazas; con los canales de drenaje y con ayuda natural de la inundación los pH bajaron a niveles de 7.6 y 7.9, y presentándose parches pequeños con pH de 8.6.

El patrón de zonas uniformes con pH muy alcalinos se fragmentó y comenzaron a aparecer pequeños parches discontinuos y minoritarios, la condición dominante de la hacienda pasó a “casi neutro” y “alcalina”.

Al comparar 2008 - 2011 el cambio más significativo en contenido de sodio se presentó en la parte sur de la zona no-inundable, reduciendo hasta en 13.5 (meq/100 gr de suelo) en la profundidad de 0-20 cm. y 17 meq en la profundidad 20-40 cm. La zona semi-inundable en la profundidad de 0-20 cm continuó en condición alta pero presentó leve descenso, en la profundidad 20-40 cm las variaciones fueron más significativas y se observó que los parches con sodio normal no son duraderos.

El Na procedente del riego constituyó uno de los elementos más se incorporados en el manejo y la relación Ca/Mg resultó invertida por los altos contenidos de Mg incorporados y el lavado representativo de Ca encontrado en las aguas del canal de drenaje.

7. RECOMENDACIONES

Como la estabilidad parcial de los cambios que experimentó el terreno en 2011 (pH “neutro a alcalino”, relación Ca/Mg estrecha y reducciones en magnesio) dependen de la dinámica del nivel freático y las intervenciones de regulación, es importante prestar atención a las posibles derivas magnésicas en que puede terminar el terreno ya que los contenidos de magnesio en el suelo siguen siendo considerables y la dureza magnésica freática también es significativa.

Los rendimientos en TCH y sacarosa también dependerá de la manera en que la variación de los parámetros hídricos y de suelo se acoplen con las operaciones técnicas de cultivo (fertilización, manejo de residuos de cosecha, manejo de hierbas acompañantes, material genético tolerante a la salinidad y sistema de riego) y se reconozca un tipo de agricultura industrial específica por sitio para terrenos en esta condición (química, física y biológica).

Es importante considerar una estrategia que tenga en cuenta la contribución prudente de sales, donde el manejo de los residuos de cosecha no incluya la rápida mineralización vía quemas o requemas sino procesos de descomposición lenta de la materia orgánica; igualmente estrategias para demorar la retención de las aguas lluvias en el suelo y planes de riego que combinen las aguas duras del riego actual con aguas blandas de otra fuente. Otra consideración estratégica consistiría en examinar la fertilización y los aportes de potasio ante los valores encontrados en los canales de drenaje.

La incorporación de abonos orgánicos, para mejorar la porosidad retención de humedad y las propiedades física y químicas del suelo.

El uso de leguminosas y su incorporación como abonos verdes, mejora la estructura y tienen igual efecto que el abono orgánico.

8. BIBLIOGRAFÍA

Báez A. 2002. Efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades del suelo. Buenos Aires, Argentina: INTA. 53 p. Acceso: 27/10/2011

Biederbeck, V.O., H.H. Janzen, C.A. Campbell, y R.P. Zentner. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biol. Biochem.* 26:1674-1656.

Bresler E, McNeal B. y Carter D.. 1982. Saline and sodic soils: Principles-Dynamics-Modeling. Editorial Springer-Verlag, Berlín/Heidelberg/New York: 236 p

Calderón Sáenz, Felipe. 2005. La conductividad eléctrica -CE- y la conductividad eléctrica a granel -CEG- del suelo como base para la medición de la humedad del suelo. Bogotá, Colombia. Acceso: 05-09-2011.

Carbonell G., J.; Amaya E., A.; Ortiz U., B.; Quintero, R.; Isaacs E., C.H. 2001. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Rio Cauca. Tercera aproximación. Cali. CENICAÑA. 59 p. (Serie Técnica No. 29)

Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia – Cenicaña Estación experimental: vía Cali-Florida, km 26 Tel: (57) (2)6648025 – Fax: (57) (2) 6641936
Dirección postal: Calle 58 norte No. 3BN-110 Cali, Valle del Cauca-Colombia.

Eaton, M. F., 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.* 69: 123-133.

Gasca, V., C.A. 2010. Cambio en el PSI y la RAS de un suelo y su influencia en la actividad biológica y la biomasa microbiana. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias. Palmira: Unalc Colombia. 66p.

Giraldo, Quiceno y Valencia. 2010. Política pública ambiental y ambiente en el Valle del Cauca, 1991-2010 Entramado Vol.6 No. 2, 2010 (Julio -Diciembre).

Herrada, J.; Madero, E. 2009. Efectos de las aplicaciones de vinaza en la sodicidad de un suelo del valle del Cauca-Colombia. Congreso de la Asociación de técnicos de la caña de azúcar, 8, septiembre15, Cali.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2006. Métodos analíticos de laboratorio. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1988. Suelos y bosques de Colombia. IGAC. Bogotá. 135 p.

Jaramillo, D.F.2002.Introduccion a la ciencia del suelo. Medellín<universidad Nacional de Colombia.p367, 370.

Jenkinson, D.S., and J.N. Ladd. 1981. Microbial biomass in soil, measurement and turnover. p. 415-472. *In* E. A. Paul y J. N. Ladd (eds.) Soil Biochemistry, Vol 5. Marcel Dekker, New York, USA.

Leidi, E. O.; Pardo, J. M. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino: qué hay de nuevo.

López, H. M. 2002. Sucesión de la comunidad bacteriana en suelos salinos enmendados con paja de maíz y glucosa. Tesis de maestría en ciencias, área

Biocientífica. Tecoman, Colima: Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima.177p.

Lenis, P. y Tovar F. 2011 Notas de laboratorio de campo en el laboratorio Químico de campo y Diseño agrícola (sin publicar)

Mora, C. (1998). Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga: Corpoica, Sena.

Mora, C.J. 1998. Apuntes sobre el origen de la caña e historia del gremio panelero. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Corpoica, Sena. Bucaramanga, Colombia.

Moreno. 2011. Información de gerencia de Campo proporcionada a los autores

Pessarakli M. 1991. Formation of saline and sodic soils and their reclamation. J. of Environmental Science Health, A26 (7):1303-1320.

Ramos, A. 2011. Entrevista del estadígrafo del Ingenio Providencia concedida a los autores.

Rangel, H. 1992. Catalogo de variedades. Cali. CENICAÑA. 39 p. (Serie Técnica No. 11)

Shainberg, I. 1984. The effect of electrolyte concentration on the hydraulic properties of sodic soils. P 49-64: *In*: I. Sheinberg and J. Shalhevet (ed). Soil salinity under irrigation. Ecol. Stud. Vol 51. Springer-Verlag New York, New York.

Shimper 1903. Contaminación del suelo. Tema12. Salinización.

Wilcox, L. V., G. Y. Blair and C.A. Bower. 1954. Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. *Soil Sci.* 77: 259-266.

Zahow M.F. y C. Amrhein. 1992. Reclamation of a saline soil using synthetic polymers and gypsum. *Soil Science of Am. J.*, 56(4):1257-1260.

9. ANEXOS

Anexo 1.

RESULTADO ANALISIS DE SUELOS ANTES DE LA INUNDACION - AÑO 2008										
CATEO Nº	PROF. cm	pH	CEa	MO	Cationes intercambiables meq/100 g					
		V:V 1:1	dS/m	W.B %	Ca	Mg	K	Na	CIC	PSI
1	0-20	7,5	0,80	4,45	26,61	17,94	1,16	1,94	47,65	4,07
	20-40	7,6	1,87	1,55	22,09	18,04	0,58	2,94	43,65	6,74
2	0-20	7,6	2,41	2,95	25,95	20,86	0,98	3,42	51,21	6,68
	20-40	7,9	2,94	1,29	21,66	23,44	0,48	6,58	52,16	12,62
3	0-20	9,0	0,24	1,14	20,20	18,92	0,47	5,58	49,50	11,27
	20-40	8,4	0,23	2,53	27,90	16,08	0,94	1,89	48,70	3,88
4	0-20	7,4	0,35	3,89	26,40	16,22	0,81	0,80	44,23	1,81
	20-40	7,9	0,20	2,03	25,20	15,59	0,46	3,60	44,85	8,03
5	0-20	7,4	0,63	3,72	31,22	16,38	1,08	1,66	50,34	3,30
	20-40	7,7	0,81	1,97	30,41	18,72	0,63	3,38	53,14	6,36
6	0-20	7,3	0,66	3,52	30,75	15,25	1,18	1,54	48,72	3,16
	20-40	7,8	1,85	1,24	30,44	18,10	0,42	1,98	50,94	3,89
7	0-20	7,4	2,58	3,62	30,15	21,54	0,83	1,98	54,50	3,63
	20-40	7,6	3,21	2,12	28,30	17,90	0,44	2,26	48,90	4,62
8	0-20	7,3	0,83	3,78	31,30	19,06	0,96	2,14	53,46	4,00
	20-40	7,6	2,01	2,22	26,40	18,50	0,49	3,76	49,15	7,65
9	0-20	7,7	1,47	4,14	25,10	12,94	1,05	1,15	40,24	2,86
	20-40	7,7	0,44	2,19	25,50	14,41	0,42	5,04	45,37	11,11
10	0-20	7,2	0,84	3,47	29,65	16,65	0,82	1,32	48,44	2,73
	20-40	7,4	0,30	2,74	28,18	22,12	0,62	2,80	53,72	5,21
11	0-20	7,6	0,85	3,94	25,50	9,95	0,44	1,53	37,42	4,09
	20-40	7,3	1,74	3,16	20,60	13,09	0,68	1,33	35,70	3,73
12	0-20	8,9	0,97	2,07	29,50	15,49	1,16	16,25	62,40	26,04
	20-40	9,2	2,09	0,88	19,90	15,55	0,80	25,25	61,50	41,06
13	0-20	8,9	0,60	3,00	18,50	10,33	0,76	13,25	42,84	30,93
	20-40	9,7	0,68	1,24	30,30	12,66	0,47	18,00	61,43	29,30
14	0-20	8,7	0,67	1,66	32,60	8,99	0,24	18,25	43,22	42,23
	20-40	9,3	0,83	0,47	29,80	9,59	0,14	16,00	55,53	28,81

Anexo 2.

RESULTADO ANALISIS DE SUELOS POS - INUNDACION - AÑO 2011										
SUERTE (Sitio)	Prof. cm	pH	CEa	MO	Cationes intercambiables meq/100 g					
		V:V 1:1	dS/m	W.B %	Ca	Mg	K	Na	CIC	PSI
1 (1)	0-20	6,5	0,39	4,29	18,48	11,86	1,71	1,51	40,60	3,72
	20-40	6,7	0,30	3,52	21,01	13,66	1,66	1,65	46,14	3,58
1(2)	0-20	7,0	0,91	4,14	20,16	17,08	0,73	2,12	47,52	4,46
	20-40	7,1	1,92	2,95	19,02	18,42	0,42	2,85	50,50	5,64
1Z(3)	0-20	7,4	0,50	2,90	15,01	8,76	0,87	0,79	59,28	1,33
	20-40	7,3	0,46	1,97	17,17	10,71	0,83	0,83	65,06	1,28
1Z(4)	0-20	7,9	1,32	0,62	13,60	9,59	0,76	1,88	32,26	5,83
	20-40	8,1	0,95	0,16	11,41	12,66	0,74	1,97	36,78	5,36
2(5)	0-20	7,6	0,78	3,67	18,69	15,26	0,91	2,24	75,74	2,96
	20-40	7,5	1,14	2,17	18,74	17,38	0,59	2,62	72,52	3,61
2(6)	0-20	7,2	1,15	3,52	17,10	12,51	0,76	1,98	63,62	3,11
	20-40	7,4	0,64	3,00	17,04	12,90	0,53	2,04	43,62	4,68
2(7)	0-20	7,6	1,31	3,05	18,57	13,15	0,76	2,20	55,92	3,93
	20-40	7,2	0,74	4,50	20,94	14,14	1,83	1,69	53,64	3,15
2(8)	0-20	7,4	0,89	3,41	19,73	10,91	1,38	1,74	51,02	3,41
	20-40	7,7	0,61	2,12	18,16	10,44	0,58	1,91	55,22	3,46
2(9)	0-20	7,6	0,82	2,07	19,72	15,54	0,53	1,76	66,02	2,67
	20-40	7,5	1,01	2,90	20,55	13,33	1,10	1,48	52,58	2,81
2(10)	0-20	7,6	1,01	3,41	20,53	12,64	1,07	1,76	37,08	4,75
	20-40	7,9	0,56	2,59	21,47	12,53	0,59	2,12	44,06	4,81
2(11)	0-20	7,4	0,76	3,83	18,63	11,81	0,88	0,93	50,14	1,85
	20-40	7,7	0,59	1,81	17,90	10,33	0,33	1,58	43,44	3,64
3(12)	0-20	7,6	0,33	2,95	18,64	11,17	0,79	0,69	54,42	1,27
	20-40	7,7	0,51	1,60	18,45	11,94	0,41	1,73	50,40	3,44
3(13)	0-20	7,6	0,35	2,90	20,67	13,41	0,92	1,03	62,40	1,65
	20-40	7,8	0,43	2,48	21,70	15,78	0,78	1,61	53,30	3,02
3(14)	0-20	8,6	1,01	1,45	15,25	9,39	0,59	4,22	45,04	9,37
	20-40	8,3	1,45	0,78	13,48	8,64	0,38	4,38	39,60	11,06