UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

MANEJO DE UN AGUA DE RIEGO BICARBONATADA SODICA PARA CAÑA DE AZUCAR EN UN SUELO MAL DRENADO, VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

ELKIN GEOVANNI SÁNCHEZ RONCANCIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACIÓN GENERAL DE POSTGRADOS
PALMIRA
2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

MANEJO DE UN AGUA DE RIEGO BICARBONATADA SODICA PARA CAÑA DE AZUCAR EN UN SUELO MAL DRENADO, VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

ELKIN GEOVANNI SÁNCHEZ RONCANCIO

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos y Aguas – Línea investigación

DIRIGIDO POR.
EDGAR ENRIQUE MADERO MORALES Ph.D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACIÓN GENERAL DE POSTGRADOS
PALMIRA
2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS

En Palmira a los 12 días del mes de Noviembre de 2013, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores Álvaro García Ocampo y José Ricardo Cruz Valderrama.

Para calificar la Tesis de Grado de:

ELKIN GEOVANNI SÁNCHEZ RONCANCIO

Titulada:

"MANEJO DE UN AGUA DE RIEGO BICARBONATADA SÓDICA PARA CAÑA DE AZÚCAR EN UN SUELO MAL DRENADO, VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA,"bajo la dirección de Edgar Enrique Madero Morales, PhD.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los investigadores Álvaro García Ocampo y José Ricardo Cruz Valderrama., y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA ✓

REPROBADA ___

ALVARO GARCÍA OCAMPO

JOSÉ RICARDO CRUZ VALDERRAMA.

DEDICATORIA

- A Dios por permitirme lograr otro objetivo más en mi vida profesional.
- A mis hermosos hijos Juan José y Sofía quienes con su amor permanente me permiten tener la paz y la tranquilidad ideal.
- A mi gran esposa Paola por acompañarme y apoyarme en todos los momentos de mi vida.
- A mis padres y hermanos por ser la base fundamental de mi existencia.

AGRADECIMIENTOS

- Ingenio Providencia S. A. por la oportunidad y los recursos destinados para el desarrollo de esta importante investigación.

- Universidad Nacional de Colombia por su gran formación académica con la que pude tener las bases para realizar este trabajo de tesis.

- Profesor Edgar Madero PhD. Por su disposición y permanente entrega en la ejecución de este proyecto.

- Ing. Jorge Armando Ramírez MsC. Por su invaluable colaboración y ayuda en el desarrollo de esta investigación.

- Dr. Idelfonso Pla Sentís PhD. Por sus grandes aportes, sus revisiones y consejos en el transcurso de esta obra.

- Investigador Héctor Chica (Cenicaña) Por su importante ayuda en el planteamiento estadístico de esta investigación.

Compendio

MANEJO DE UN AGUA DE RIEGO BICARBONATADA SODICA PARA CAÑA DE AZUCAR EN UN SUELO MAL DRENADO, VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Elkin Sanchez R. y Edgar Madero M.[1]

En Palmira Valle del Cauca, 76ª 17´ 19.48´´L y 3ª 37´ 57.27´´Lat, bajo clima semiárido, se estudió el efecto del lavado por diez meses con un agua bicarbonatada sódica tratada con yeso o con vinaza, sobre un Endoaquert Sódico isohipertérmico muy fino mezclado para caña de azúcar; se instaló drenaje interno y los cálculos se basaron en el modelo Salsodimar. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial y cuatro repeticiones, y se analizaron a dos profundidades variables físicas de campo (infiltración, conductividad hidráulica, densidad) y laboratorio (curva de retención, textura, módulo de ruptura, dispersión, plasticidad), iones solubles, pH y CE, en el extracto de saturación, aguas de riego y de drenaje, y cada variable se comparó en sus estados inicial y final. El agua mejorada con vinaza fue el mejor tratamiento, pero los resultados obtenidos en relación a los efectos sobre el control de la sodificación deben considerarse como preliminares, ya que dichos efectos con el uso de diferentes mezclas del agua de riego con productos como yeso y vinaza no se alcanzarían sino después de varios años de tratamiento, por involucrar cambios en los cationes intercambiables. Se pudo evidenciar que el pH en la solución del suelo tiende a incrementarse en todos los tratamientos, por lo cual es indispensable el seguimiento a esta característica para determinar si es una tendencia o un efecto temporal de los tratamientos.

Palabras claves: Salsodimar, agua de riego bicarbonatada, endoaquert sódico, caña de azúcar.

Abstract

MANAGEMENT OF SODIUM BICARBONATE IRRIGATION WATER FOR SUGAR CANE IN A POORLY DRAINED SOIL, VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

In Palmira Valle del Cauca, 76th 17 ' 19.48 '' L and 3rd 37' 57.27 '' Lat, under a semi-arid climate, the effect of leaching was studied for ten months with sodium bicarbonate water treated with gypsum or vinasse on a fine isohyperthermic Sodic Endoaquert for sugarcane. Internal drainage was installed and calculations were based on the Salsodimar model. Under a experimental design of completely randomized blocks in factorial arrangement and four replications at two depths. The physical field and laboratory variables were analyzed (infiltration, hydraulic conductivity, density and retention curve, texture, rupture module, dispersion, plasticity), soluble ions, pH and EC in the saturation extract, water irrigation and drainage; each variable was compared in their initial and final states. Enhanced water by vinasse was the best treatment. But results obtained in relation to the effects on control of soil sodification shall be considered preliminary since these effects cannot be achieved until several years of treatment because it involves changes in exchangeable cations. It was evident that pH in the soil solution tends to increase in all treatments. Therefore, it is essential to monitor this characteristic to determine if it is a trend or temporary effect of treatments.

Key words: Salsodimar, bicarbobated irrigation water, Sodic Endoaquert, sugar cane.

---

[1] Estudiante de Maestría y Profesor Titular Univ. Nacional Col.

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA....3
2. JUSTIFICACIÓN....4
3. OBJETIVOS....5
4. HIPÓTESIS....6
5. MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES....7
5.1 AREA DE ESTUDIO....7
5.2 SUELOS AFECTADOS POR SALES....7
5.3 SUELOS SALINOS....8
5.4 SUELOS SÓDICOS....8
5.5 EFECTO DEL Na EN LOS SUELOS....9
5.6 SITUACIÓN EN COLOMBIA Y EN EL VALLE DEL CAUCA....10
5.7 MANEJO DEL AGUA DE RIEGO CON SODIO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR....11
5.8 PROCESO DE RECUPERACION DE SUELOS SODICOS.....13
5.8.1 Efecto del yeso en la recuperación de suelos sódicos....13
5.8.2 Efecto de la vinaza en la recuperación de suelos sódicos....13
5.9 CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO....14
5.10 EFECTO DE AGUAS DE RIEGO SODICAS SOBRE EL SUELO....16
6 METODOLOGÍA....19
6.1. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO....19
6.1.1 Características generales del suelo,....20
6.1.2 Clima....21
6.2 ETAPA PRELIMINAR DEL ESTUDIO. 22
6.3 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS INÍCIALES (FÍSICAS Y QUÍMICAS) DEL SUELO Y DEL AGUA DE RIEGO 22
6.3.1 Características químicas. 23
6.3.2 Características físicas. 24
6.3.3 Muestreo de aguas para riego 26

6.4 SIMULACION DE LOS TRATAMIENTOS (Modelo SALSODIMAR) 27
6.5 EXPERIMENTO DE CAMPO 27
6.6 DISEÑO EXPERIMENTAL. 29
6.7 EXPERIMENTO EN LABORATORIO. 31
7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34
7.1 RESULTADOS DEL ESTADO INICIAL DEL SUELO (DIAGNOSTICO) ...34
7.1.1 Condiciones físicas 34
7.1.2 Condiciones Químicas 42
7.1.3 Calidad de aguas de riego. 45
7.2 RESULTADOS DE LABORATORIO. 46
7.3 RESPUESTA DEL SUELO EN CAMPO A LA APLICACIÓN DE RIEGO MAS UNA FRACCION DE LAVADO. 48
7.3.1 Efectos de tipo físico 48
7.3.2 Efectos de tipo químico. 50
7.4 RESPUESTA DEL SUELO EN CAMPO A LA FRACCION DE LAVADO CON AGUA Y YESO 53
7.4.1 Efectos de tipo físico. 53
7.4.2. Efectos de tipo químico. 55
7.5 RESPUESTA DEL SUELO EN CAMPO A LA FRACCION DE LAVADO CON AGUA DE RIEGO MAS VINAZA. 59
7.5.1 Efectos de tipo físico. 59
7.5.2 Efectos de tipo químico 60
8 CONCLUSIONES 66
BIBLIOGRAFIA 67
ANEXOS 73

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 DISTRIBUCIÓN HISTÓRICA DEL RÉGIMEN DE HUMEDAD EN LA HACIENDA LA TERTULIA. 21
TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO Y EL TRATAMIENTO ASIGNADO A CADA UNO EN CAMPO 31
TABLA 3 RESULTADOS DE TEXTURA, COEFICIENTE DE DISPERSIÓN, LÍMITE DE PLASTICIDAD E ÍNDICE DE PLASTICIDAD. 35
TABLA 4 PROMEDIOS DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS DE LA HACIENDA LA TERTULIA. 37
TABLA 5. RESULTADOS DE INFILTRACIÓN Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA. 41
TABLA 6 CONDICIONES QUÍMICAS INICIALES DE LOS PUNTOS EVALUADOS EN LA HACIENDA LA TERTULIA. 44
TABLA 7 COMPOSICIÓN DEL AGUA DE RIEGO PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS. 46
TABLA 8. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y PH DEL AGUA Y LA VINAZA 46
TABLA 9. EFECTO DEL REQUERIMIENTO DE LAVADO DE AGUA MAS VINAZA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS(C.E Y PH) DE LAS AGUAS DE DRENAJE Y EL SUELO. 47
TABLA 10. INFILTRACIÓN (I) 49
TABLA 11. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO CON FRACCIÓN DE LAVADO EN EL MODULO DE RUPTURA 50
TABLA 12. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO EN LA RAS_{ES} 50
TABLA 13. CONTENIDOS DE LOS BICARBONATOS EN EL SUELO. 53
TABLA 14. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO CON ENMIENDA DE YESO EN EL MODULO DE RUPTURA 55
TABLA 15. EFECTO DEL AGUA DE RIEGO CON ENMIENDA DE YESO EN LA RAS_{ES} (TABLAS CON LA MISMA LETRA NO TIENEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS). 56
TABLA 16 CONTENIDO DE BICARBONATOS CON AGUA DE RIEGO MAS ENMIENDA CON YESO 59
TABLA 17 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE VINAZA EN LA INFILTRACIÓN DE LOS PRIMEROS 20 CM DE SUELO (I) 59
TABLA 18 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE VINAZA EN EL MODULO DE RUPTURA. 60
TABLA 19 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE VINAZA EN LA MATERIA ORGÁNICA. 63
TABLA 20 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE VINAZA EN EL CONTENIDO DE K EN EL SUELO 63
TABLA 21 CONTENIDO DE BICARBONATOS CON AGUA DE RIEGO MAS ENMIENDA CON VINAZA 65

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 ENTRADAS Y SALIDAS DE AGUA, EXPRESADA EN LÁMINA, EN EL PERFIL DE UN SUELO. 16
FIGURA 2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA HACIENDA LA TERTULIA. 19
FIGURA 3 DISTRIBUCIÓN GRÁFICA DE LA PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN HISTÓRICAS EN LA HACIENDA LA TERTULIA. 21
FIGURA 4 ESTADO DEL SUELO EN EL MOMENTO DE REALIZAR LA EVALUACIÓN INICIAL....23
FIGURA 5 FOTOGRAFÍA SATELITAL CON LA UBICACIÓN DE LOS PUNTOS PARA LA SIMULACIÓN EN LABORATORIO (TOMADO DE GOOGLE EARTH 2011) 24
FIGURA 6 DETERMINACIÓN DE INFILTRACIÓN Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN CAMPO..25
FIGURA 7 TOMA DE MUESTRAS PARA DETERMINAR DENSIDAD APARENTE, MODULO DE RUPTURA Y POROSIDAD DE AIREACIÓN DEL SUELO....25
FIGURA 8 METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR ÍNDICES DE PLASTICIDAD 26
FIGURA 9 APLICACIÓN DE LA LÁMINA EN CAMPO 28
FIGURA 10 MEZCLA DE LA ENMIENDA EN CAMPO 29
FIGURA 11 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL. (TOMADO DE GOOGLE EARTH 2011) 30
FIGURA 12 MEZCLA DE LA ENMIENDA Y APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO EN LOS CILINDROS 32
FIGURA 13 FOTOGRAFÍA SATELITAL QUE MUESTRA LA ZONA DE MAYOR PROBLEMÁTICA PARA LABORABILIDAD (TOMADO DE GOOGLE EARTH 2011)....36
FIGURA 14 FOTOGRAFÍA SATELITAL QUE MUESTRA LA ZONA DE MAYOR PROBLEMÁTICA PARA CAPACIDAD DE ENRAIZAMIENTO (TOMADO DE GOOGLE EARTH 2011)....38
FIGURA 15 EROSIÓN EN EL BORDE DEL LOTE EN ESTUDIO, SE APRECIA CONDICIONES FÍSICAS INAPROPIADAS EN EL SITIO DE ESTUDIO. 39
FIGURA 16 EFECTO DE LA BAJA PERMEABILIDAD DEL SUELO 40
FIGURA 17 FOTOGRAFÍA SATELITAL QUE MUESTRA LA ZONA DE MAYOR PROBLEMÁTICA DE PERMEABILIDAD (TOMADO DE GOOGLE EARTH 2011)....42
FIGURA 18 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO EN LA POROSIDAD DE AIREACIÓN 49
FIGURA 19 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO EN LA C. E. 51
FIGURA 20 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO EN EL PH* 52
FIGURA 21 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO EN LA RELACIÓN DE (BICARBONATOS + CARBONATOS) – (SULFATOS+ CLORUROS) *....52
FIGURA 22 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO EN LA RELACIÓN DE (BICARBONATOS + CARBONATOS) – (CALCIO + MAGNESIO)*....53
FIGURA 23 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE YESO EN EL ÍNDICE DE PERMEABILIDAD DEL SUELO. 54
FIGURA 24 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE YESO EN LA POROSIDAD DE AIREACIÓN DEL SUELO.*....55
FIGURA 25 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE YESO EN LA RELACIÓN DE (BICARBONATOS + CARBONATOS) – (SULFATOS+ CLORUROS) 56

FIGURA 26 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDAS DE YESO EN LA RELACIÓN DE (BICARBONATOS + CARBONATOS) – (CALCIO + MAGNESIO) 57
FIGURA 27 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE YESO EN EL PH DEL SUELO 58
FIGURA 28 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE YESO EN LA C. E DEL SUELO* 58
FIGURA 29 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE VINAZA EN LA POROSIDAD DE AIREACIÓN. 60
FIGURA 30 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE VINAZA EN EL PH. ...61
FIGURA 31 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE VINAZA EN LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA. 62
FIGURA 32 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDA DE VINAZA EN LA RAS_{ES} DEL SUELO 64
FIGURA 33 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDAS DE VINAZA EN LA RELACIÓN DE (BICARBONATOS + CARBONATOS) – (SULFATOS + CLORUROS)* 64
FIGURA 34 EFECTO DE LA FRACCIÓN DE LAVADO CON ENMIENDAS DE VINAZA EN LA RELACIÓN DE (BICARBONATOS + CARBONATOS) – (CALCIO + MAGNESIO)* 65

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 BASE DE DATOS CONDICIONES QUÍMICAS FINALES DE LOS PUNTOS EVALUADOS EN LA HACIENDA LA TERTULIA.....73
ANEXO 2 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE INFILTRACIÓN, PROFUNDIDAD 0-20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....74
ANEXO 3 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE INFILTRACIÓN, PROFUNDIDAD 0-20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 74
ANEXO 4 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE INFILTRACIÓN, PROFUNDIDAD 0-20CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS ÉPOCA * TRATAMIENTO. 75
ANEXO 5 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE HCO3, PROFUNDIDAD 0-20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....75
ANEXO 6 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE HCO3, PROFUNDIDAD 0-20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....76
ANEXO 7 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE HCO3, PROFUNDIDAD 0-20CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS ÉPOCA * TRATAMIENTO. 77
ANEXO 8 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE HCO3, PROFUNDIDAD 20-40CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....77
ANEXO 9 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE HCO3, PROFUNDIDAD 20-40CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....78
ANEXO 10 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE HCO3, PROFUNDIDAD 20-40CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS ÉPOCA * TRATAMIENTO. 79
ANEXO 11 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (SO4+CL), PROFUNDIDAD 0 -20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 79
ANEXO 12 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (SO4+CL), PROFUNDIDAD 0-20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS..80
ANEXO 13 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (SO4+CL), PROFUNDIDAD 0-20CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....81
ANEXO 14 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (SO4+CL), PROFUNDIDAD 20-40CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 81
ANEXO 15 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (SO4+CL), PROFUNDIDAD 20-40CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 82
ANEXO 16 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (SO4+CL), PROFUNDIDAD 20-40CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 83

ANEXO 17 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (CA+MG), PROFUNDIDAD 0-20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS..83
ANEXO 18 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (CA+MG), PROFUNDIDAD 0-20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS..84
ANEXO 19 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (CA+MG), PROFUNDIDAD 0-20CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....85
ANEXO 20 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (CA+MG), PROFUNDIDAD 20-40CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 85
ANEXO 21 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (CA+MG), PROFUNDIDAD 20-40CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 86
ANEXO 22 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE (HCO3+CO3) – (CA+MG), PROFUNDIDAD 20-40CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 87
ANEXO 23 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE POROSIDAD DE AIREACIÓN, PROFUNDIDAD 0-20 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 88
ANEXO 24 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE POROSIDAD DE AIREACIÓN, PROFUNDIDAD 0-20CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS..88
ANEXO 25 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE POROSIDAD DE AIREACIÓN, PROFUNDIDAD 0-20 CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....89
ANEXO 26 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE POROSIDAD DE AIREACIÓN, PROFUNDIDAD 20-40 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 90
ANEXO 27 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE POROSIDAD DE AIREACIÓN, PROFUNDIDAD 20-40 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 90
ANEXO 28 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE POROSIDAD DE AIREACIÓN, PROFUNDIDAD 20-40 CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 91
ANEXO 29 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PH, PROFUNDIDAD 0-20 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 92
ANEXO 30 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PH, PROFUNDIDAD 0-40 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....92
ANEXO 31 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PH, PROFUNDIDAD 0-20 CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....93
ANEXO 32 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PH, PROFUNDIDAD 20-40 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS. 93
ANEXO 33 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PH, PROFUNDIDAD 20-40 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....94

ANEXO 34 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE pH, PROFUNDIDAD 20-40 CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....95
ANEXO 35 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE RASES, PROFUNDIDAD 0-20 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....95
ANEXO 36 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE RASES, PROFUNDIDAD 0-20 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....96
ANEXO 37 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE RASES, PROFUNDIDAD 0-20 CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....97
ANEXO 38 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE RASES, PROFUNDIDAD 20-40 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....97
ANEXO 39 GRAFICO DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE RASES, PROFUNDIDAD 20-40 CM. ÉPOCA * TRATAMIENTO, MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS 98
ANEXO 40 TABLA DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE RASES, PROFUNDIDAD 20-40 CM. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ÉPOCA * TRATAMIENTO MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS.....99

INTRODUCCIÓN

La necesidad o la demanda de producir mayor cantidad de alimentos y energía (renovable) para sostener el crecimiento poblacional hace necesario buscar alternativas de manejo de suelos dada la gran cantidad de estos que están sufriendo procesos de salinización, o naturalmente se encuentran con efectos de salinidad lo cual ha sido causante, en mayor o menor grado, de la reducción en la capacidad productiva de los suelos de muchas regiones del mundo (FAO, 1988).

La agroindustria azucarera del Valle del Cauca se desarrolla sobre suelos en donde el área cultivada es heterogénea respecto a sus condiciones de suelo y clima, observándose que la productividad de caña y azúcar difiere de acuerdo con el ambiente, en donde algunos sectores muestran problemas de sodicidad. (Carbonell, Amaya, Ortiz, Torres, Quintero, & Isaacs, 2001).

(Pla 1967, 1968) demostró experimentalmente la posibilidad de que se desarrollen procesos de salinidad y sodicidad en los suelos de forma natural, o con la introducción del riego, en áreas con mal drenaje en zonas tropicales y subtropicales, aun con precipitaciones anuales superiores a 1000 mm. y con aguas de riego con baja concentración salina y alta proporción de bicarbonatos.

La zona de Palmaseca en el municipio de Palmira registra una precipitación promedia de 799 mm /anuales y se caracteriza porque las precipitaciones anuales son inferiores a la evaporación, haciéndola una de las zonas en el Valle del Cauca con mayor requerimiento de agua para riego en el cultivo de la caña de azúcar.

En la zona cultivada, se presentan aguas de riego bicarbonatadas sódicas y suelos con drenaje imperfecto con variable concentración de sodio en la fase de intercambio, predominio de bicarbonatos y carbonatos, pH alcalinos hacia la profundidad y desbalances nutricionales que afectan las plantas de cultivo.

Debido a estas condiciones es necesario utilizar metodologías para controlar y/o mejorar las características de las aguas de riego, una de ellas es el modelo “SALSODIMAR” el cual se basa en un balance independiente de los iones más comunes en las aguas de riego y en la solución del suelo, con el que se pueda alcanzar equilibrio, de acuerdo a la fracción de lixiviación efectiva, y a las solubilidades máximas de las diferentes sales bajo diferentes condiciones. Para ello se toman en consideración los niveles críticos de salinidad y cloruros para diferentes cultivos y climas, y los niveles críticos de sodio para diferentes suelos y niveles de salinidad (Pla I. , 1997)

Conociendo las bondades que brinda este desarrollo científico en torno al manejo y control de los efectos de salinidad y sodicidad en los suelos, este proyecto de

tesis se realizó bajo la dirección del ingenio PROVIDENCIA y la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA sede Palmira, y se propuso aplicar esta tesis para producir caña de azúcar con aguas de riego de baja calidad y en suelos con efectos de sodicidad en el corregimiento de Palmaseca, municipio de Palmira.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La salinidad afecta a un 7% de la superficie terrestre, lo que equivale a 930 millones de hectáreas (Zsabolcs, 1995). Las zonas son cada vez mayores, un estudio global de uso de la tierra de más de 45 años, encontró que el 6% se había convertido en suelo con excesos de sales, esto equivale a 77 millones de hectáreas (Ghassemi, 1995).

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^2 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^2 que corresponden al 0,12% del área del país y al 6,13 del área total del Departamento. (IDEAM, 2002)

Estas áreas en el Valle del Cauca están localizadas especialmente en el Municipio de Palmira, corregimiento de Palmaseca, en donde la presencia de sodio (Na) en las aguas subterráneas, asociado a las características climáticas típicas de esta zona (mayor tasa de evapotranspiración sobre la precipitación), ocasionan que estas sales asciendan por capilaridad a la superficie donde se acumulan.[2]

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 ($NaHCO_3$). 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).

En el caso específico de la caña de azúcar la producción disminuye cuando las condiciones del suelo son sódicas. La caña de azúcar es un cultivo semi-tolerante a sódicidad del suelo y moderadamente sensible a la salinidad (O. P Choudhary, 2004)

[2] Comunicación técnica sobre el comportamiento de la sodicidad en la zona de Palmaseca con el Dr. Alvaro García 2013

2. JUSTIFICACIÓN

Un bajo porcentaje de las aguas de riego del Valle del Cauca presentan una potencialidad para generar sodificación y alcalinización, principalmente por la presencia de bicarbonatos, por lo tanto es importante adoptar estrategias en la aplicación de programas de muestreo y monitoreo periódicos de las aguas de riego que permitan dar precisión a las tendencias y alcances del posible problema.

En caso de no realizar un seguimiento de la calidad de las aguas para riego se pueden ocasionar condiciones perjudiciales en el suelo incrementando los problemas de afectación por sales. Como primera medida el agua de riego es la herramienta más económica para mitigar el problema, debido a que no necesita transporte terrestre y además la agroindustria azucarera cuenta con la infraestructura para su aprovechamiento. Como segunda medida, es necesaria la introducción de prácticas de manejo que prevengan la aparición o la repetición de los problemas causados por la sódicidad, ya que es conocido que en muchas regiones del mundo la inadecuada aplicación de los principios de gestión del agua han resultado en el desperdicio de este recurso o en la degradación de los suelos por la afectación de las sales; 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.

Debido a esto es fundamental la aplicación de herramientas tecnológicas como el modelo de simulación SALSODIMAR que tiene como principio ayudar en la gestión del recurso agua mejorando el balance en el suelo de las sales presentes en el agua de riego.

3. OBJETIVOS

GENERAL

- Evaluar la respuesta físico-química de un Endoaquert Sódico isohipertérmico muy fino mezclado a la aplicación de un agua de riego bicarbonatada sódica tratada con enmiendas.

ESPECÍFICOS

- Evaluar el estado inicial del suelo previamente adecuado con drenaje entubado

- Determinar la eficiencia de una fracción de lavado con el agua de riego original en las propiedades fisicoquímicas del suelo.

- Determinar la eficiencia de una fracción de lavado con el agua de riego tratada con yeso en las propiedades fisicoquímicas del suelo.

- Determinar la eficiencia de una fracción de lavado con el agua de riego tratada con vinaza en las propiedades físico-químicas del suelo.

4. HIPÓTESIS

GENERAL.

- Es posible mantener o mejorar las propiedades físicas y químicas en un Endoaquert Sódico isohipertérmico muy fino mezclado, mediante la utilización de aguas de riego bicarbonatadas y sódicas.

ESPECIFICAS.

- Se espera encontrar un suelo con propiedades físicas y químicas limitantes.

- El uso de una gran fracción de lavado sin enmiendas puede evitar el deterioro de las propiedades del suelo al regar con un agua bicarbonatada y sódica.

- La adición de una pequeña cantidad de yeso al agua de riego hará posible un uso eficiente de aguas de riego con presencia de bicarbonatos de sodio.

- La adición de vinaza al agua de riego en bajas concentraciones hará posible un uso eficiente de aguas de riego con presencia de bicarbonatos de sodio.

5. MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES

5.1 AREA DE ESTUDIO

El área bajo investigación cuenta con un clima semiarido, con temperatura promedio de 24°C y una precipitación promedio de 799 mm anuales con las siguientes coordenadas geográficas:

Longitud 76ª 17´ 19.48´´
Latitud 3ª 37´ 57.27´´.

El suelo estudiado presenta la siguiente caracterización; Consociación la Luisa (LL) (Endoaquert Sódico isohipertérmico muy fino mezclado). Moderadamente profundos, pobremente drenados, texturas muy finas, presencia de sodio, saturación de bases alta, relación de Ca/Mg normal e invertida, carbono orgánico bajo, fertilidad alta. Régimen ácuico. (IGAC, 2003)

5.2 SUELOS AFECTADOS POR SALES

Debido a diferencias en la intensidad con que han actuado los factores formadores de los suelos en las diversas áreas fisiográficas, se encuentra una gran variabilidad de suelos en las diferentes regiones de América Latina. En todas las formaciones de suelos los efectos de la acumulación de sales solubles en el perfil son diversos y su intensidad depende de la cantidad de arcillas presentes en el suelo, de la magnitud de los procesos de precipitación y evaporación y del régimen de lavado y drenaje de una región dada.

Se acepta, generalmente, que en todas las formaciones de suelos en las cuales las sales solubles en agua juegan un papel dominante determinando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, pertenecen a la familia de los suelos afectados por sales independientemente del hecho de que, dependiendo del tipo de sales y de su mineralogía ellos pueden variar en apariencia, morfología, propiedades y las posibilidades de utilización (A. Farifteh, 2006).

Debido a lo anterior ocurren diferentes tipos de suelos salinos que tienen diferentes requerimientos para su rehabilitación y manejo sostenible lo que hace indispensable tener claridad sobre el tipo de afección. Se distinguen los siguientes tipos de suelos afectados por sales (Garcia, 2002):

Suelos salinos

Suelos Sódicos
Suelos con alta saturación de magnesio
Suelos ácidos sulfatados
Suelos alcalinos
Suelos calcáreos
En esta investigación se presentan suelos afectados por sales de sodio.

5.3 SUELOS SALINOS

“Suelos salinos” 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, aunque 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 con unidades de: dS (decisiemens)/m (metro) a 25°C en el extracto de saturación del suelo. Un dS/m equivale aproximadamente a una concentración de sales en la solución de 10 mm/L, y a una presión osmótica de 36 kpa.

La dificultad para absorber el agua del suelo por las plantas depende del potencial mátrico, el cual se hace más negativo al disminuir el contenido de agua del suelo, y del potencial osmótico, al incrementarse la salinidad de la solución del suelo. El efecto de ambos potenciales es más o menos aditivo. (Pla, 1979).

Villafañe en sus investigaciones ha establecido que cultivos como caraota y cebolla se muestran sensibles a las sales, mientras que cultivos como caña de azúcar, arroz, tomate, lechuga y pimentón, resultan moderadamente sensibles. En consecuencia, los primeros son más exigentes en cuanto a las condiciones de drenaje del suelo así como en lo relativo a la salinidad del agua de riego, pero en general, los cultivos involucrados son poco tolerantes a las sales. Ello implica que en el peor de los casos la conductividad eléctrica en el extracto del suelo saturado no debe superar los 2 dS/m; es decir, la salinidad en el extracto no debe superar los 20 me/l (Villafañe, 1995).

5.4 SUELOS SÓDICOS

“Suelos sódicos” son aquellos donde la acumulación de altos niveles de Na^+, en el suelo, tanto en solución como en la fase intercambiable, conduce a efectos

dañinos sobre las propiedades físicas del suelo.

Las principales consecuencias son reducciones drásticas tanto en la conductividad hidráulica del suelo como en la velocidad de infiltración del agua superficial.

Los niveles de sodificación del suelo se expresan generalmente en términos de "Relación de Adsorción de Sodio (RAS)" en el extracto de saturación del suelo (ES) y del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en la fase solida.

$$\mathbf{RAS} = \frac{\mathbf{Na^{+}\,(ES)}}{\sqrt{\frac{\mathbf{Ca^{2+}(ES)+\,Mg^{2+}(ES)}}{\mathbf{2}}}} \quad \textit{Ecuación 1}$$

Donde: Na^{+}, Ca^{2+} y Mg^{2+} son las concentraciones de estos elementos en el extracto de saturación (ES) en me/litro

$$\mathrm{PSI} = \frac{\mathrm{Na}}{\mathrm{CIC}} \mathrm{x}100 \text{ Ecuación 2}$$

Autores como (Pla I. , 1989), y (Sumner, 1989), investigando el manejo de suelos salinos no magnésicos, consideraron a la RAS mejor indicador y propusieron un nivel crítico de 3 a 5 a partir del cual se desencadenará el efecto negativo del sodio en el suelo (Madero, 2004).

5.5 EFECTO DEL Na EN LOS SUELOS

En un sistema suelo en el que dominan arcillas de tipo 2:1 las laminillas se agrupan en unidades mayores denominadas tactoides o cuasicristales las cuales constan de 4 a 9 laminillas en arreglo paralelo con distancias interlaminares de 0.9 A° (Sposito, 1983). El Ca intercambiable adsorbido en las superficies internas de los tactoides no es móvil y no forma una doble capa difusa (DCD) y la arcilla se comporta como un sistema con una superficie reactiva menor.

En un sistema saturado con Na en equilibrio con una solución salina diluida, las laminillas están separadas y dado el carácter monovalente del Na se forman DCD menos comprimidas por lo cual se desarrollan altas presiones expansivas entre las arcillas produciéndose dispersión de las laminillas. Por el contrario, las bajas presiones expansivas separadas en un sistema suelo solución saturado con Ca intercambiable previenen la expansión.

Se ha observado que la illita (no expandible) se dispersa más fácilmente a bajo porcentaje de sodio intercambiable (PSI) que la montmorillonita, con valores de

floculación de 3.0, 4.0 y 7.0 me/L para ésta y de 6.0, 10.0 y 18.0 me/L para la primera a valores de PSI de 5, 10 y 20 respectivamente (I. Shainberg, 1991). Estos datos permiten concluir que los suelos con arcillas iliticas son más sensibles a la dispersión que los suelos con arcillas montmorilloníticas. Cuando se tiene un suelo saturado con Na y Ca la introducción de una pequeña cantidad de Na (PSI>10) produce poca dispersión y expansión, si el sistema tiene una alta concentración de Ca. A medida que aumenta la saturación de Na se produce dispersión por separación de los tactoides y, luego se inicia el rompimiento de los tactoides produciéndose una expansión intensa; a valores de PSI de 50, aproximadamente, el proceso es completo y el suelo se encuentra completamente disperso y expandido.

La dispersión puede suceder únicamente cuando la concentración de electrolitos está por debajo del valor de floculación o sea cuando se mantiene una baja concentración electrolítica, condición que favorece la descomposición de los cuasicristales. La dispersión promueve el movimiento de partículas al interior de los poros y la disminución del diámetro efectivo de los mismos, reduciendo la conductividad hidráulica; también puede ocurrir la oclusión total. La expansión de las arcillas también reduce el diámetro de los poros y, por consiguiente, la conductividad hidráulica. Ambos fenómenos son responsables de reducción en el tamaño de los poros y del bloqueo de los mismos en suelos con materiales arcillosos expandibles, pero solamente la dispersión lo es en suelos ricos en minerales no expandibles.
La conductividad hidráulica depende del contenido y tipo de arcilla, de la presencia de agentes cementantes especialmente Fe_2O_3, de la textura, de la conductividad eléctrolitica y de la RAS.

Los fenómenos mencionados hacen que los suelos dispersos sean difíciles de laborar: al humedecerse se tornan pegajosos y cuando se secan hay formación de costras duras y la penetración del agua se restringe sustancialmente, cuando en un suelo predominan las arcillas del tipo expandibles (como las del grupo de smectitas) el agua, ya sea de lluvia o de riego, penetra entre las láminas de la arcilla y causa separación de las mismas (expansión), el grado de la cual depende del tipo de cationes intercambiables presentes y de la concentración de la solución. (Garcia, 2003)

5.6 SITUACIÓN EN COLOMBIA Y EN EL VALLE DEL CAUCA

Las áreas salinas y sódicas en Colombia se han determinado por la conductividad eléctrica mayor de 4 dS/m y porcentaje de saturación de sodio mayor de 15%, los resultados muestran que existen aproximadamente 63.261 Km^2 de suelos con problemas de salinidad y sódicidad, y esta área corresponde al 5,59% del área total del país. En el Valle del Cauca están reportadas con estos limitantes 1341

Km^2 que corresponden al 0,12% del área del país y al 6,13 del área total del Departamento. (IDEAM, 2002)

El agua subterránea en el Departamento del Valle del Cauca es un recurso de fundamental importancia en el desarrollo económico de la región y está siendo aprovechado principalmente por los sectores agrícolas, industrial y especialmente para abastecimiento público. En esta zona, existe un acuífero aluvial que se caracteriza por su alta producción, con niveles freáticos altos (2-5m) y agua de buena calidad, apta para todos los usos. Existen 1.237 pozos profundos en operación, con una capacidad instalada de 83.000 LPS, de los cuales se extraen en promedio 500 millones de m3 al año. El agua subterránea se utiliza principalmente para el riego de cultivos en 85.000 hectáreas establecidas en cultivos de caña de azúcar. (Paez, 2011)

Las lagunas agroindustriales y municipales ubicadas en Florida y Palmira presentan un riesgo alto de contaminación ya que están ubicadas en una zona de vulnerabilidad Alta o Extrema. La disposición de residuos sólidos de los basureros de los municipios de Cali, Florida, Candelaria (Corregimientos el Carmelo), Palmira (Coronado), Ginebra y San Pedro presenta un riesgo alto de contaminación debido a su carga contaminante. (Paez, 2011)

Los análisis químicos realizados a estas aguas muestran altos contenidos de bicarbonatos (HCO_3) y de sodio (Na)

5.7 MANEJO DEL AGUA DE RIEGO CON SODIO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El cultivo de la caña de azúcar demanda altos contenidos de agua. Para producir una tonelada de caña de azúcar, el cultivo necesita 125 t de agua (P. Jamuna., 1994).

El disponibilidad de agua es esencial para la obtención de una mayor productividad en caña de azúcar. Sin embargo, en muchas regiones áridas y semi-áridas del mundo, debido a la insuficiente disponibilidad de buena calidad del agua, los agricultores tienen que utilizar las aguas subterráneas para el riego con altos contenidos de sales de sodio. (O. P Choudhary, 2004)

Esta práctica se realiza frecuentemente en muchas partes del noroeste de la India, donde la caña de azúcar es un importante cultivo comercial y la mayoría de fuentes de agua subterránea contienen altas concentraciones de NaHCO3 bajo diferentes niveles de acumulación de sal (Bajwa, 1992).

La producción de caña de azúcar disminuye cuando se incrementa la solución salina y las condiciones del suelo son sódicas. (Rozeff, 1995). Más de un millón de hectáreas del mundo producidas con caña de azúcar se ven afectadas por la salinidad / sódicidad. (O. P Choudhary, 2004), siendo la caña de azúcar un cultivo semi-tolerante a sódicidad del suelo y moderadamente sensible a la salinidad (Ayres, 1985)

Las condiciones fisiológicas de las plantas bajo estas condiciones de suelo se encuentran directamente afectadas por dos componentes que son la sal y el agua, con interacciones entre ambos debido a que la salinidad reduce la capacidad de las plantas para absorber el agua.

(Munns, 2002) demostró con sus investigaciones realizadas en plantas de cebada que al adicionar sal a un suelo inmediatamente se reducía la tasa de crecimiento de las hojas, minutos después se observaba como la planta trataba de adaptarse a esta nueva condición e intentaba retomar sus niveles de crecimiento normales, sin embargo el tiempo que tarda en recuperarse, y la nueva tasa de equilibrio, depende de la concentración de la solución de sal que se tiene en el suelo en ese momento.

A largo plazo el uso de agua con contenidos de sodio y sales para riego puede conducir a un deterioro de las propiedades fisicoquímicas del suelo propiedades que afectan negativamente a los rendimientos de diferentes cultivos.

El exceso de cationes tales como sodio y aniones como carbonato, bicarbonato y cloruro en el agua, incrementan el pH del suelo, la conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de saturación de sodio intercambiable (PSI). (O. P Choudhary, 2004)

Para contrarrestar los efectos nocivos de agua de riego con contenidos de sodio, la aplicación de yeso es una recomendación habitual como fuente de calcio para desplazar el sodio intercambiable, reducir la alcalinidad y mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (Ayres, 1985).

En el Valle de Nkwalini (Sudáfrica), la caña de azúcar cultivada en suelos sódicos drenados se han beneficiado con tratamiento con yeso, azufre y drenaje (Johnston, 1977)

En suelos de Swazilandia, se aplicaron de 20-30 t ha de fosfoyeso el cual mejoró los niveles de sódicidad en el subsuelo, sin lograr mejorar los rendimientos de caña lo que demuestra que el exceso de sodio no fue el único factor desfavorable en el subsuelo. Sin embargo, en suelos salino-sódicos de Venezuela, no hubo efecto significativo con respecto a enmiendas que contienen azufre y yeso

fosforado para el rendimiento de la caña (Zerega, 1995).

5.8 PROCESO DE RECUPERACION DE SUELOS SODICOS.

La recuperación de suelos sódicos involucra varias etapas y condiciones para que este sea exitoso, por lo que inicialmente se debe realizar un diagnostico apropiado a partir de un muestreo adecuado. Las sales no afectan uniformemente un área determinada, sino que su efecto se manifiesta con mayor o menor intensidad en forma de parches o calvas.

En el caso de los suelos sódicos y de suelos salino-sódicos se debe considerar la adición de una enmienda que proporcione calcio, ya sea que ésta lo porte o produzca la solubilización de materiales que lo contengan en el suelo. (Garcia A. , 1994)

Puesto que en los suelos sódicos el Na se encuentra saturando gran cantidad de las posiciones de intercambio y desde allí genera presiones que producen la dispersión y expansión de las arcillas y, en consecuencia de esos procesos, se altera o destruye la estructura de los suelos y se reduce dramáticamente la conductividad hidráulica de los mismos, es necesario producir el desplazamiento del Na y reemplazarlo por un ion que produzca efectos agregantes o floculantes como lo es el calcio. (Garcia A. , 1994)

5.8.1 Efecto del yeso en la recuperación de suelos sódicos

El yeso ($CaSO_4$) se utiliza como fuente de Ca para desplazar el Na; su adición al suelo produce recuperación en sus condiciones físicas, especialmente conductividad hidráulica, y en las características químicas disminuyendo la relación de adsorción de sodio, posibilitando una mejor utilización del fertilizante por parte del cultivo. (Rasouli. F, 2012).

5.8.2 Efecto de la vinaza en la recuperación de suelos sódicos

Otra alternativa que se ha venido utilizando en el Valle del Cauca en la búsqueda de recuperar suelos afectados con sales de Na, es la vinaza, que 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.

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada para la producción de alcohol, del sustrato empleado para la fermentación,

y del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación, sin embargo su característica principal en la mayoría de los casos es el predominio de los iones de K, Ca y SO_4

Se ha encontrado que la Vinaza, como recuperador de suelos afectados por sales de sodio, promueve la agregación fuerte con aumento de la permeabilidad al tiempo que disuelve carbonatos, fosfatos de calcio y otros precipitados liberando el Ca necesario para el desplazamiento del Na del complejo de cambio. (Garcia. A, 2004)

5.9 CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO

En el caso de aguas que van a ser utilizadas para riego, las características a tomar en cuenta pueden ser la presencia de contaminantes de naturaleza química (contenido total de sales y de ciertos iones y sustancias contaminantes en solución), de naturaleza física (contenido de sedimentos, temperatura) y de naturaleza biológica (contenido de organismos patógenos).

La calificación de aguas para riego en relación a posibles problemas de salinización y sodificación de los suelos se basa fundamentalmente en el contenido absoluto y relativo de sales y ciertos iones (HCO_3^-, Cl^-, $SO_4^=$, $NO_3^-Ca^{2+}$, Mg^{2+}, Na^+, K^+) (Pla I. , 1979).

Estos contenidos son interpretados en cuanto a problemas potenciales de salinidad (limitaciones en el uso del agua del suelo por las plantas), y sódicidad (deterioro de las propiedades físicas del suelo) en relación a condiciones particulares de suelos, clima, cultivos.

Algunas aguas utilizadas para riego causan la alcalinización del perfil con lo que se produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo. Así, tanto las arcillas como el humus se dispersan con la presencia de sodio y los agregados estructurales se destruyen. Las arcillas y los ácidos húmicos se iluvian, acumulándose en el horizonte B, formándose un horizonte de acumulación de arcillas sódicas, es decir, que se origina un horizonte nátrico (si la intensidad de la iluviación es suficiente).

Un elevado contenido de Na^+ en la solución del suelo, en relación con el Ca^{2+} y el Mg^{2+}, da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provoca, dada su baja densidad de carga (elevado radio de hidratación y baja carga), el aumento del espesor de la doble capa difusa, los efectos de repulsión entre los coloides y, con ellos la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica. Según varios autores, la concentración de Na^+ frente al Ca^{+2} y Mg^{+2} en

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

El Na^{+} o el Mg^{+2} pueden hacer variar la densidad aparente de un suelo al causar dispersión de las arcillas. Las partículas dispersas se mueven y depositan en los poros del suelo disminuyendo su diámetro y ocluyéndolos, haciendo que la densidad aparente aumente (García, 1988). (Frenkel, 1978), encontró que el taponamientos de los poros en los suelos se debe a la dispersión de las partículas de arcilla, montmorillonita, vermiculita, caolinita, causando reducción en la conductividad hidráulica.

Estas condiciones especificas permiten que la K_h disminuya al reducirse la concentración de electrolitos. La expansión y la dispersión de las arcillas es respuesta a la composición de electrolitos y a su concentración en la solución del suelo o en el agua de riego, cambiando la geometría de los poros y afectando la K_h (Letey, 1984).

Cuando la concentración de sales en el agua que percola esta por debajo del valor de floculación, la dispersión de las arcillas, el movimiento de las partículas dispersas y su acumulación en el interior de los poros causan oclusión de los mismos, siendo estos los principales mecanismos responsables de la reducción en la conductividad hidráulica (García A. , 2003)

Teniendo en cuenta la importancia en la calidad del agua de riego y su constante control se propuso por parte del Dr. Pla el modelo “SALSODIMAR” el cual se basa en un balance independiente de los iones más comunes en las aguas de riego y en la solución del suelo, hasta alcanzar equilibrio, de acuerdo a la fracción efectiva lavado, y a las solubilidades máximas de las diferentes sales bajo diferentes condiciones. Con el fin de posibilitar su uso práctico, se hacen aproximaciones en las condiciones y procesos fisicoquímicos que llevan a la disolución, precipitación, acumulación y remoción de sales e iones en el suelo, las cuales han probado no afectar críticamente la aplicación de los resultados para orientar y seleccionar las alternativas más adecuadas de manejo de riego y drenaje para prevenir o recuperar suelos afectados por sales. Para ello se toman también en consideración los niveles críticos de salinidad y cloruros para diferentes cultivos y climas, y los niveles críticos de sodio para diferentes suelos y niveles de salinidad concurrentes (Pla I. , 1979)

Una descripción detallada del desarrollo teórico de la versión más reciente del modelo, con ejemplos de aplicación práctica para el manejo del riego y drenaje en tierras de cultivo, aparece en (Pla I. , 1997) El modelo permite:

- Prever las condiciones bajo las cuales se pueden desarrollar suelos afectados por sales tipo “salino”, o tipo “sódico”, y sus variantes.
- Predecir la acumulación de ciertos elementos como Cl, Na, Mg, etc., que pueden crear algunos problemas específicos.
- Determinar bajo qué condiciones y en qué niveles se favorece la precipitación o disolución en el suelo de sales de solubilidad limitada (carbonatos de Ca y Mg, y sulfatos de Ca).
- Calcular los requerimientos de agua de riego y de drenaje para control de la salinidad o sódicidad, en relación a los requerimientos de agua del cultivo en un clima determinado, y a partir de ellos deducir las alternativas más convenientes o posibles de manejo del agua de riego para cada suelo.

5.10 EFECTO DE AGUAS DE RIEGO SODICAS SOBRE EL SUELO

En el suelo pueden ocurrir cambios en la composición iónica de la solución del suelo que modifican su comportamiento químico y físico, y en algunos casos suceden cambios irreversibles como la precipitación de carbonatos y sulfatos y la dispersión de arcillas (Pla I. , 1989). Otro de estos cambios es la concentración de las sales que le llegan al suelo por aportes externos de agua (Zapata, 2010).

Una parte del agua que llega al suelo, como riego o por aportes laterales, es evapotranspirada, otra es almacenada en el suelo y otra parte es drenada. En el proceso de evapotranspiración solo se pierde agua, quedando las sales en el suelo, donde se pueden acumular o pueden ser drenadas si hay suficiente agua para ello, ayudadas por unas buenas condiciones físicas que faciliten el drenaje. En el esquema de la figura 1 se presentan los aportes (L_a) y salidas (L_{ET} y L_d)de agua en el perfil del Suelo.

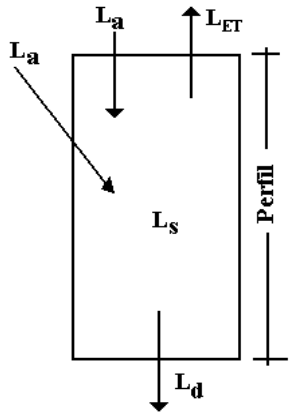


Figura 1 Entradas y salidas de agua, expresada en lámina, en el perfil de un suelo.

La = Lámina de agua aportada.

L_{ET} = Lámina de agua evapotranspiración.
Ls = Lámina de agua que almacena el suelo.
Ld = Lámina de agua que drena.

La cantidad de agua que llega al suelo menos la que se drena es igual a la cantidad de agua que se evapotranspira mas la que almacena el suelo. La relación entre las láminas de agua se expresa en la siguiente ecuación:

$$La - Ld = Luc + Ls \quad \textit{(Ecuación 3)}$$

De acuerdo a la ley de conservación de masa en un sistema de estado estable, la cantidad de sales que entran al suelo con el agua, una parte se acumula en el perfil, otra parte es drenada y otra parte es extraída por el cultivo. Si se supone un estado estable en un período largo de tiempo y la cantidad de sales que extrae el cultivo es despreciable, se tiene:

$$LaCa \quad LdCd = LsCs \quad (\textit{Ecuación 4)}$$

donde C es la concentración de sales. Si se asume que no hay precipitación de sales en el suelo y dividiendo por La:

$$\frac{LsCs}{La} \quad \frac{LaCa}{La} = \quad \frac{LdCd}{La} \quad (\textit{Ecuación 5)}$$

$$\frac{\mathrm{LsCs}}{\mathrm{La}} = \mathrm{Ca} \quad \mathrm{Cd(FL)} \quad (\textit{Ecuación 6)}$$

Donde FL se define como:

$$\mathrm{FL} = \frac{\mathrm{L_d(agua\ sale\ en\ drenaje)}}{\mathrm{L_a(agua\,entra)}} \quad \textbf{(}\textit{Ecuación 7)}$$

Se observa en la ecuación (5), la dependencia que tiene la concentración de sales que se acumulan en el suelo (Cs) de la fracción de lavado (FL).

El balance de sales o de iones individuales en la zona de raíces, si no hay precipitación y asumiendo que Cs, no cambia en el tiempo es:

$$\mathrm{LaCa} = \mathrm{LdCd} \qquad (\textit{Ecuación 8)}$$

$$\mathrm{Cd} = (1/\mathrm{FL})\mathrm{Ca} \qquad (\textit{Ecuación 9)}$$

La ecuación (8) indica las veces que se concentra el agua de riego en la zona de raíces. La fracción de lavado (FL) se encuentra en un rango entre 0.15 y 0.20 del agua que llega al suelo, mientras que en el perfil del suelo entre el 80 y 85% del agua es evapotranspirada. Así, un %FL = 12,5 significa que la solución del suelo es ocho veces más concentrada que el agua que llega al suelo. (100/12,5 = 8).

Hasta antes de los trabajos de Pla (1968, 1979), se tenía un conocimiento cualitativo sobre el efecto de la concentración y composición del agua de riego en las propiedades físicas y químicas del suelo. Pero no se habían hecho intentos cuantitativos para predecir la acumulación de sodio en el suelo, en la forma como se predice acumulación de sales. Pla (1968) plantea que es posible predecir la RAS del suelo a partir de la fracción de lavado (FL), para lo cual, es necesario introducir en la teoría, la máxima concentración que puede ocasionar precipitación de carbonatos y sulfatos de calcio en el suelo, lo cual, favorece la acumulación de sodio en el suelo (Zapata, 2010)

6 METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en la hacienda **La Tertulia,** que se encuentra localizada en la cabecera municipal de Palmira, corregimiento de Palmaseca, en el departamento del Valle del Cauca **(Figura 2).**

La hacienda tiene una extensión de 43.52 Has totales de las cuales tenía 23.52 has con el cultivo de caña de azúcar y 20.52 has en potreros. Para llevar a cabo la investigación se realizaron actividades en diferentes etapas:

Figura 2 Ubicación geográfica de la hacienda La Tertulia.

6.1. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

En la búsqueda de incorporar los potreros a la actividad productiva de la caña de azúcar, se recopiló información relacionada con las características de los suelos a

evaluar tales como: Clasificación taxonómica y agrológica del suelo, permeabilidad, drenaje, información climática histórica para aproximadamente 14 años con información diaria, y calidad de agua de riego.

6.1.1 Características generales del suelo,

Geomorfológicamente el predio se encuentra en el cuerpo de los abanicos aluviales a la margen izquierda del rio Cauca. En la hacienda predominan los suelos de texturas arcillosas, (IGAC, 2003)

Nombre del suelo y taxonomía:	La Luisa. Endoaquert Sódico, isohipertérmico muy fino mezclado.
Unidad Cartográfica	Consociación la luisa (LL)
Localización geográficas:	Departamento: Valle. Municipio: Palmira
Paisaje:	Planicie aluvial del rio Cauca.
Tipo de relieve:	Llanura de desborde.
Forma del terreno.	Cubeta de decantación.
Material parental:	Aluviones muy finos.
Clima ambiental:	Cálido seco.
Clima edáfico:	Ácuico isohipertérmico.
Drenaje natural:	Pobre.
Nivel freático:	No se observa.
Profundidad efectiva:	Moderadamente profunda, limitada por sodio y nivel freático fluctuante.
Vegetación natural:	No hay.
Uso actual:	Caña de azúcar.
Limitantes de uso:	Nivel freático permanente, texturas muy finas y presencia de sodio.
Horizontes diagnósticos:	Epipedón Ocrico, endopedón Cámbico
Clases de características diagnosticas:	Propiedades vérticas, régimen de humedad ácuico y de temperatura isohipertérmico.
Observaciones:	Son suelos drenados artificialmente; en algunos sectores se observan eflorescencias blancas, posiblemente sales. El primer horizonte presenta grietas y estructura de cuñas.

Tomado de IGAC 2003.

6.1.2 Clima

El clima de la zona pertenece al piso térmico cálido seco con dos periodos secos y dos lluviosos durante el año, una temperatura media de 24°C, y una precipitación promedia anual de 799 mm con una evapotranspiración de 1220 mm (Cenicaña, 2012)

Esta fuerte evapotranspiración predomina sobre la precipitación en 10 meses, lo cual configura un clima árido que impide el adecuado lavado natural de las sales del perfil (Tabla 1 y la Figura 3).

Tabla 1 Distribución histórica del régimen de humedad en la hacienda La Tertulia.

	Promedio histórico 1997 – 2011												Prom anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
HP	45,3	47,3	71,96	100,68	82,47	62,74	27,87	48,0	58,60	69,2	116,32	68,26	799
HET	98,5	102,5	108,08	91,16	90,64	92,59	96,11	118,6	112,21	111	96,72	101,5	1220
HP-ET	-53	-55	-36	10	-8	-30	-68	-71	-54	-42	20	-33	-421

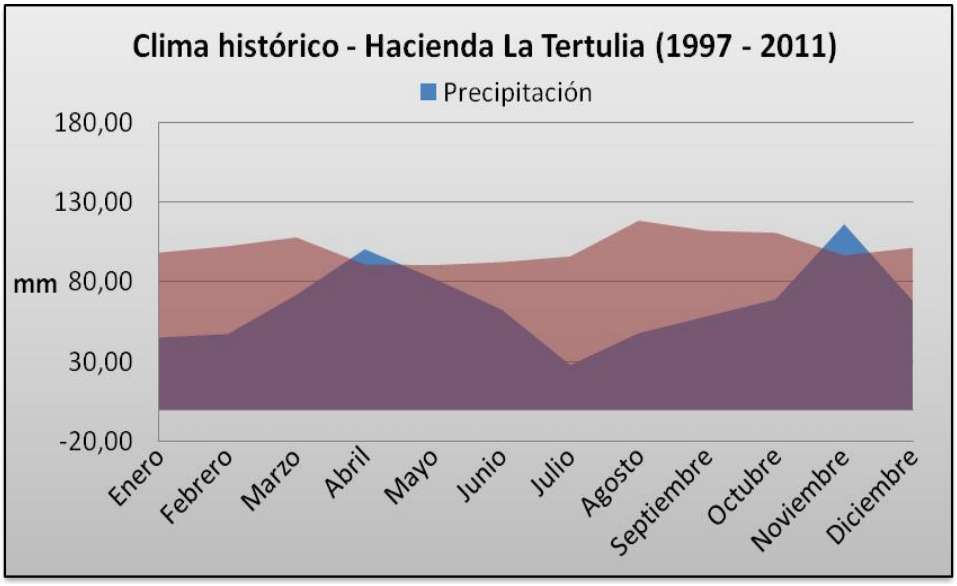


Figura 3 Distribución gráfica de la precipitación y evapotranspiración históricas en la hacienda La Tertulia.

6.2 ETAPA PRELIMINAR DEL ESTUDIO.

Con base en estos resultados, se realizó un análisis químico de los primeros 20 cm del suelo, para generar un diagnostico inicial en la zona. Después se realizó el levantamiento de planos topográficos que sirvieron como base para realizar el diseño de campo, principalmente, nivelación y construcción de obras de drenaje entubado, necesarias para facilitar el movimiento del agua por la superficie y dentro del suelo durante el riego o evento de lluvia. El principal objetivo fue evacuar los excesos de sales que son perjudiciales para el óptimo rendimiento del cultivo.

Posteriormente, se realizó la preparación de los suelos, buscando aumentar la capacidad de infiltración y aireación e intercambio de aire en el suelo y la atmósfera. Las labores que se llevaron a cabo en la preparación del suelo fueron descepada, subsolado, arada, rastrillada y surcada.

Preliminarmente se diagnosticó que los problemas centrales son la calidad del agua de riego, la presencia de sales de sodio en el suelo, junto con el mal drenaje.

6.3 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS INÍCIALES (FÍSICAS Y QUÍMICAS) DEL SUELO Y DEL AGUA DE RIEGO

Una vez se habían realizado la labores de campo (nivelación, preparación del terreno, siembra) (Figura 4); y antes de aplicar los tratamientos, se realizaron análisis químicos de suelos en los 12 puntos previamente establecidos y georeferenciados,

Figura 4 Estado del suelo en el momento de realizar la evaluación inicial

6.3.1 Características químicas.

Las características químicas analizadas en el suelo fueron las siguientes:

- pH (Conductímetro – extracto de saturación).
- C.E (Conductímetro – extracto de saturación).
- M.O.(Walkey-Black)

Se determinaron los iones en solución (cationes y aniones) en el suelo de la siguiente forma:

- Ca (absorción atómica – extracto de saturación)
- Mg (absorción atómica – extracto de saturación).
- Na (absorción atómica – extracto de saturación).
- K (absorción atómica – extracto de saturación).
- HCO3 (Colorimetría – extracto de saturación).

- CO3 (Colorimetría – extracto de saturación).
- SO4 (Colorimetría – extracto de saturación)
- Cl (Colorimetría – extracto de saturación)

Siguiendo los planteamientos de Pla (1989), no se evaluaron intercambiables ya que se recomienda utilizar la RAS (calculado con las concentraciones en solución) como índice de sodificación, lo cual es suficiente para los fines pertinentes a la investigación.

6.3.2 Características físicas.

Se determinaron mediante pruebas de campo las variables físicas del suelo que darían respuesta sobre el grado de afectación que tendrían los suelos, además de facilitar el proceso de evaluación de la evolución de los tratamientos propuestos, en los sitios georreferenciados en la figura 5.

Figura 5 Fotografía satelital con la ubicación de los puntos para la simulación en laboratorio (Tomado de Google Earth 2011)

Las variables de respuesta en esta investigación se evaluaron de acuerdo con las metodologías descritas por (Codazzi, 2006)**. y** (Pla I. , 1968) y fueron las siguientes:

- Permeabilidad (Infiltración y conductividad hidráulica)

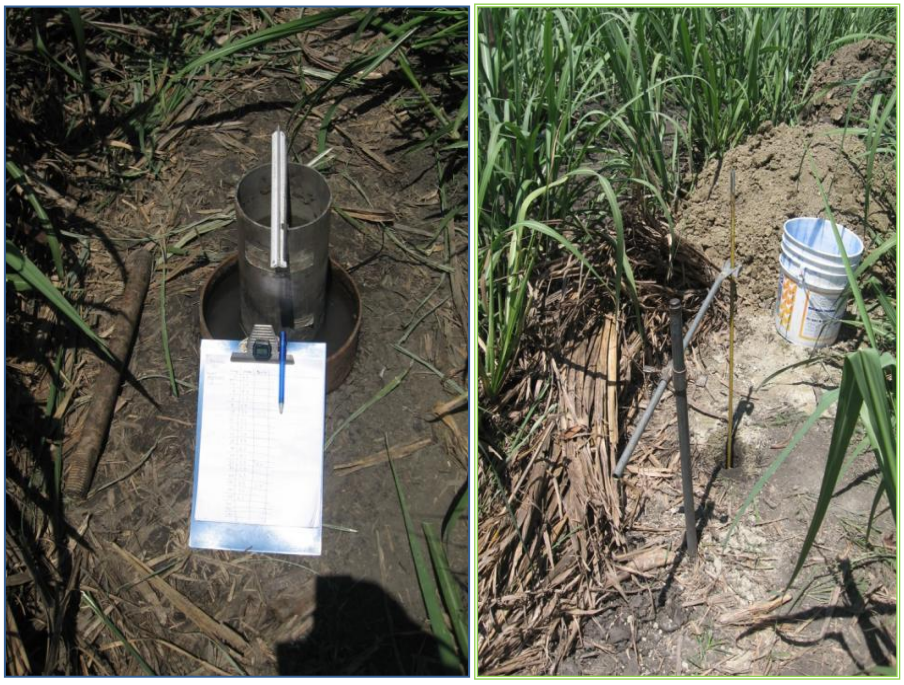


Figura 6 Determinación de Infiltración y conductividad hidráulica en campo

- Indices de enraizamiento (Densidad aparente, modulo de ruptura, porosidad de aireación)

Figura 7 Toma de muestras para determinar densidad aparente, modulo de ruptura y porosidad de aireación del suelo

- Índices de laborabilidad (Textura, coeficiente de dispersión, límites de plasticidad,)

Tomado de: ensayosmatconst.blogspot.com Tomado de: uruguayeduca.edu.uy

Figura 8 Metodologías para determinar índices de plasticidad

6.3.3 Muestreo de aguas para riego

El muestreo de las aguas de riego se realizó en la única fuente hídrica de la hacienda que corresponde a un pozo profundo, a estas aguas se les realizaron los análisis mediante las siguientes metodologías:

- pH: (pHmetro)
- C.E: (Conductimetro)
- Ca: (absorción atómica)
- Na: (absorción atómica)
- K: (absorción atómica)
- HCO_3:(Colorimetria)
- CO_3: (Colorimetria)
- SO_4: (Colorimetria)
- Cl: (Colorimetria)

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.

6.4 SIMULACION DE LOS TRATAMIENTOS (Modelo SALSODIMAR)

Una vez obtenidos los datos iniciales de tolerancia salina y sódica del cultivo, propiedades físicas del suelo, calidad química del agua de riego y clima histórico mensual, se ingresó la información al modelo SALSODIMAR, teniendo solo en cuenta la información con las características más limitantes de afectación por sales. Dicho software estimó la gestión del agua de riego para alcanzar el equilibrio químico en el suelo y, con él, su mejoramiento físico.

En cuanto a la tolerancia del cultivo de la caña de azúcar a la salinidad, en el Valle del Cauca las variedades V7151 y CC8475 han sido sembradas en la zona de Palmaseca y Cerrito en suelos con concentraciones de sales totales hasta de (2dS/m) en el extracto de saturación. La caña de azúcar es un cultivo moderadamente sensible a las sales, pues su rendimiento comienza a afectarse cuando la conductividad eléctrica del extracto del suelo saturado supera el valor de 1,7 dS/m. A partir de allí declina su rendimiento en un 5,9 % por cada unidad de incremento de la conductividad eléctrica (Maas, 1990). Sin embargo, en estudios realizados en Venezuela se superaron estos rangos en las variedades SP 711406, B 64129 y CP 711210 con mayor tolerancia a la salinidad (4dS/m), (Villafañe, 1993). Con base es estos estudios se decidió utilizar un máximo de tolerancia de sales totales en el presente estudio de (4dS/m).

En cuanto al sodio, estudios realizados en Venezuela muestran las variedades PR 692176, B 75403 y CP 711210 como las más tolerantes con una RAS de 8,85 (Villafañe, 1993). El nivel de RAS escogido en el presente estudio es de 10, asumiendo que por debajo de ese valor no se deterioraría la permeabilidad actual con un nivel de salinidad de 4 dS/m en el extracto de saturación del suelo.

6.5 EXPERIMENTO DE CAMPO

De acuerdo con SALSODIMAR, si en el agua de riego dominan las sales de $NaHCO_3$, se deduce que al regar el suelo con dicha agua, el problema potencial en el suelo es un “efecto de sodicidad”, especialmente en condiciones de drenaje impedido. Con dicho modelo se 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 (C.E) en función de la sensibilidad del cultivo a ellas (Pla, 1979).

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[3] (Pla, 1979), debido a las dificultades prácticas de aplicar grandes volúmenes de agua. Con base en los postulados anteriores y teniendo en cuenta que la problemática señalada es la misma encontrada en la zona de estudio, se formularon preliminarmente los siguientes tratamientos:

- Tratamiento 1: Agua de riego sin enmienda
- Tratamiento 2: Agua de riego mejorada con yeso
- Tratamiento 3: Agua de riego mejorada con vinaza

La etapa de experimentación en campo duró aproximadamente 10 (diez) meses

La aplicación de la lámina se realizó por el sistema que normalmente se lleva a cabo en la hacienda, es decir, por gravedad mediante tubería con ventanas. Para mayor confiabilidad de la aplicación se regaron con el mismo tratamiento 6 surcos, tratando en lo posible que cada uno de los puntos evaluados quedara ubicado en el centro. Para la aplicación en campo se tuvo en cuenta la tasa promedio de infiltración (Figura 9).

Figura 9 Aplicación de la lámina en campo

[3] la cantidad de vinaza se calcula en función de su concentración de CaSO4, de tal manera que el Ca^{++} y el $SO_4^{=}$ añadidos se sumarán a los del agua de riego para que su poder coagulante contrarreste los efectos dispersantes de los iones de Na^{+} y HCO_3^{-} presentes allí. Los excesos de iones que ingresan al suelo con esta agua exigen una fracción de lavado.

La mezcla del agua de riego con la enmienda en campo se realizó en cada punto, como lo muestra la figura 10.

Figura 10 Mezcla de la enmienda en campo

6.6 DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se planteó realizar un arreglo factorial en el que se analizaron 2 épocas (antes de realizar los tratamientos y después de realizados) y 3 tratamientos en una disposición de bloques completos al azar en 12 puntos georeferenciados a dos profundidades 0 – 20 y 20 – 40 cm. que se encontraban sobre el mismo horizonte, en un área aproximada de 9.98 hectáreas (Figura 11 y Tabla 2).

Los datos del experimento se analizaron sobre la base de un modelo mixto donde las variables de respuesta fueron los resultados de los análisis físicos y químicos del suelo. Esta modelación permitió hacer una inferencia adecuada al momento de comparar las épocas y/o tratamientos.

Efectos Fijos: Epoca (o período)
Tratamiento
Interacción Epoca x Tratamiento
Efectos Aleatorios: Bloque.

Dado además que se puede asumir que los puntos de las mediciones son los mismos antes y después, debido a que se encontraban georeferenciados, se realizaron las medidas en la misma unidad experimental, utilizando en la matriz de varianzas-covarianzas de los residuos, una estructura de correlación del tipo auto regresivo de orden uno, AR(1).

Las medias o los promedios utilizados para la comparación de las épocas y los tratamientos y su interacción, no fueron los aritméticos sino los estimados a partir del modelo mixto anterior. En este orden de ideas la separación de los promedios de mínimos cuadrados se realizo con la distribución T.

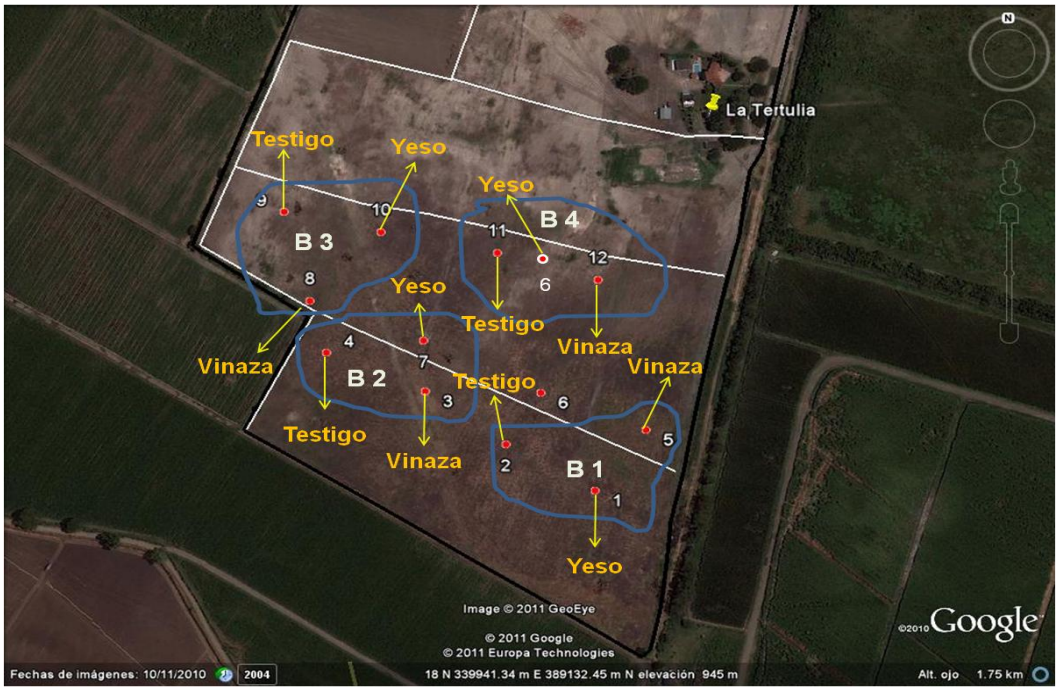


Figura 11 Distribución de los puntos de muestreo en el diseño experimental. (Tomado de Google Earth 2011)

Tabla 2. Descripción de los puntos de muestreo y el tratamiento asignado a cada uno en campo

Punto	Bloque	Tratamiento	Tablón
1	1	Yeso	1
2	1	Testigo	1
3	2	Vinaza	1
4	2	Testigo	1
5	1	Vinaza	2
6	4	Yeso	2
7	2	Yeso	2
8	3	Vinaza	2
9	3	Testigo	2
10	3	Yeso	2
11	4	Testigo	2
12	4	Vinaza	2

6.7 EXPERIMENTO EN LABORATORIO.

Con el objetivo de evaluar en condiciones controladas el efecto de agregar al suelo agua de riego bicarbonatada pero equilibrada químicamente con vinaza, se utilizó el modelo SALSODIMAR para estimar la fracción de lavado correspondiente que permita evitar la acumulación de sodio y bicarbonato.

En cilindros de plástico se empacaron muestras de suelo problema secas al aire y tamizadas a 10 mm, provenientes de dos profundidades: 0-20 y 20 40 cm, y se lavaron adicionando agua de riego bicarbonatada equilibrada con vinaza. Para los cálculos se utilizó el programa SALSODIMAR.

Se analizó el pH y la C. E (dSm^{-1}) del extracto de saturación del suelo-ES y el agua de drenaje-AD. Esta labor se repitió en 6 oportunidades, simulando el número de riegos que se realizaría en campo, con el objetivo de aplicar a escala preliminar el tratamiento obtenido mediante el modelo de simulación.

Antes de los lavados se afirmó el suelo en los cilindros, para lo cual se sometió a dos ciclos de humedecimiento y secado. (Figura 12)

Figura 12 Mezcla de la enmienda y aplicación del tratamiento en los cilindros

De acuerdo con los datos arrojados por SALSODIMAR, el agua de riego mas vinaza que se debería aplicar por hectárea a una profundidad de 40 cm, sería 919 m^3/Ha. Este volumen de agua se puede manejar sin ninguna limitación en la práctica de campo. Para el experimento de laboratorio se calculó la cantidad de agua por cilindro de la siguiente forma:

Cilindros

Diámetro: 5.3 cm **Longitud:** 5 cm
Área: 22.06 cm^2 **Volumen:** 110.3 cm^3

92 mm = 9,2 cm; 9,2 cm x 22,06 cm^2 = 202 cm^3 (que equivale a aplicar una lámina de 92 mm en un cilindro de 22,06 cm^2 de área.

En un Ha eso equivaldría a 92 x 10^{-3}m x 10000 m^2 = 920 m^3

Estos 92 mm de lámina, son la cantidad total de agua mas vinaza que se debe aplicar a la porosidad del suelo, a nivel de laboratorio esta cantidad corresponde a 202 cm^3 por cilindro.

Teniendo en cuenta el comportamiento de la aplicación en el laboratorio, el tratamiento se llevó a campo.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 RESULTADOS DEL ESTADO INICIAL DEL SUELO (DIAGNOSTICO)

7.1.1 Condiciones físicas [4]

Laborabilidad

Las dos profundidades en estudio pertenecen al mismo horizonte en donde un gran porcentaje de los sitios evaluados cuenta con altos contenidos de arcilla, que se incrementan en profundidad, (puntos 1, 2, 5, 6, 7 y 11) esta condición los clasifica como arcillosos y franco arcillosos, estos, disminuyen en los puntos 3, 4, y 8. Los puntos 9, 10, 11, 12 presentan texturas más livianas que permiten una mejor laborabilidad (Tabla 3)

También se observaron cuatro sitios con altos coeficientes de dispersión (alrededor de 20%), al menos en una capa, donde el suelo es más inestable en húmedo y se pueden presentar procesos de dispersión de arcilla si ocurre tráfico de maquinaria en el suelo (Pla 1968). Con los resultados disponibles no es posible deducir la causa de estos incrementos ya que coinciden con límites plásticos muy altos.

En general, los límites de plasticidad altos se hallaron en suelos más arcillosos, es decir, que las arcillas del lugar están contribuyendo a la estabilidad del suelo con la posibilidad de almacenar gran cantidad de humedad sin perder la elasticidad ante los esfuerzos que ocasiona el manejo mecánico de estos suelos; en los puntos con menor contenido de arcilla (8, 9, 10), obviamente descendió este límite.

Los resultados anteriores compaginan con plasticidades medianas y bajas, es decir, suelos con un intervalo de humedad adecuado antes de pasar al estado líquido. En general, se puede concluir que la laborabilidad de estos suelos resultó aceptable dentro de los primeros 40 cm (Tabla 3).

[4] Todos los valores de porcentaje de humedad, están expresados en humedad volumétrica

Tabla 3 Resultados de textura, coeficiente de dispersión, límite de plasticidad e índice de plasticidad.

Punto	Prof. (cm)	Textura (%)			C.D (%)	L.P (%)	I. P
		Arena	Limos	Arcillas			
1	0-20	15.1	38.0	46.9	11	43.1	15,22
	20-40	5.1	46.0	48.9	2	32.3	17,29
2	0-20	23.1	34.0	42.9	4	48.0	15,87
	20-40	7.1	30.0	62.9	7	40.3	14,76
3	0-20	9.1	32.0	58.9	3	37.8	11,10
	20-40	13.1	58.0	28.9	6	26.6	8,88
4	0-20	15.1	36.0	48.9	2	32.0	10,89
	20-40	35.1	42.0	22.9	4	28.9	6,89
5	0-20	21.1	30.0	48.9	26	48.7	18,67
	20-40	21.1	28.0	50.9	20	39.1	16,78
6	0-20	7.1	46.0	46.9	24	40.8	16,78
	20-40	7.1	32.0	60.9	17	40.9	16,89
7	0-20	21.1	38.0	40.9	21	35.9	10,84
	20-40	11.1	42.0	46.9	4	29.0	11,76
8	0-20	15.1	44.0	40.9	2	26.2	8,98
	20-40	11.1	50.0	38.9	4	25.1	7,89
9	0-20	27.1	46.0	26.9	3	20.9	4,72
	20-40	57.1	28.0	14.9	11	-[5]	8,55
10	0-20	25.1	42.0	32.9	5	23.7	10,77
	20-40	21.1	46.0	32.9	5	25.3	7,9
11	0-20	21.1	66.0	12.9	20	29.7	5,79
	20-40	9.1	48.0	42.9	4	28.7	10,57
12	0-20	21.1	44.0	34.9	2	35.7	9,13
	20-40	25.1	44.0	30.9	3	28.6	0

[5] Suelo no plástico

Figura 13 Fotografía satelital que muestra la zona de mayor problemática para laborabilidad (Tomado de Google Earth 2011)

- Enraizamiento

En general se observa relación entre la densidad aparente, la textura, el contenido de MO y la RAS_{ES}; es decir, el suelo fue menos denso (< 1.3 g/cc) donde las texturas fueron arcillosas y/o la MO osciló entre 2.5 y 4.5%, y aumentó a 1.4 o 1.5 donde la MO estuvo por debajo de 1%, o bien, la textura fue más gruesa. En los puntos, 9 y 12 (20 a 40 cm), quizás también influyó la RAS que presentó un valor cercano a 10. (Tabla 4)

El módulo de ruptura presentó en 11 de los 12 puntos evaluados, valores superiores a 3 kg/cm^2, probablemente a consecuencia del Na que todavía está en los sitios de intercambio de las interláminas de arcilla 2:1. Estas arcillas expandibles de tipo esmectitas no toleran valores altos de RAS afectando las características físicas del suelo. Mientras que suelos con bajo contenido de arcillas o pocas arcillas expandibles pueden soportar valores relativamente altos de RAS sin que sus condiciones físicas se deterioren. (Garcia A. , 2002)

Como ocurrió en el punto 11, donde no se afecto el modulo de ruptura y las características texturales fueron arenosas.

Tabla 4 Promedios de algunas propiedades físicas y materia orgánica de los suelos de la hacienda la Tertulia.

Punto	Prof. (cm)	D.a (g/cm^3)	MO %	M.R (Kg/cm^2)	P. Aire (%)	RAS
1	0-20	1.2	3.8	12.7	5.2	3.9
	20-**40**	1.4	0.9	12.9	3,0	6.4
2	0-20	1.3	4.7	11.4	7,0	3.5
	20-40	1.2	2.2	14.4	1,8	3.9
3	0-20	1.2	1.6	11.9	5,1	6.9
	20-40	1.5	0.3	9.0	3,6	7.9
4	0-20	1.3	2.5	11.9	2,6	3.7
	20-40	1.4	0.4	12.4	3,0	6
5	0-20	1.3	2.9	12.3	4,7	3.3
	20-40	1.4	1.8	12.1	2,9	3.8
6	0-20	1.2	1.1	14.1	3,2	4.5
	20-40	1.4	2.2	12.0	1,6	4.6
7	0-20	1.2	3.4	6.7	10,5	4.8
	20-**40**	1.4	1.3	13.1	4,4	5.3
8	0-20	1.4	2	7.8	11,9	4
	20-40	1.5	1	10.8	4,7	5.3
9	**0-20**	1.5	1.2	6.1	9,7	10.9
	20-40	1.5	0.3	5.5	10,2	10.2
10	**0-20**	1.4	2.1	4.6	13,6	7.5
	20-40	1.4	2.5	10.9	5,4	5.5
11	**0-20**	1.1	4	1.1	14,1	6.3
	20-40	1.2	2.6	2.5	13,5	5.7
12	**0-20**	1.3	2.4	1.8	13,6	5.7
	20-40	1.6	0.8	11.5	3,4	9.7

Los puntos 1,2,3,4,5,6 y 7 presentan porcentajes muy bajos en lo relacionado con la porosidad. Teniendo en cuenta que el modulo de ruptura en los mismos puntos presenta valores altos, se puede considerar que estos sitios no cuentan con una buena capacidad de enraizamiento. (Figura 14)

Cabe aclarar que no todos los puntos evaluados presentan la misma condición y que aquellos que se encuentran ubicados en la zona occidente del ensayo (los de mayor contenido de arenas) son los de mayores porcentajes de porosidad de aireación. De acuerdo a lo observado en campo y por los datos de modulo de ruptura y porosidad de aireación, se debe tener cuidado con la resequedad del suelo debido a que tiende a endurecerse y se puede afectar el crecimiento radical.

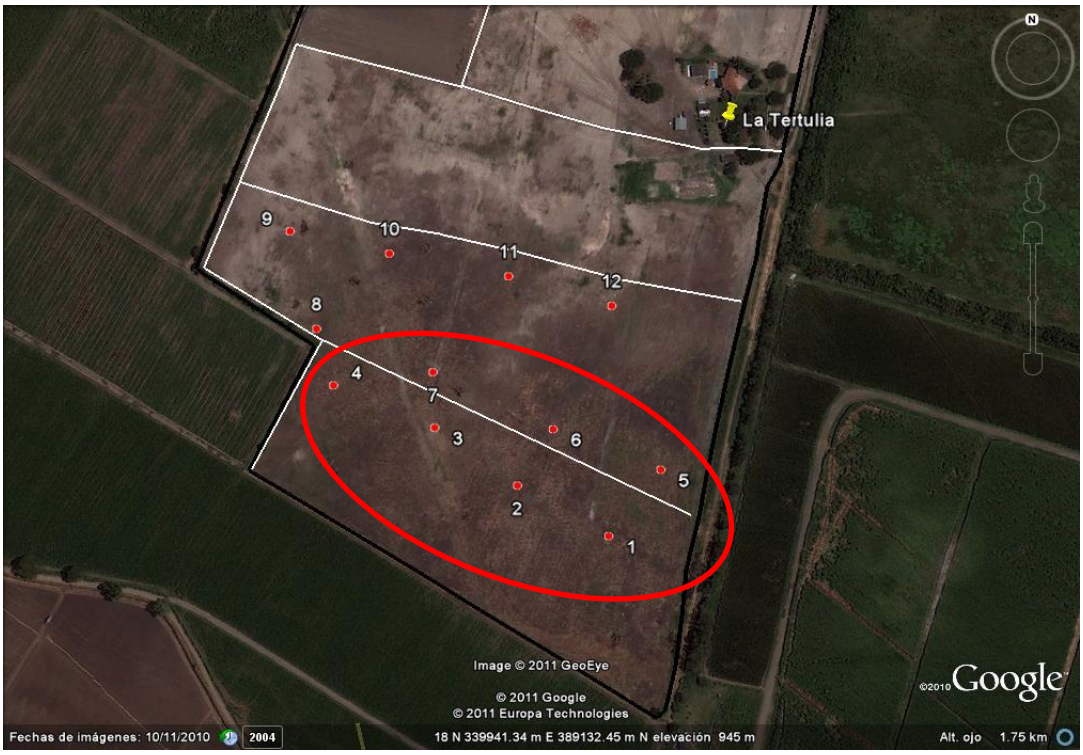


Figura 14 Fotografía satelital que muestra la zona de mayor problemática para capacidad de enraizamiento (Tomado de Google Earth 2011)

- Permeabilidad

La tasa de infiltración muestra un buen comportamiento en los puntos 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 y 12, en los puntos 1, 2, 5 y 6 existe una fuerte restricción en la entrada del agua al suelo, estos puntos se encuentran ubicados en la zona centro del área de estudio que es la más baja del lote, estos sitios se caracterizaban por presentar

efectos de acumulación de arcilla superficial (Figura 15 y 16); para el manejo convencional del riego en la caña de azúcar, la infiltración en los puntos 3, 7 y 10, que oscilan entre 5 y 15 mm/h, se consideran bajos para fines prácticos (Tabla 5).

A pesar de que los requerimientos de conductividad hidráulica para el cultivo de caña de azúcar en la profundidad de 20 a 40 cm son menos rigurosos que para infiltración, se observó que en 10 de los 12 puntos evaluados los valores fueron bajos o menores de 5 mm/h, estos valores muestran que el movimiento del agua dentro del suelo es limitado, posiblemente porque la arcilla está más elevada a esa profundidad y posiblemente acumulada en forma estratificada (Tabla 5).

Figura 15 Erosión en el borde del lote en estudio, se aprecia condiciones físicas inapropiadas en el sitio de estudio.

Figura 16 Efecto de la baja permeabilidad del suelo

Tabla 5. Resultados de infiltración y conductividad hidráulica.

Punto	Infiltración Prof. 0 - 20 (mm/h)	KHS Prof. 20 - 40 (mm/h)
1	2	1
2	4	1
3	10	48
4	40	1
5	1	1
6	1	2
7	10	3
8	46	2
9	40	25
10	15	4
11	134	2
12	21	3

Figura 17 Fotografía satelital que muestra la zona de mayor problemática de permeabilidad (Tomado de Google Earth 2011)

7.1.2 Condiciones Químicas

La tendencia del pH en la zona de estudio muestra que predominó el rango 7.3 - 8.2), típico de los suelos del Valle del Cauca y relativamente apropiados para los cultivos, sin embargo es importante dentro del manejo tener cuidado con la fertilización de elementos menores y fosforo (P); solamente el punto 9 presentó reacción mas alcalina por presencia de carbonatos (Tabla 6).

En cuanto a las sales hidrosolubles, la C.E muestra que los puntos 5, 6, 10, 11 y 12 tienen valores superiores a 2, dS/m en las dos profundidades, lo que representa problemas para la producción de caña de azúcar, además, se observa valores en los puntos 6 y 11 con valores superiores a 4, dS/m en las dos profundidades que representan condiciones de salinidad en el suelo afectando en gran medida la germinación y desarrollo del cultivo, coincidiendo con decrecimientos de la densidad y la conductividad hidráulica (Tabla 6).

La RAS_{ES} aunque osciló entre 5 y 7 no advierte peligro debido a que no hay una alta cantidad de bicarbonatos o carbonatos y en cuatro puntos sobrepasó el valor crítico de 8 que en ciertas ocasiones podría ser un nivel crítico, sin embargo en este caso posiblemente el problema sea menor al ser los aniones acompañantes dominantes en todos los casos los sulfatos y cloruros, (Pla I. , 1979) (Tabla 6).

La tabla 6 muestra que pH_{ES} es mayor al pH del suelo medido debido a que el extracto de saturación en estos suelos es más alto porque al elaborar la pasta se incrementa al máximo la doble capa difusa de las arcillas y esto permite que mas carbonatos de calcio y magnesio se disuelvan generando que el pH se incremente.

Tabla 6 Condiciones químicas iniciales de los puntos evaluados en la hacienda La Tertulia.

Punto	Prof. cm	pH	pH	CE (ES)	MO	CAT meq/litro				RAS	ANIONES meq/litro			
		V:V 1:1	ES	dS/m	%	Ca	Mg	K	Na		SO_4=	CO_3=	HCO_3=	Cl-
1	0-20	7.8	8.1	1,6	3.8	4.4	5.0	0.3	8.4	3.9	10.4	0	5.8	2
	20-40	7.4	7.7	2,6	0.9	5.8	7.4	0.1	16.4	6.4	15.5	0	2.1	6.5
2	0-20	7.6	8.1	1.8	4.7	6.8	5.9	0.5	8.7	3.5	12,5	0	4.2	2.6
	20-40	7.6	7.8	2.1	2.2	7.6	6.8	0.3	10.6	3.9	13,3	0	2.7	4.7
3	0-20	8	7.7	1.9	1.6	3.7	4.7	0.2	14.1	6.9	14,3	0	2.3	2.3
	20-40	8	7.7	3.9	0.3	7.1	13.7	0.1	25.5	7.9	24,5	0	2.9	14
4	0-20	7.4	8.1	1.7	2.5	5.9	5.4	0.4	8.8	3.7	19.9	0	4	1.4
	20-40	7.9	7.7	4.4	0.4	13.2	16.7	0.1	23.1	6	38.7	0	0.8	4.9
5	0-20	7.5	7.8	3.5	2.9	13.6	15.4	0.3	12.7	3.3	22.4	0	4.4	14
	20-40	7.5	7.8	4.3	1.8	14.6	20.4	0.2	16.0	3.8	40.1	0	2.3	17
6	0-20	7.3	7.3	6	1.1	23.9	26.5	0.2	22.6	4.5	40.4	0	0.9	18
	20-40	7.5	7.9	4.7	2.2	18.5	18.0	0.3	19.5	4.6	25.7	0	2.9	18
7	0-20	7.5	8.2	1.5	3.4	3.9	3.7	0.5	9.4	4.8	11	0	5.8	1.4
	20-40	7.7	8	1.7	1.3	4.2	4.4	0.4	11.0	5.3	12.5	0	4	2.3
8	0-20	7.6	8.2	1.7	2	5.3	5.1	0.3	9.1	4	15.9	0	5.2	1.7
	20-40	7.8	7.9	2.6	1	7.0	8.8	0.2	14.9	5.3	19.8	0	2.7	3.1
9	0-20	8.8	8	2.1	1.2	2.8	3.3	0.2	19.0	10.9	12.5	0	5.8	3.6
	20-40	8.9	8.1	1.4	0.3	1.6	1.8	0.1	13.4	10.2	14	0	3.3	1.8
10	0-20	7.9	8.1	3.1	2.1	8.5	7.1	0.6	20.9	7.5	22.5	0	7.3	2.1
	20-40	7.6	7.9	4.1	2.5	16.9	11.2	0.8	20.5	5.5	33.8	0	2.7	3.6
11	0-20	7.7	8.1	4.8	4	17.6	11.8	4.4	24.3	6.3	36.5	0	4.6	7.1
	20-40	7.8	7.8	4.2	2.6	16.1	12.0	1.3	21.3	5.7	31.3	0	5	5.8
12	0-20	7.9	8.1	2.0	2.4	5.0	5.6	0.5	13.0	5.7	13	0	5.2	2.3
	20-40	8.3	8.1	2.2	0.8	2.4	5.1	0.3	18.7	9.7	15.3	0	3.7	2.8

7.1.3 Calidad de aguas de riego.

Las aguas de riego de la hacienda La Tertulia en promedio tienen baja C.E, reacción ligeramente alcalina, y la distribución de los iones solubles muestra predominio de bicarbonatos sobre sulfatos mas cloruros y sobre calcio mas magnesio, y dominio de sodio sobre calcio mas magnesio. En estas condiciones, probablemente las sales dominantes en esta agua serán $NaHCO_3$ y $Mg(HCO_3)_2$, los cuales califican a esta agua como problemática para su uso en agricultura de riego, y con alto potencial degradativo (Pla I. , 1978).

Para utilizar esta agua en agricultura de riego sobre un suelo mal drenado y evitar los riesgos de sodización inminentes, Salsodimar estima una fracción de lavado (L) cercana al 0.5 (50%). Este valor sobrepasa el máximo propuesto de 0.3, que implica manejar volúmenes de drenaje muy limitantes de llevar a la práctica. Por ello, en esta investigación se tomaron medidas correctivas para el agua de riego con el fin de llevar los requerimientos de lavado por debajo de 0.3, principal herramienta de la investigación (Tabla 7).

A este respecto, se planteó añadir el equivalente a 1.4 me/L de $CaSO_4$ en dos tratamientos, uno utilizando yeso, y otro utilizando vinaza (Tabla 7). Obsérvese el detrimento de las fracciones de lavado logrado con los tratamientos, especialmente bajo con el tratamiento de yeso, e intermedio con el de vinaza debido a la mayor carga electrolítica que trae, la cual debe lavarse para evitar la "salinización del suelo".

Alimentando el modelo Salsodimar con los siguientes datos, se obtuvieron las fracciones de lavado-L para cada tratamiento de campo y el de laboratorio (Tabla 7):

<u>Suelo</u>
Infiltración (mm/h):
Capacidad Campo (%):
Densidad (g/cm^3):
Espesor (mm):

<u>Planta</u>
Sales Totales (me/L):
RAS:

<u>AR_{ES} (me/L)</u>: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} , HCO_3^{-} , $SO_4^{=}$, Cl^{-} , pH

Tabla 7 Composición del agua de riego para cada uno de los tratamientos.

Trat.	Ph	C.E(ds/m)	Cationes (meq/L)				RAS	Aniones (meq/L)				L
			Ca^{2+}	Mg^{2}_{+}	K^{+}	Na^{+}		SO_4=	CO_3=	HCO_3=	Cl^{-}	
AR1	7,8	0,32	1,1	0,5	0,1	2,5	2,8	0,3	0,3	2,8	0,4	46
AR + Y	7,6	0,51	2,5	0,5	0,1	2,5	2	1,6	0.3	2,7	0,4	16
AR + V	6,2	1,1	2,5	2	2,1	2,5	1,7	2.3	0,9	2,9	0,6	23

Estas L convertidas a unidades de volumen por área quedaron así:

- Tratamiento 1: Agua de riego con una fracción de lavado de un 47%: **1329 m^3/ hectárea.**
- Tratamiento 2: Agua de riego más yeso con una fracción de lavado de un 16%: **848 m^3/ hectárea.**
- Tratamiento 3: Agua de riego más vinaza con una fracción de lavado de un 23%: **919 m^3/ hectárea.**

El control del balance de sales en el riego, acompañado de un excelente manejo de los drenajes es la carta más fuerte en el momento de generar una compensación o mitigación de los efectos ocasionados por las sales en la actualidad.

7.2 RESULTADOS DE LABORATORIO.

La muestra de agua de riego que se utilizó aquí es de la misma fuente que se analizó en un principio, pero fue tomada un día distinto. El análisis muestra una reacción ligeramente alcalina, no salina, mientras que la vinaza fue el polo opuesto: fuertemente ácida y fuertemente salina (tabla 8).

Tabla 8. Conductividad eléctrica y pH del agua y la vinaza

Descripción	C. E.	pH
Agua	0,2	8,04
Vinaza	27,6	4

Después de añadir al agua de riego 1.4 meL^{-1} de $CaSO_4$ utilizando como fuente vinaza, se incremento la C.E de la solución agua + vinaza, con respecto al agua sin vinaza, el pH del agua de riego disminuyó con la adición de la enmienda hasta valores de 5,3. A la luz de estos dos únicos parámetros, se pasó de un agua algo alcalina con potencial de sodizar el suelo, a un agua algo salina con potencial de salinizar el suelo. Debe aclararse que se esperan menos dificultades de manejo con el agua tratada porque su alta carga electrolítica puede ocasionar una mayor facilidad en el lavado de sales de sodio en las aguas de drenaje

Los resultados en el agua de drenaje mostraron que la C.E se incrementó hasta el tercer lavado, posteriormente disminuyó hasta llegar a un valor similar al del primer lavado, sin embargo estos registros mostraron en el agua de drenaje una C.E superior a la del agua + vinaza, la información indica que se presentó una lixiviación de sales en todos los casos. Para el caso del pH en el agua de drenaje, todos los lavados mostraron valores superiores a los iniciales del agua + vinaza. (Tabla 9).

Cuando se regó en seis ocasiones el suelo con sus correspondientes fracciones de lavado de 0.23 (23%), fue descendiendo paulatinamente a partir del segundo lavado desde 1.1 hasta llegar a casi la mitad de este valor al cabo del sexto lavado, y la reacción del suelo descendió en un principio y al final se estabilizó prácticamente hasta regresar a su condición inicial. Lo anterior significa que solamente hubo un lavado efectivo de sales hidrosolubles puesto que la alcalinidad inicial en la práctica se mantuvo, La evolución química del agua de drenaje demostró que el lavado estuvo sacando las sales que entraron más un porcentaje adicional, de acuerdo con los incrementos esporádicos de la **$C.E_{AD}$;** y el pH_{AD} señala que los lavados también controlaron la alcalinidad del suelo, a juzgar por los drenajes de carácter más alcalino en los lavados 1, 3 y 4.

Tabla 9. Efecto del requerimiento de lavado de agua mas vinaza en el comportamiento de las características químicas(C.E y pH) de las aguas de drenaje y el suelo.

# Lavado	C.E (dS/m) Agua+Vin.	pH Agua+Vin.	C.E (dS/m) Dren.	pH Dren.	C.E (dS/m) Suelo	pH suelo
1	0,87	5,5	1,19	6	1,11	7,9
2	0,85	5,6	1,24	5,8	0,93	8,0
3	0,95	5,3	1,59	7,3	0,73	8,0
4	0,94	5,3	1,27	6	0,79	8,0
5	0,95	5,4	1,33	5,6	0,75	8,0
6	0,95	5,3	1,18	5,8	0,63	8,1

7.3 RESPUESTA DEL SUELO EN CAMPO A LA APLICACIÓN DE RIEGO MAS UNA FRACCION DE LAVADO.

7.3.1 Efectos de tipo físico

Las condiciones climáticas especialmente la lluvia en contacto con el suelo puede causar un aumento en la dispersión de la arcilla que da como resultado un aumento en la resistencia mecánica de los agregados del suelo seco. (Kay y Dexter, 1992). Hillel (1980) Define la resistencia mecánica como la fuerza requerida por la maquinaria para la ruptura o separación de las partículas del suelo. En otras palabras, la describe como la cantidad de fuerza por unidad de área requerida para separar una porción de suelo de otro. (Kay y Dexter, 1992) Concluyen que la resistencia mecánica de los suelos está directamente relacionada con la porosidad de aireación.

El agua de riego tiene un efecto directo en la solución del suelo en las regiones áridas y semi-áridas, esto a su vez afecta en la dinámica de la estructura del suelo (Bybordi, 1989). Durante el proceso de aplicación de riego, ocurre un proceso físico irreversible, en el que las partículas del suelo se introducen en un medio que inicialmente estaba ausente del sistema o conjunto formado por las partículas difundidas o soluto y el medio donde se difunden o disuelven (Rahimi H. 2000),

La aplicación de una fracción de lavado sin enmienda ocasionó cambios positivos en la porosidad de aireación en las dos profundidades en estudio, sin embargo su diferencia fue significativa en la profundidad 0-20. (Figura 18). Al respecto, Pla (1986) sugiere que el tratamiento favorece una dilución de sales de carbonato y sulfato de calcio, las cuales comienzan a coagular la porción de suelo humedecida.

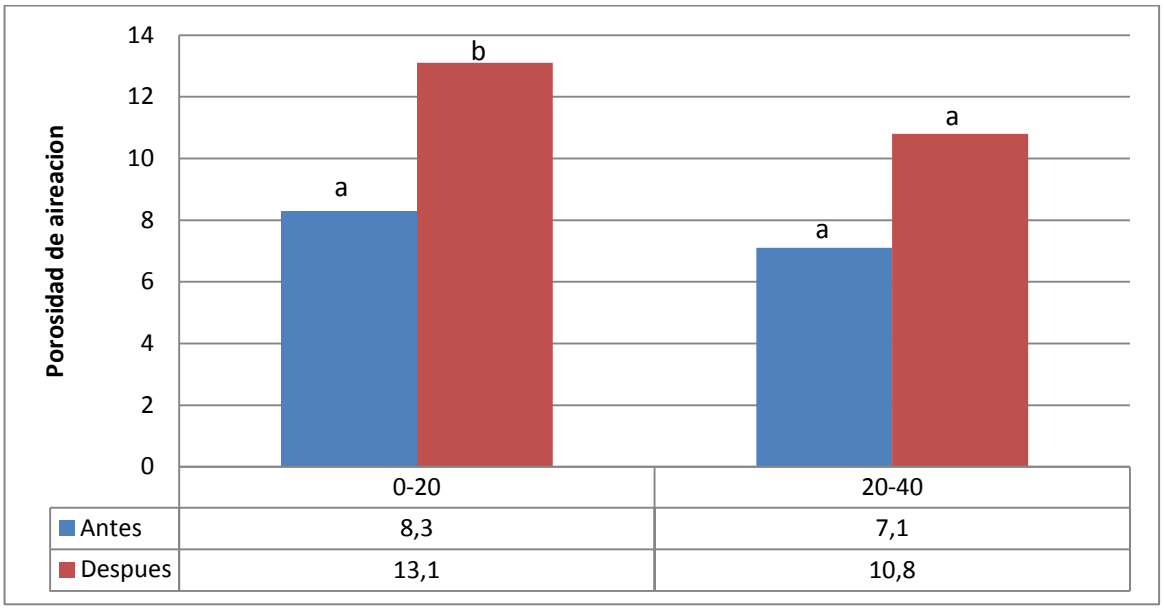


Figura 18 Efecto de la fracción de lavado en la porosidad de aireación

El uso continuo de riego con aguas de mala calidad genera inicialmente problemas de permeabilidad del suelo. Estudios realizados por (Chouldary et al 2004) identificaron resultados decrecientes en el promedio de velocidad de infiltración, inicial, en la primera hora y la tasa de infiltración final después de 24 h se redujo de 6.0 a 2.4 cm h-1.

Las aplicaciones de agua de riego sin enmienda realizadas en el desarrollo de este experimento ocasionaron un comportamiento similar en la infiltración de los primeros 20 cm de suelo que los estudios de investigación realizados por Chouldary.

La Infiltración no cambió significativamente con la aplicación de fracción de lavado sin enmienda, sin embargo es preocupante la disminución en el promedio de la velocidad de infiltración (Tabla 10).

Tabla 10. Infiltración (I)

I	0-20
Antes	19 a
Después	5 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

El módulo de ruptura determina la susceptibilidad al encostramiento de los suelos y se calcula por la fuerza máxima para romper un molde de suelo de determinado tamaño (Pinzón, 2003). La tabla 11 muestra que al aplicarse el riego más la fracción de lavado no hubo cambios significativos, dado que esta característica está directamente relacionada con los contenidos de arcilla y en estos suelos son altos, muy probablemente no se presentaron cambios debido a que las partículas en el suelo seco tienen alta cohesión.

Tabla 111. Efecto del agua de riego con fracción de lavado en el modulo de ruptura

Modulo de ruptura	0-20	20-40
ANTES	7.63 a	8.68 a
DESPUES	7.15 a	6.95 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

7.3.2 Efectos de tipo químico.

Las causas de la respuesta física observada están fundamentadas en parte a una caída no significativa de la RAS_{ES} después de varios riegos (Tabla 11).

Tabla 122. Efecto del agua de riego en la RAS_{ES}

RAS_{ES}	0-20	20-40
Antes	6,09 a	6,45 a
Después	4,44 a	4,62 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

La salinidad en el suelo es una de las principales razones que limitan la producción del cultivo de la caña de azúcar, se puede observar que la implementación del sistema de drenaje entubado fue fundamental para que aplicación de la fracción de lavado en el riego se viera reflejada en el el detrimento de la CE (Figura 19):

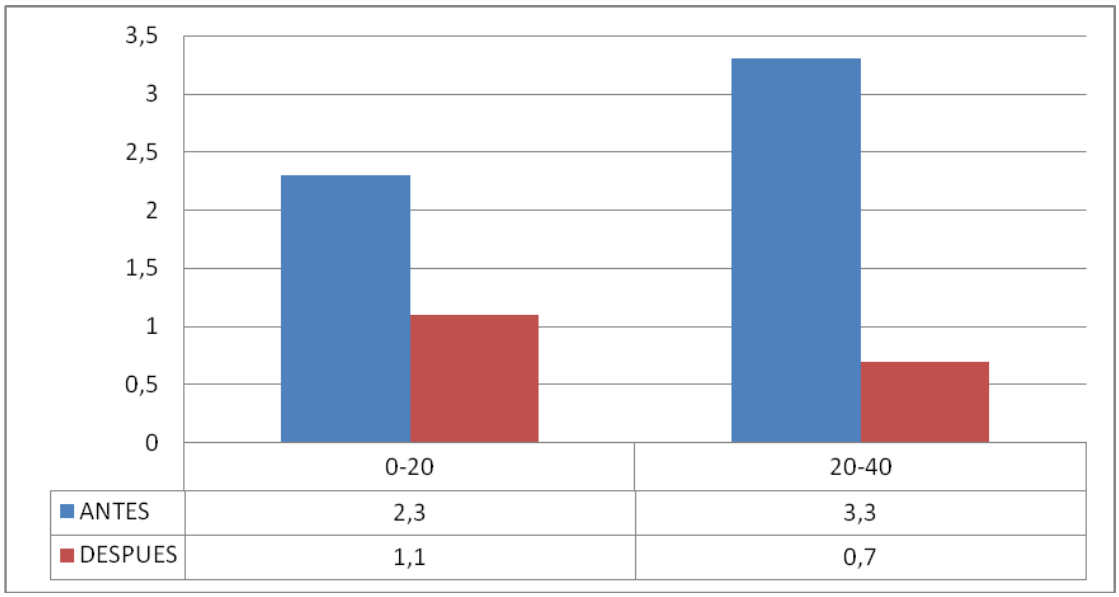


Figura 19 Efecto de la fracción de lavado en la C. E.

Con este tratamiento hubo un aumento significativo del pH entre 0 y 20 cm (Figura 20), que advierte que el lavado de las bases implica un dominio de los iones bicarbonato tanto sobre sulfatos y cloruros como sobre calcio más magnesio (Figuras 21 y 22).

La alcalinidad concurre con la presencia de carbonato de sodio (Na2CO3) en el suelo sea como consecuencia de la descomposición natural de los minerales del suelo, o sea como resultado de la introducción por riegos o inundaciones.

El carbonato de sodio, cuando se disuelve en agua, se disocia en 2Na+ (dos cationes de sodio, siendo iones con carga eléctrica positiva) y CO_3^{2-} (un anión, con doble carga eléctrica negativa).

El sodio puede reaccionar con agua (H2O) produciéndose dióxido de carbono, que se escapa como gas carbónico a la atmósfera, e hidróxido de sodio (Na+OH–), que es alcalino y rinde un valor alto del pH (> 9).

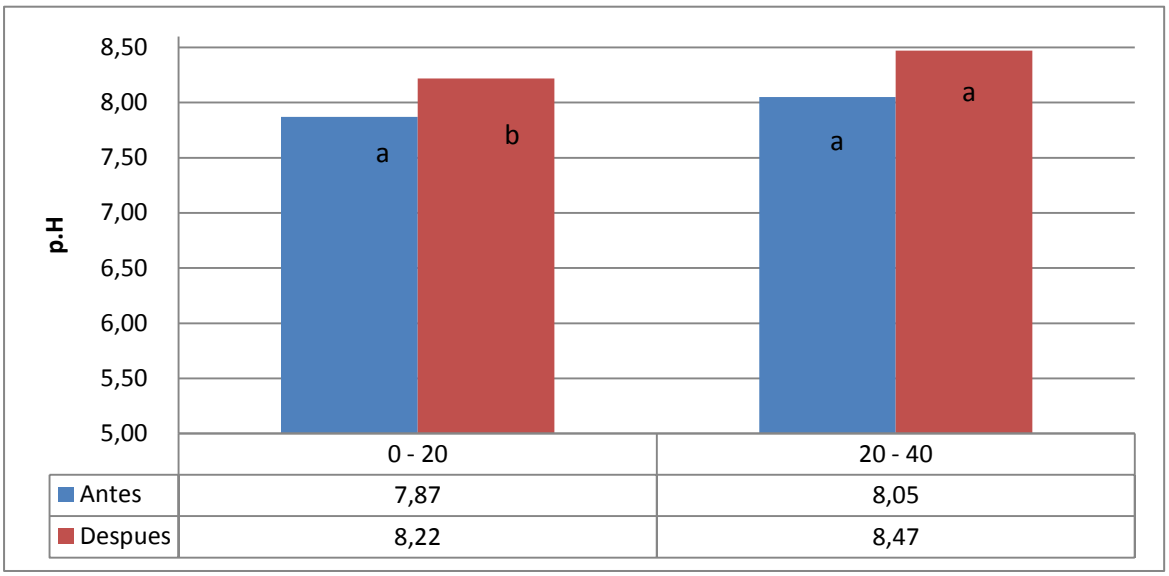


Figura 20 Efecto de la fracción de lavado en el pH*

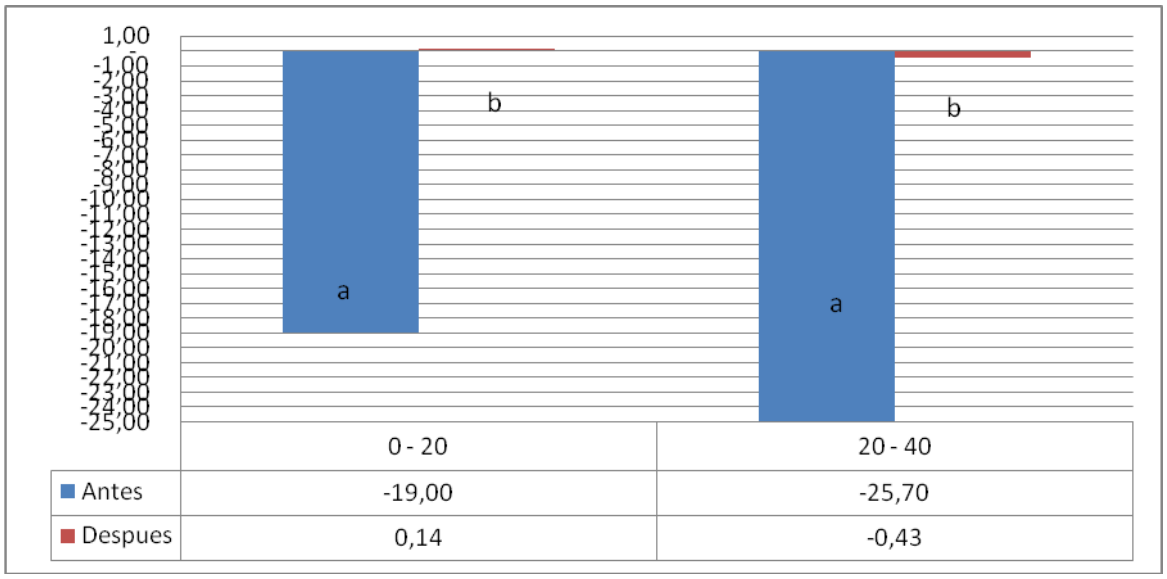


Figura 21 Efecto de la fracción de lavado en la relación de (Bicarbonatos + Carbonatos) – (Sulfatos+ cloruros) *

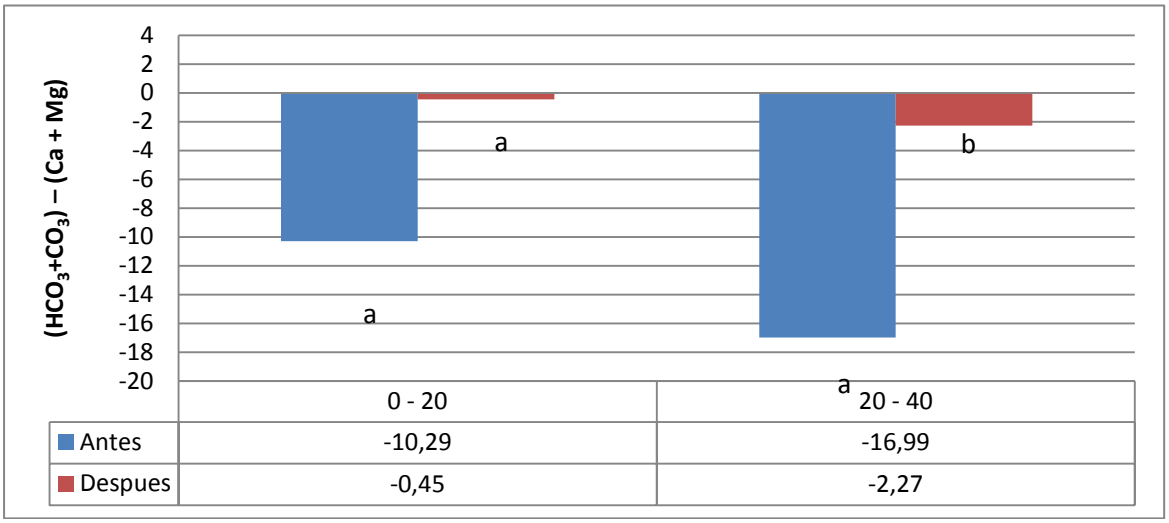


Figura 22 Efecto de la fracción de lavado en la relación de (bicarbonatos + carbonatos) – (Calcio + Magnesio)*

Sin embargo, los contenidos de bicarbonatos (Tabla 12), no cambia del antes al después de aplicados los tratamientos, por lo tanto su predominio es de carácter temporal, mientras se reequilibran Ca, Mg, SO4 y Cl.

Tabla 13. Contenidos de los bicarbonatos en el suelo.

HCO_{3ES}	0-20	20-40
ANTES	4.6 a	3 a
DESPUES	3.3 a	3.3 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

7.4 RESPUESTA DEL SUELO EN CAMPO A LA FRACCION DE LAVADO CON AGUA Y YESO

7.4.1 Efectos de tipo físico.

La presencia de los iones de Ca en el suelo promueve la floculación del mismo, a través de puentes catiónicos que pueden reducir el grosor de la doble capa difusa (Rasoulli 2013).

En un experimento de campo a largo plazo con el cultivo de arroz-trigo anuales,

Choudhary et al. (2011) informó que la aplicación de yeso fue eficaz en el aumento de la tasa de infiltración final. Estos resultados sugieren que el valor de la permeabilidad es una función de la dosis del yeso añadido y su tamaño de partícula.

La aplicación de riego con fracción de lavado y yeso, mejoró significativamente el índice de permeabilidad que indica que tanto la infiltración como la conductividad hidráulica se incrementaron sustancialmente, el efecto del yeso agregado durante el año produjo una recuperación de la estructura en la capa superficial, la infiltración aumentó marcadamente, pasando de 6.9 a 75.6 cm h-1, (figura 23), lo que indica que el yeso mejoró la entrada y el movimiento del agua en el suelo, favoreciendo así la disponibilidad de la misma para el desarrollo vegetal.

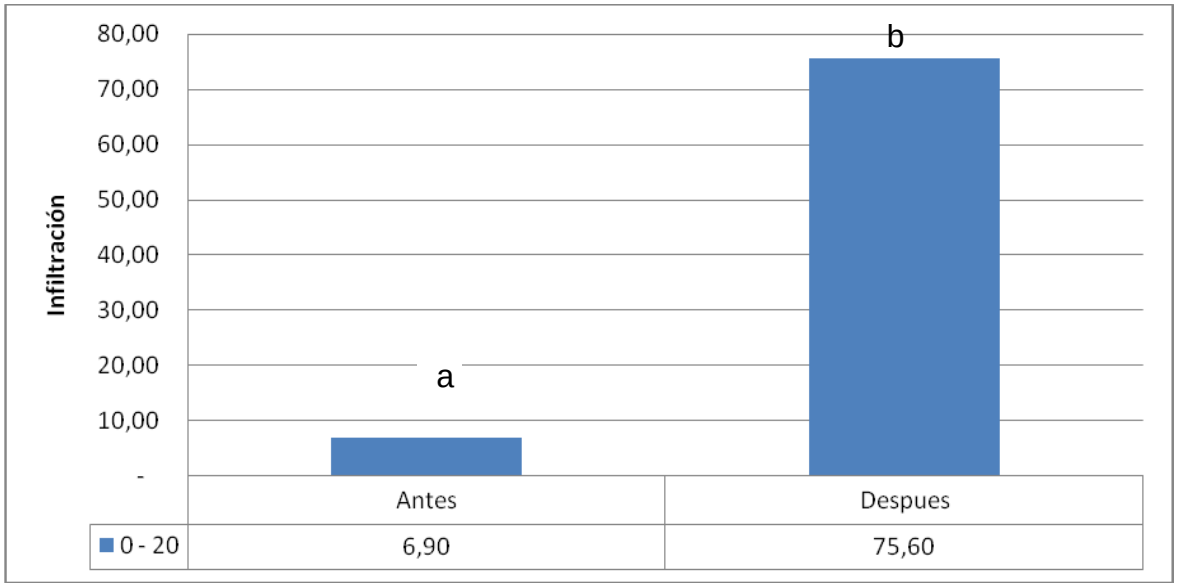


Figura 23 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de yeso en el índice de permeabilidad del suelo.*

La porosidad de aireación tuvo mejoras significativas en las dos profundidades después de las aplicaciones de las láminas de riego con enmienda de yeso. (Figura 24),

Evidentemente la acción floculante del calcio junto con la disminución del sodio y el aumento de la concentración de electrolitos en solución, permitieron una mejora en la estabilidad del sistema poroso. (Keren, 1996)

* Gráficos con diferente letra difieren significativamente (<0,05%)

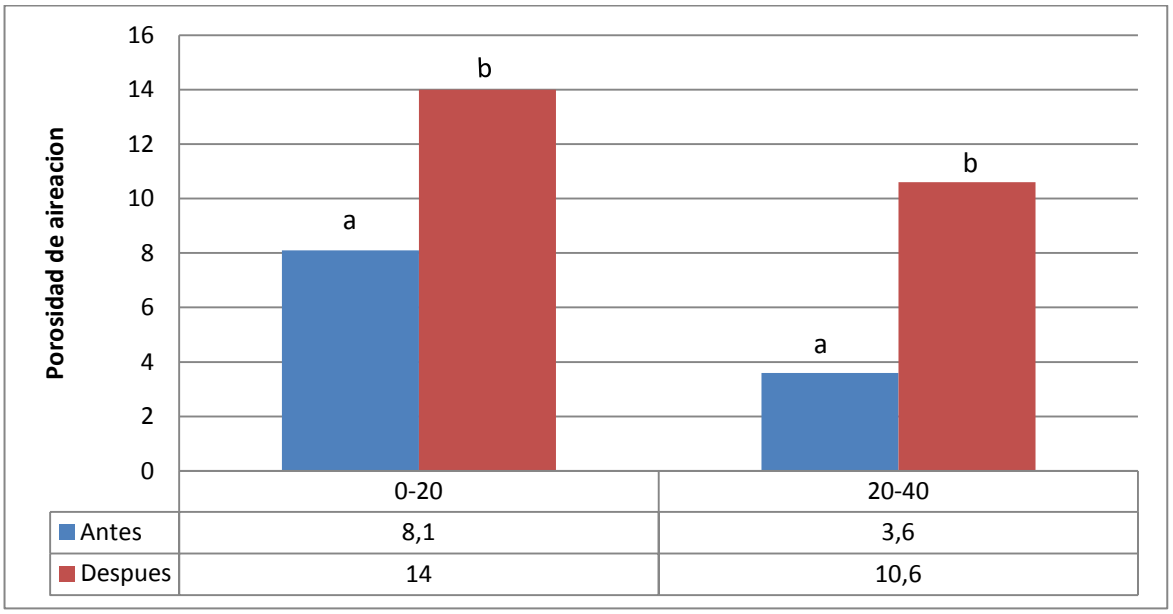


Figura 24 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de yeso en la porosidad de aireación del suelo.*

El modulo de ruptura aunque disminuyó de una forma considerable no presentó diferencias significativas (Tabla 13), la densidad aparente, no mostró cambios significativos, aunque se consideró baja (1,3 g/cm^3).

Tabla 14. Efecto del agua de riego con enmienda de yeso en el modulo de ruptura

Modulo de ruptura	0-20	20-40
ANTES	9.54 a	12.24 a
DESPUES	5.48 a	8.73 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

7.4.2. Efectos de tipo químico.

Los efectos de yeso sobre las propiedades físicas del suelo, tiene una correlación directa sobre las características químicas del mismo. La química del suelo en este tratamiento mostró el lavado de iones (RAS_{ES}), sin embargo cabe resaltar que no hubo diferencias significativas. (Tabla 14)

Zia et al. (2006) demostraron que, para mejorar el peligro de sodicidad, las enmiendas en el agua de riego con yeso no eran económicas y prácticas para sostener arroz en las regiones secas, por lo tanto, los suelos altamente sódicos en general deberían ser recuperados mediante la adición de yeso directamente al suelo.

Tabla 15. Efecto del agua de riego con enmienda de yeso en la RAS_{ES} (tablas con la misma letra no tienen diferencias significativas).

RAS_{ES}	0-20	20-40
ANTES	5,16 a	5,43 a
DESPUES	4,42 a	3,91 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

Los contenidos de sulfatos y cloruros, en la dos profundidades presentaron diferencias significativas (P≤ 0.005), Figuras 25 y 26, con resultados previsibles sobre el incremento del pH y en CE (figuras 27 y 28).

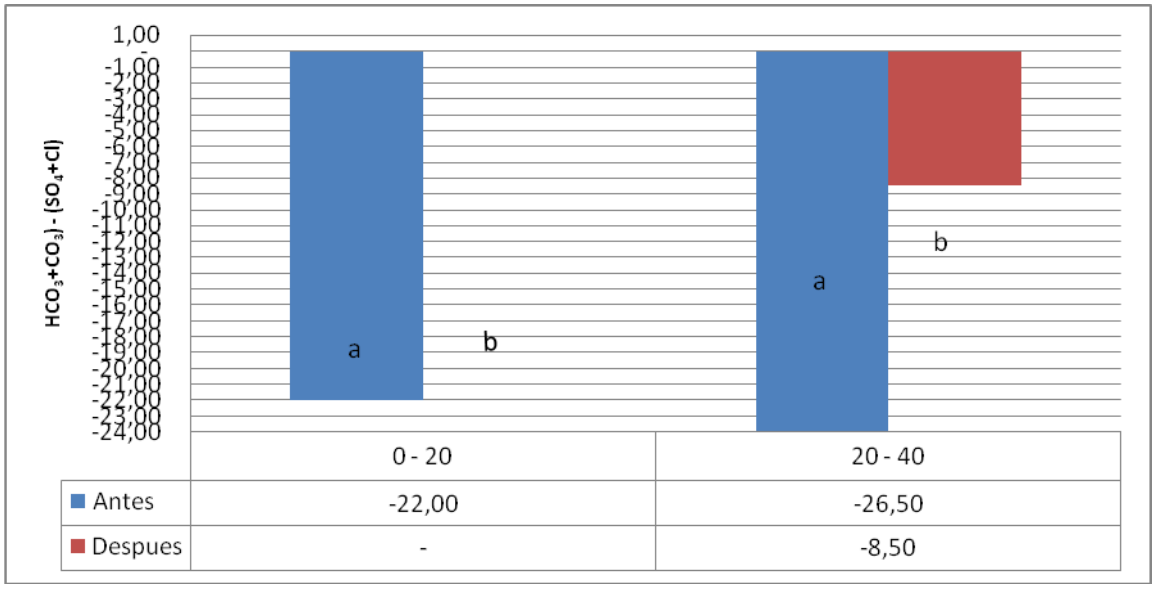


Figura 25 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de yeso en la relación de (Bicarbonatos + Carbonatos) – (Sulfatos+ cloruros)*

* Gráficos con diferente letra difieren significativamente (<0,05%)

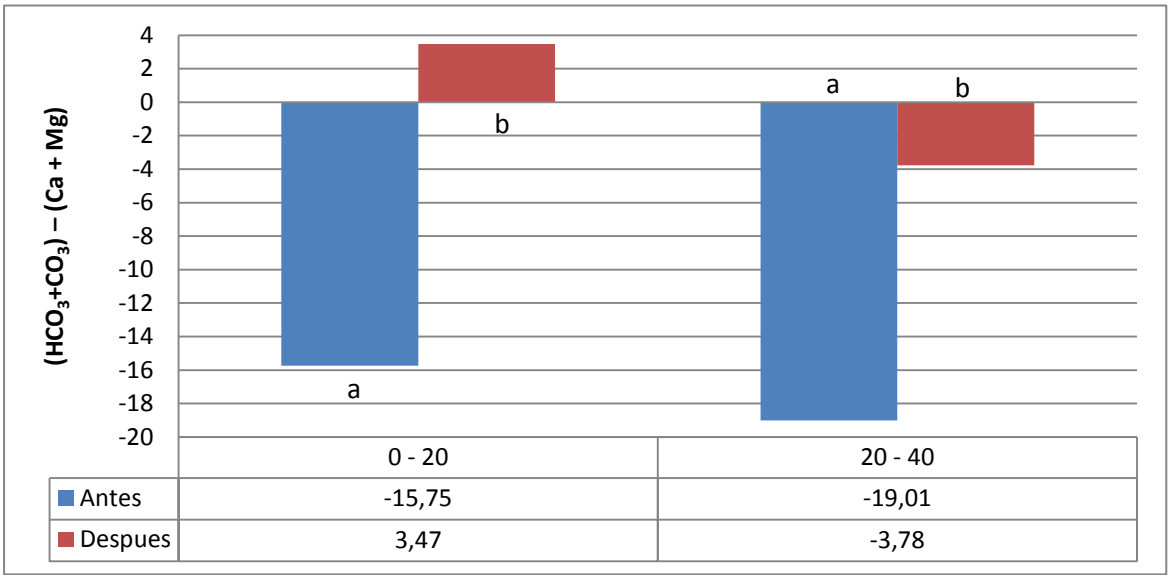


Figura 26 Efecto de la fracción de lavado con enmiendas de yeso en la relación de (bicarbonatos + carbonatos) – (Calcio + Magnesio)*

Como en el tratamiento anterior, los resultados químicos explicaron los efectos físicos del tratamiento, y el ascenso de bicarbonatos + carbonatos sobre sulfatos y cloruros y pH se explica igualmente por el lavado de sulfatos y cloruros con los cationes Ca y Mg (Figura 27).

La fracción de lavado mas yeso aplicada a través del riego ocasionó disminución de la conductividad eléctrica en la dos profundidades. Posiblemente la suspensión logra solubilizar el yeso hasta alcanzar la concentración deseada, transformándose en ese momento en una solución iónica, desapareciendo por completo la sal original (Sulfato de calcio), para pasar a ser ión Calcio (Ca+2) y anión Sulfato (SO_4 -2), estos iones permiten lavados en el drenaje de sales de sulfato de sodio y cloruros que disminuyen la C. E. (Figura 28)

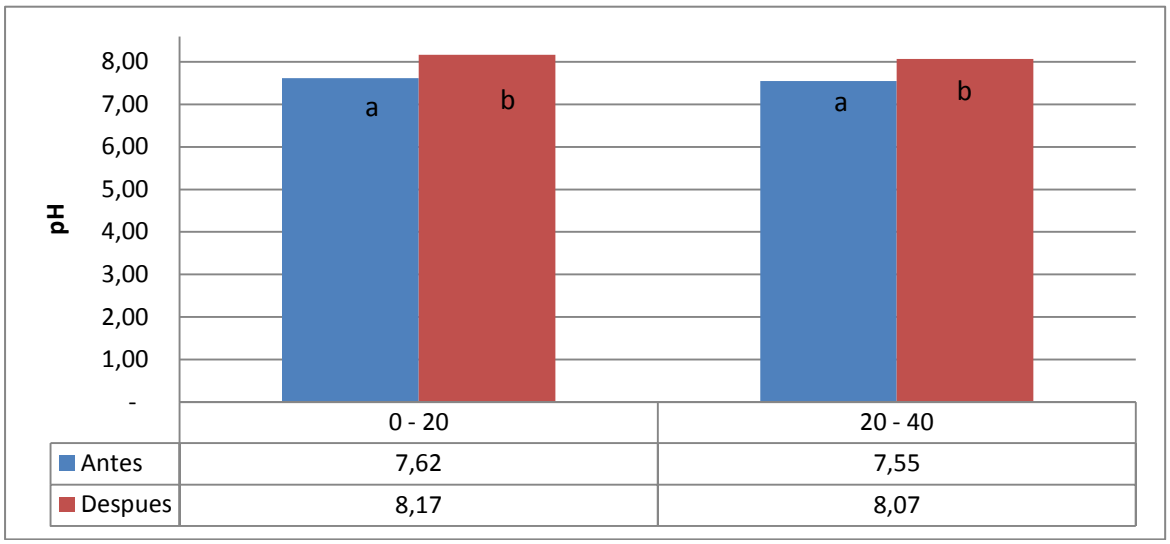


Figura 27 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de yeso en el pH del suelo*

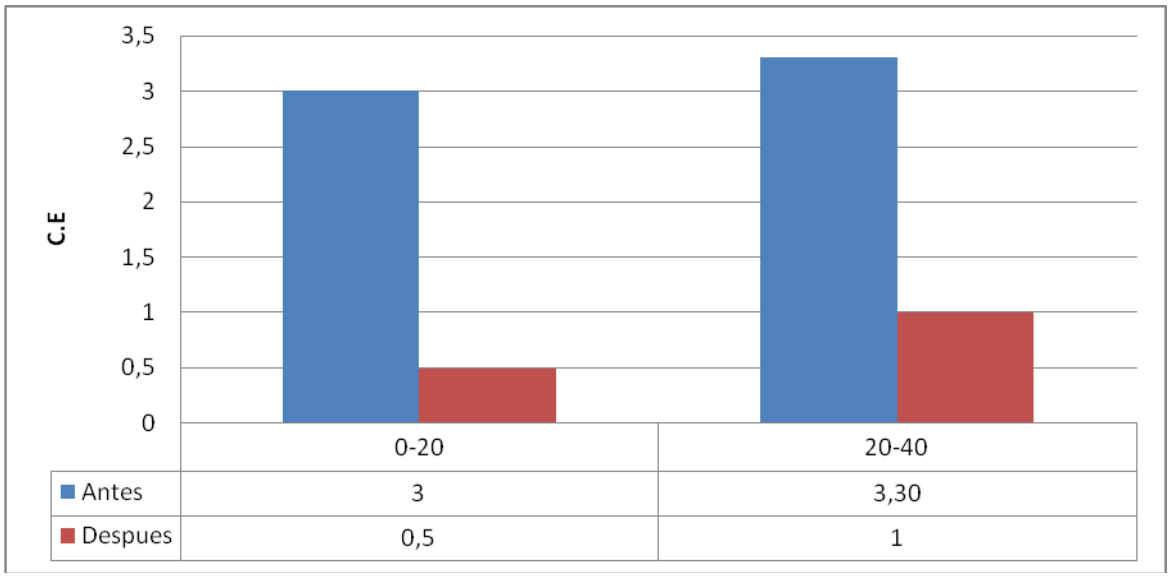


Figura 28 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de yeso en la C. E del suelo*

* Gráficos con diferente letra difieren significativamente (<0,05%)

Al igual que en el tratamiento anterior los bicarbonatos no presentaron incremento después del tratamiento aplicado en campo. (Tabla 15).

Tabla 16 contenido de bicarbonatos con agua de riego mas enmienda con yeso

HCO_{3ES}	0-20	20-40
ANTES	4.9 a	2.9 a
DESPUES	3.2 a	3 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas).

7.5 RESPUESTA DEL SUELO EN CAMPO A LA FRACCION DE LAVADO CON AGUA DE RIEGO MAS VINAZA.

7.5.1 Efectos de tipo físico.

Este tratamiento no presentó ninguna influencia significativa sobre la infiltración, de los primeros 20 cm de suelo (tabla 16).

Tabla 17 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de vinaza en la infiltración de los primeros 20 cm de suelo (I)

I	0-20
Antes	54 a
Después	39 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

En lo que tiene que ver con la porosidad de aireación mejoró mucho más en la segunda profundidad (20-40) sin embargo hubo diferencias significativas en las dos profundidades (figura 29) en el modulo de ruptura se presentó una disminución en la segunda profundidad que no bajo de los niveles críticos de 3 kg/cm^2, además no hubo una disminución significativa (Tabla 17). Al igual que en las aplicaciones con yeso la densidad aparente no mostró cambios pero se considera baja (1,3 g/cm^3). Este tratamiento fue el segundo en requerimiento de fracción de lavado con un 28%.

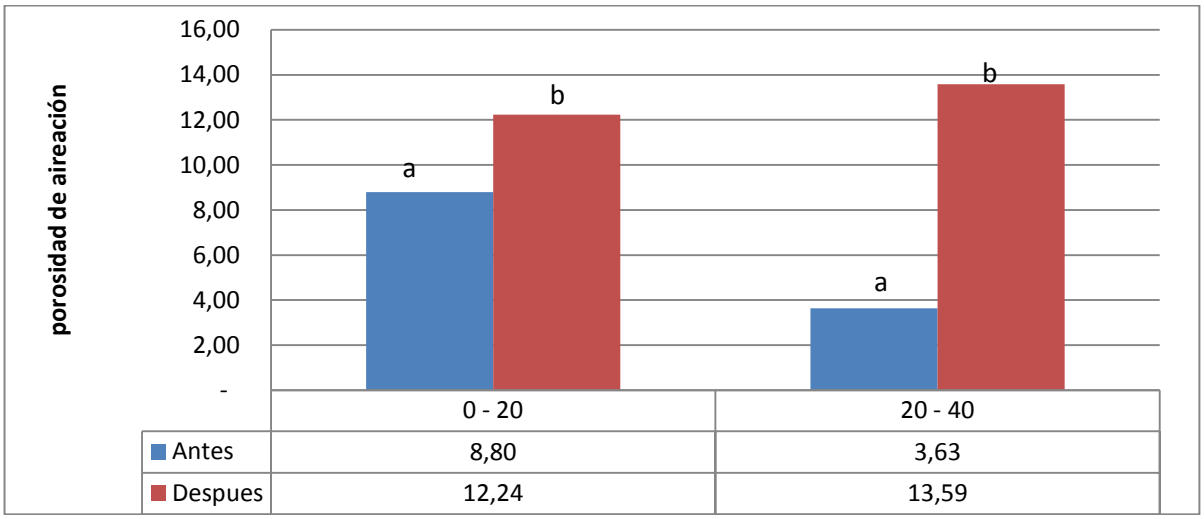


Figura 29 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de vinaza en la porosidad de aireación.*

Tabla 18 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de vinaza en el modulo de ruptura.

Modulo de ruptura	0-20	20-40
Antes	8,47 a	10,84 a
Después	7,28 a	9,65 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

7.5.2 Efectos de tipo químico

La química del suelo en este tratamiento mostro un incremento del pH significativo en la primera profundidad de 0 20 cm, (Figura 30); esto concuerda con el efecto que se presentó por las aplicaciones de vinaza en la recuperación de suelos sódicos para caña de azúcar en el Valle del cauca, donde hubo una tendencia al incremento en el pH del suelo, y disminución del potencial redox, (Gasca, 2011)

Como consecuencia de la condición de anaerobiosis, en la cual los compuestos orgánicos liberan electrones, el proceso de reducción inducido por la vinaza consume protones (iones H+), principal responsable en el aumento del pH. (Korndofer, 2009)

* Gráficos con diferente letra difieren significativamente (<0,05%)

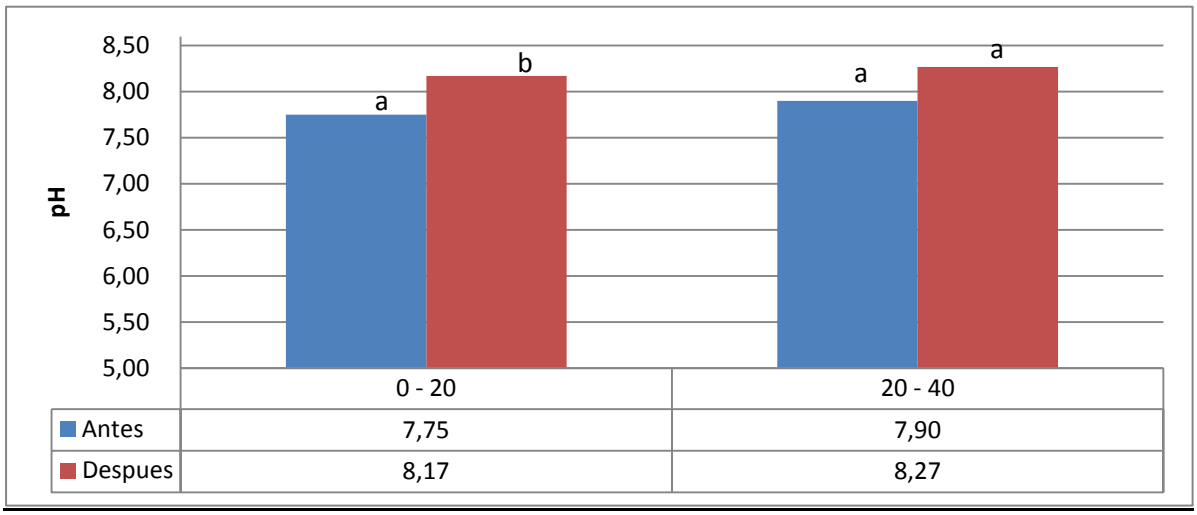


Figura 30 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de vinaza en el pH.*

La materia orgánica no presentó ninguna tendencia a incrementarse en las dos profundidades, (Tabla 18) esto se puede explicar debido a las bajas cantidades que se utilizaron en el tratamiento; esto concuerda con el estudio realizado por (Gasca, 2011); quien concluyo que no hubo cambios significativos con aplicaciones de vinaza diluida al suelo, en los contenidos de materia orgánica en todo el perfil y en cada una de las áreas evaluadas. La fluctuación de materia orgánica está estrechamente ligada a las variaciones de la biomasa y la actividad microbiana, ya que los organismos ejercen una acción rápida de descomposición de la materia orgánica en función de las condiciones ambientales del suelo.

El aumento de la actividad microbiana se debe a la existencia en la vinaza de fuentes orgánicas que proporcionan energía para los microorganismos y aumenta la velocidad de crecimiento de la masa microbiana. Para el crecimiento de la masa microbiana se requiere una fuente adicional de N, lo que puede llevar a una "inmovilización temporal" del N mineral del suelo o del aplicado. (Korndofer G. N., 2004)

* Gráficos con diferente letra difieren significativamente (<0,05%)

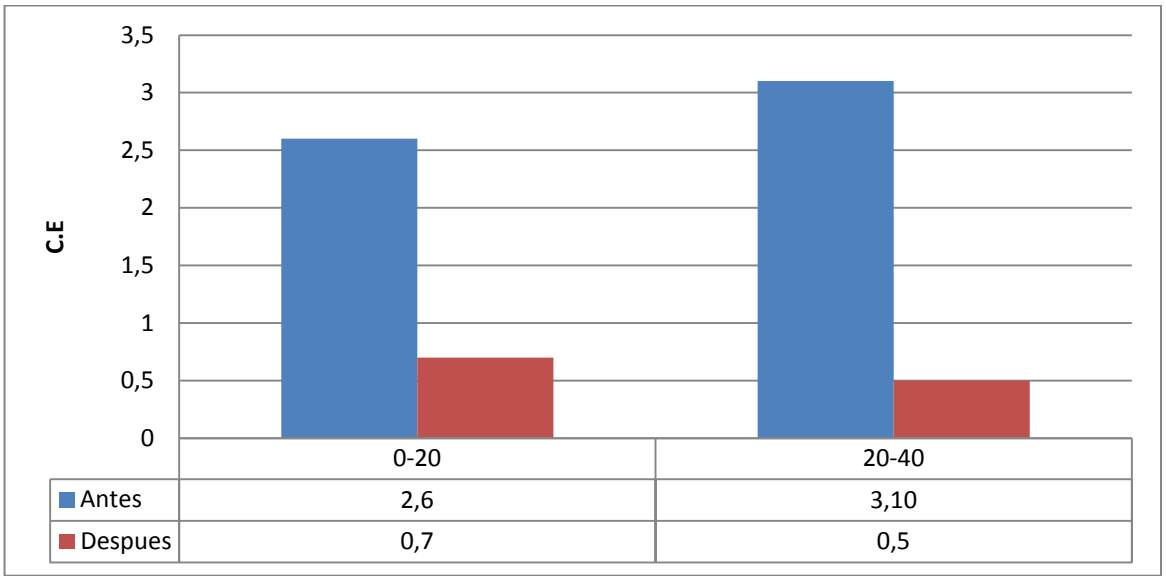


Figura 31 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de vinaza en la conductividad eléctrica.*

La aplicación de vinaza como en los otros dos tratamientos afectó los niveles de conductividad eléctrica (CE) de forma positiva reduciendo sus niveles en el suelo, por lo que se indica efectos nulos por salinidad.

Esto concuerda con García et al 1997 que encontró en un estudio realizado en el valle del cauca que aplicaciones de agua mas vinaza en el suelo logran que las concentraciones de sal en el suelo disminuyan gradualmente, aproximándose a la concentración de sal aplicada, esto indica una alta lixiviación inicial de sales solubles que disminuyen lentamente para alcanzar el equilibrio con la concentración de sal del agua aplicada. Por lo cual la concentración de sal en la columna de suelo depende de las concentraciones electrolíticas del agua aplicada y en la disolución y la hidrólisis de las sales sólidas e intercambiables durante la lixiviación.

La conductividad eléctrica del suelo se controló a través de la aplicación de las reacciones de lixiviación durante los seis riegos realizados con vinaza más la fracción de lavado.

* Gráficos con diferente letra difieren significativamente (<0,05%)

Tabla 19 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de vinaza en la materia orgánica.

Materia orgánica	**0-20**	**20-40**
Antes	2,22 a	0,98 a
Después	1,84 a	1,26 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

El contenido de K en el suelo no se incremento como se esperaba a partir de la alta concentración de K de la vinaza, solo se incremento en la profundidad de 20 – 40 cm sin embargo este no fue significativo. (Tabla 19) lo que sugiere que este elemento se lixivia fácilmente en el suelo.

Tabla 20 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de vinaza en el contenido de K en el suelo

Potasio	**0-20**	**20-40**
Antes	0,76 a	0,34 a
Después	0,74 a	0,98 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas)

En cuanto a la RAS fue el tratamiento que mostró diferencias significativas en su disminución en la profundidad de 20-40 cm, pasando de 6,67 a 1,54 con un nivel de significancia por debajo del 0,05, (Figura 31) el sodio como elemento tuvo una merma de 18,7 a 2,8(figura 32 Y 33). El aumento de la concentración electrolítica del agua causo una disminución en el tiempo necesario para conseguir una reducción de la concentración de sodio en la columna de suelo debido a una mayor tasa de reemplazo de Na en el complejo de cambio. (García et al 1997)

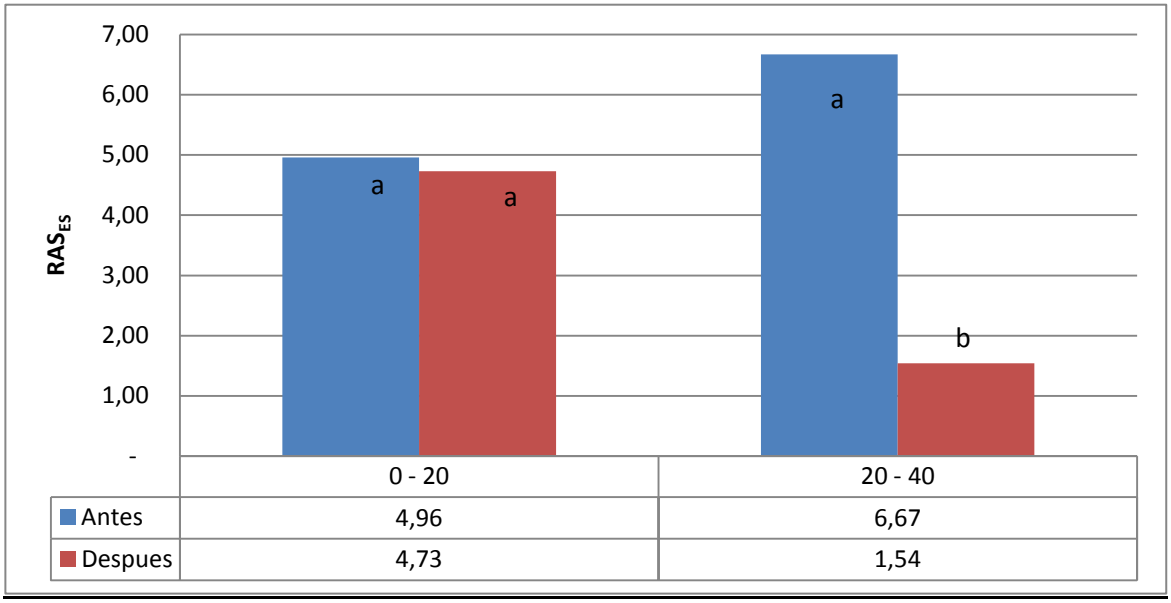


Figura 32 Efecto de la fracción de lavado con enmienda de vinaza en la RAS_{ES} del suelo*

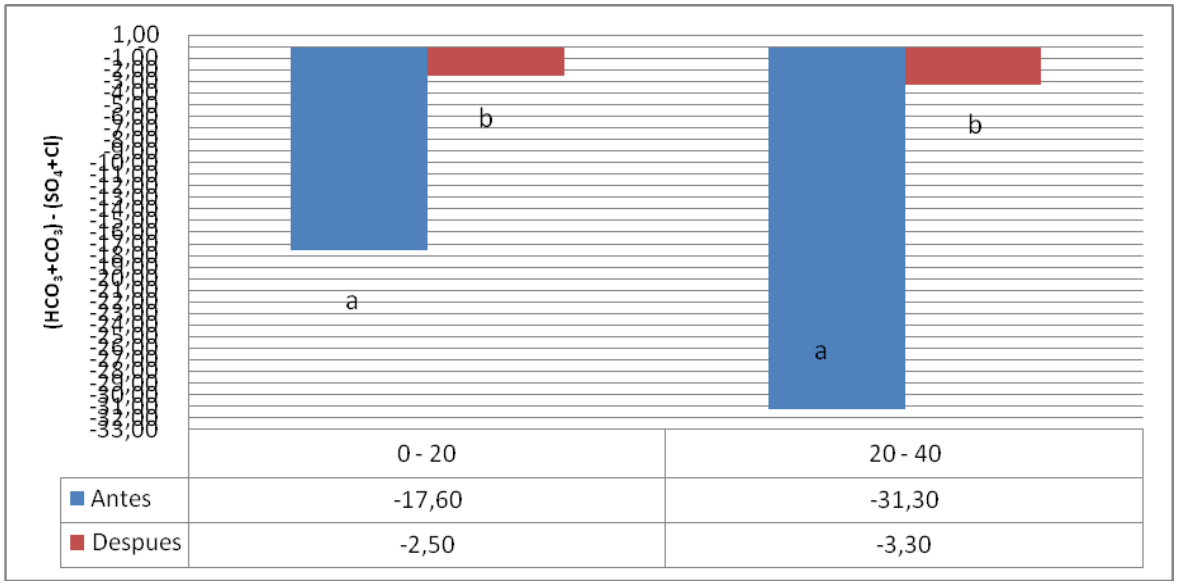


Figura 33 Efecto de la fracción de lavado con enmiendas de vinaza en la relación de (bicarbonatos + carbonatos) – (Sulfatos + cloruros)*

* Gráficos con diferente letra difieren significativamente (<0,05%)

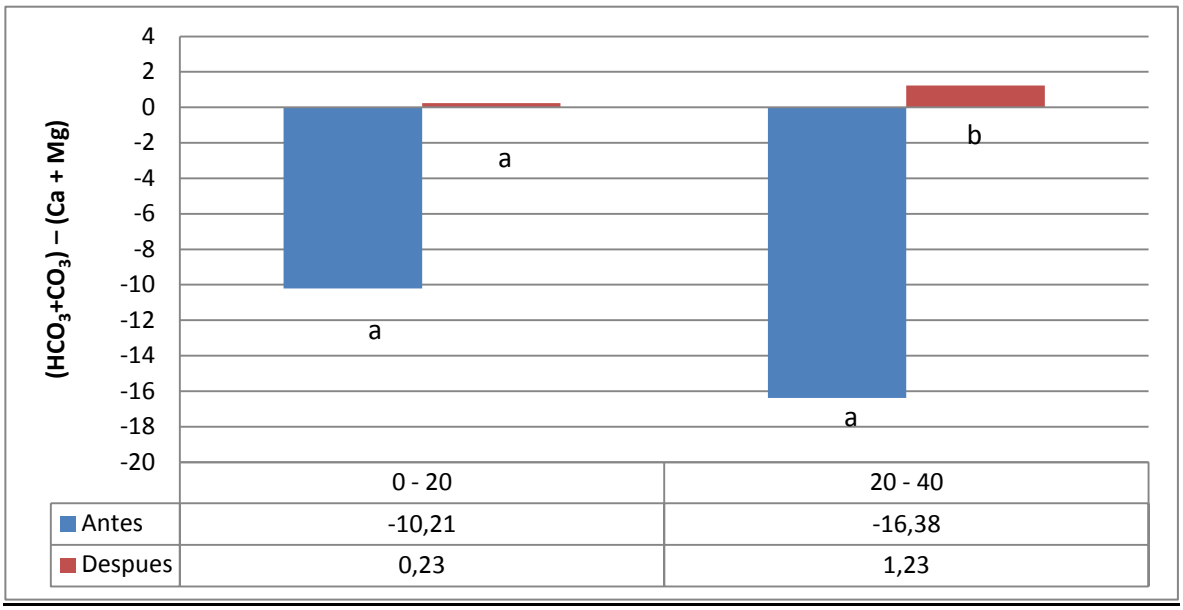


Figura 34 Efecto de la fracción de lavado con enmiendas de vinaza en la relación de (bicarbonatos + carbonatos) – (Calcio + Magnesio)*

Al igual que en los dos tratamientos anteriores los contenidos de bicarbonatos en la solución del suelo no se incrementaron

Tabla 21 Contenido de bicarbonatos con agua de riego mas enmienda con vinaza

HCO_{3ES}	**0-20**	**20-40**
ANTES	4.26 a	2.9 a
DESPUES	4.34 a	2.7 a

(Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas).

8 CONCLUSIONES

- El modelo de simulación SALSODIMAR se puede utilizar como practica de manejo de la calidad de agua de riego en el valle del cauca.

- Con el uso de la fracción de lavado en los tres tratamientos se logro una disminución altamente significativa en la conductividad eléctrica del suelo.

- La enmienda con vinaza y yeso disminuye la fracción de lavado a utilizar para un adecuado riego, sin embargo se pudo establecer que el tratamiento agua + yeso ($CaSO_4$) permite utilizar una menor fracción de lavado (16%).

- La fracción de lavado utilizada en el agua de riego sin enmienda mejoró significativamente solamente la porosidad de aireación del suelo.

- El agua de riego con la enmienda de yeso ($CaSO_4$) mostro mejoras significativas relacionadas con la permeabilidad y porosidad de aireación.

- El agua de riego con la enmienda vinaza mostró mejoras significativas en características químicas, principalmente en lo relacionado con la disminución de contenidos de sodio.

- Se pudo evidenciar que el pH en la solución del suelo tiende a incrementarse en todos los tratamientos, por lo cual es indispensable el seguimiento a esta característica para determinar si es una tendencia o un efecto temporal de los tratamientos.

- Los resultados obtenidos en relación a los efectos sobre el control de la sodificación deben considerarse como preliminares, ya que dichos efectos con el uso de diferentes mezclas del agua de riego con productos como yeso y vinaza no se alcanzarían sino después de varios años de tratamiento, por involucrar cambios en los cationes intercambiables (Pla, 1968). Los efectos sobre salinidad si se logran alcanzar en menos tiempo.

- En términos generales se puede concluir que las condiciones naturales que presenta el área estudiada tienen un alto riesgo de afectación por sales, debido a la fuerte evapotranspiración y baja precipitación de la zona, y a la deficiente calidad de agua de riego, sin embargo las enmiendas utilizadas en la mejora del agua de riego, permiten un manejo adecuado del recurso representado en mejoras significativas de algunas condiciones físicas y químicas del suelo.

BIBLIOGRAFIA

Ayres, R. &. (1985). Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper, 29.

Bajwa, M. S. (1992). Effect of continuos irrigation with sodic and saline sodic waters on soil properties and crop yields under cotton-wheat system in north-western India. En M. S. Bajwa, Water Manage (págs. 345-356). Ludhiana: Agric. .

Ben-Hur M, Keren. R, Agassi. M and Zhang. J, (1998) Compaction, Aging, and Raindrop-Impact Effects on Hydraulic Properties of Saline and Sodic Vertisols Vol. 62 No. 5, p. 1377-1383

Bybordi, M., 1989. Principal of Drainage Engineering and Improvement of Soils. Tehran University Publication, Tehran, Iran.

Carbonell, J., Amaya, A., Ortiz, B., Torres, J., Quintero, R., & Isaacs, C. (2001). Zonificacion agroecologica para el cultivo de caña de azucar en el Valle del Rio Cauca, tercera aproximación. Santiago de Cali: CENICAÑA.

Codazzi, (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. bogotá: Imprenta nacional de Colombia.

Dorronsoro, C. (5 de 10 de 2007). Contaminacion por sales solubles.

Farifteh, A. F. (10 de 02 de 2006). Science Direct. Recuperado el 10 de 12 de 2012, de Science Direct: www.sciencedirect.com

FAO. (1988). Salt-Affected Soils and their Management. Roma: FAO Publications.
García. (2003). Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos salinos. Palmira: Universidad nacional de Colombia.

Frenkel, H., J.O. Goertzen y J.D Rhoades. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J., 42:32-39.

Garcia, A. y. (1990). La relación RAS-PSI en suelos del Valle del Cauca. Suelos Ecuatoriales , 21-26.

Garcia, A. Marulanda E. (1997). Sodic soils reclamation using vinasses. Acta agronomica Vol 47 No 2 Universidad nacionan de colombia Sede Palmira abril-junio de 1997

Garcia, A. (2002). Diagnostico y recuperacion de suelos afectados por sales. Palmira, Colombia: Universidad Nacional.

Garcia, A. (2003). Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos salinos. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

Garcia, A. (2004). Estudios básicos sobre los suelos afectados por una alta saturación de magnesio intercambiable en el Valle del río Cauca. Palmira: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

Gasca C. (2010). Cambio en el PSI y la RAS de un suelo y su influencia en la actividad biológica y la biomasa microbiana Pag (66) Palmira, Colombia: Tesis de maestria Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

Ghassemi, F. J. (1995). Salinisation of land and water. En Ghassemi, Human causes, extent, management and case studies (pág. 555). Wallingford,: UK, CAB International.

Hillel, D., 1980. Fundamentals of Soil Physics, Academic Press, New York.

Hasan, R. Pazira, E. Tajik F. (04-2000) Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates Science direct. Recuperado el 11 de 04 de 2013, de Science Direct: www.sciencedirect.com

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) 2003. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el valle geográfico del rio cauca

Jamuna. P. (1994). Ground water quality assessment with reference to sugarcane cultivation in Chelluru and Pithapuram factory areas of Andhra Pradesh. En S. K. P. Jamuna., Ground water quality assessment with reference to sugarcane cultivation in Chelluru and Pithapuram factory areas of Andhra Pradesh (págs. 105 - 109). Blangadesh: Coop. Sugar.

Johnston, M. A. (1977). Reclamation of saline sodic sodic soils in the Nkwalini valley. En M. A. Johnston, Proceedings of the 51st Annual Congress of south african sugartechnologists (págs. 42-46). Nkwalini: Associations.

Kay. B. D, Dexter. A. J,(1992) The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown earth. Aust. J. Soil Res., 30 , pp. 297–310

Keren R. (2005) Salt affected soils, reclamation The Volcani Center, Bet Dagan, Israel, 2005, Pages 454–461

Korndofer; Nolla A; Waldo A. Lara C. 2004. Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible. Palmira, Colombia, 14 y 15 de mayo de 2004, Corpoica, 2004. 233 p.

Korndofer, G. 2009. Conferencia: impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo. Memorias Seminario Internacional de Fertilización de la Caña de Azúcar pag.115. Cali, Colombia

Madero, M. E. (2004). Causas reguladoras de la presencia y distribución de suelos con cantidades inusualmente altas de magnecio en el Valle del Cauca. Tesis doctoral. Palmira: Universidad nacional.

Munns R.(2002) Comparative physiology of salt and water stress Plant, Cell and Environment, CSIRO Plant Industry, GPO Box 1600, Canberra ACT 2601, Australia (2002) 25, 239–250

O. P Choudhary, A. J. (10 de 05 de 2004). Science direct. Recuperado el 18 de 11 de 2012, de Science direct: www.sciencedirect.com

O. P. Choudhary, B. G. (24 de 05 de 2006). Science Direct. Recuperado el 22 de 11 de 2011, de Science Direct: www.sciencedirect.com

O.P. Choudharya,∗ , B.S. Ghumana, Bijay-Singha, N. Thuyb, R.J. Bureshb (2011) Effects of long-term use of sodic water irrigation, amendments and crop residues on soil properties and crop yields in rice–wheat cropping system in a calcareous soil p 362 – 372 Department of Soils, Punjab Agricultural University, Ludhiana 141 004, India

Páez (2011) Los indicadores ambientales del agua subterranea en el Valle del Cauca Colombia, Grupo de Recursos Hídricos, Corporación Autónoma Regional CVC
http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/agua_subterranea/monitoreo/ind_amb_valle_cauca.pdf

Páez (2011) Evaluacion de la vulnerabilidad a la contaminacion de las aguas subterraneas en el Valle del Cauca Colombia, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC. http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/agua_subterranea/calidad_de_agua/VULNERABILIDAD.pdf

Pinzón, A. 2003. Análisis e interpretación de propiedades fisicas determinadas en el laboratorio. pp. 63-71. En: Silva, F. (ed.). Manejo integral de la fertilidad del suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Editora Guadalupe, Bogotá. 224 p.

Pla, I. 1968. Evaluation of the quality of irrigation waters with high bicarbonate content in relation to the drainage conditions. Trans. 9th Int. Cong. Soil Sci. Soc. I: 357-370. Adelaide (Australia)

Pla, I. 1968. Evaluación Cuantitativa de los Efectos de los Bicarbonatos en el Agua de Riego sobre las Propiedades Químicas y Físicas de los Suelos y Factores que Influyen sobre la Magnitud de Tales Efectos. Rev. Fac. Agron. Alcance Nº 12. Maracay (Venezuela). 88p

Pla, I.y F. Dappo.1977.Field testing of a new system for qualifying irrigation waters. En “Proceedings of the International Conference on Managing Saline Waters for Irrigation” .376-387. Lubbock.Texas (USA)

Pla, I. 1979. Calidad y uso de agua para riego. Suelos Ecuatoriales. X(2):26-40. SCCS. Bogotá (Colombia)

Pla, I. 1983.Sistema integrado agua-cultivo-suelo-manejo para evaluar la calidad de agua de riego. En "Isotopes and Radiation Techniques en Soil Physics and Irrigation Studies". 191-206.IAEA.Viena (Austria) (ISBN 92-0-010083-x)

Pla, I. 1985. Origen, distribución y diagnóstico de suelos afectados por sales en Venezuela. Rev. Fac.Agron.XIV(1-2):125-150.Maracay. (Venezuela)

Pla,I. 1989. Riego y desarrollo de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. Soil Technology.1(1):13-35.Catena-Verlag.Gremlingen. (Alemania)

Pla, I. 1997.SALSODIMAR: Un modelo práctico para la predicción y el control de la salinidad y sodicidad en tierras de regadío. En "Comunicaciones XV Congreso Nacional de Riegos". 249-268. AERD-DARP-GC. Barcelona (España)

Pla,I. 1997. Evaluación de los procesos de salinización de suelos bajo riego. Edafología. Revista de la SECS: Edición especial 50 Aniversario. 241-267.SECS. Granada (España)

Rahi T.S. and S. K. Datta (2000) Performance of Chrysanthemum (Chrysanthemum morifolium) Cut flower Varieties in Saline Water Irrigated Soil. Indian Journal of Agricultural Sciences, 79 (7): 469-471.

Ramirez, J. A. (2011). Uso practico del modelo PLA para evaluarel riesgo de salinización en tierras bajo riego en la parte plana del Valle del Cauca (Colombia). Evaluacion general de la salinidad y modelacion de los riesgos de salinizacion en suelos del Valle del Cauca (pág. 105). Palmira, Colombia: Tesis de maestria Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

Rasouli, F. Pouya, A, K. Karimian, N. (2013) Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum www.sciencedirect.com

Rhoades, J.D. F.T. Bingham, J. Letey, G.J. Hoffman, A.R. Dedrick, P.J. Pinter, J.A. Replogle(1989) Use of saline drainage water for irrigation: Imperial Valley study Volume 16, Issues 1–2, August 1989, Pages 25–36

Shainberg, I. (1991). Science direct. Recuperado el 9 de 10 de 2012, de Science direct: www.sciencedirect.com

Sposito, G. (1983). Science direct. Recuperado el 10 de 07 de 2012, de Science direct: www.sciencedirect.com

Sumner M.E. Sodic soils — new perspectives Australian Journal of Soil Research, 31 (6) (1993), pp. 683–750

Villafañe, R. (1995). Detección de suelos afectados por sales en áreas bajo riego de los estados portuguesa, Barinas y Lara. En R. VILLAFAÑE, Agronomia Tropical (págs. 445 - 456). venezuela.

Zapata, R. (2010). Suelos afectados por sales. En R. ZAPATA, Suelos afectados por sales (pág. Capitulo 13). medellin: Libro sin publicar.

Zerega, L. H. (1995). Effect of there amendments on saline sodic soil used to grow nine sugarcane cultivar. Caña de azucar , 51 - 64.

Zia M.H , A. Ghafoor, S.Th.M. Boers Comparison of sulfurous acid generator and alternate amendments to improve the quality of saline–sodic water for sustainable rice yields Paddy Water Environment, 4 (2006), pp. 153–162

SZABOLCS. (1995). Proceeding of the international wokshop on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils. En SZABOLCS, Proceeding of the international wokshop on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils. Manila, Filipinas: G. o. soils.

ANEXOS

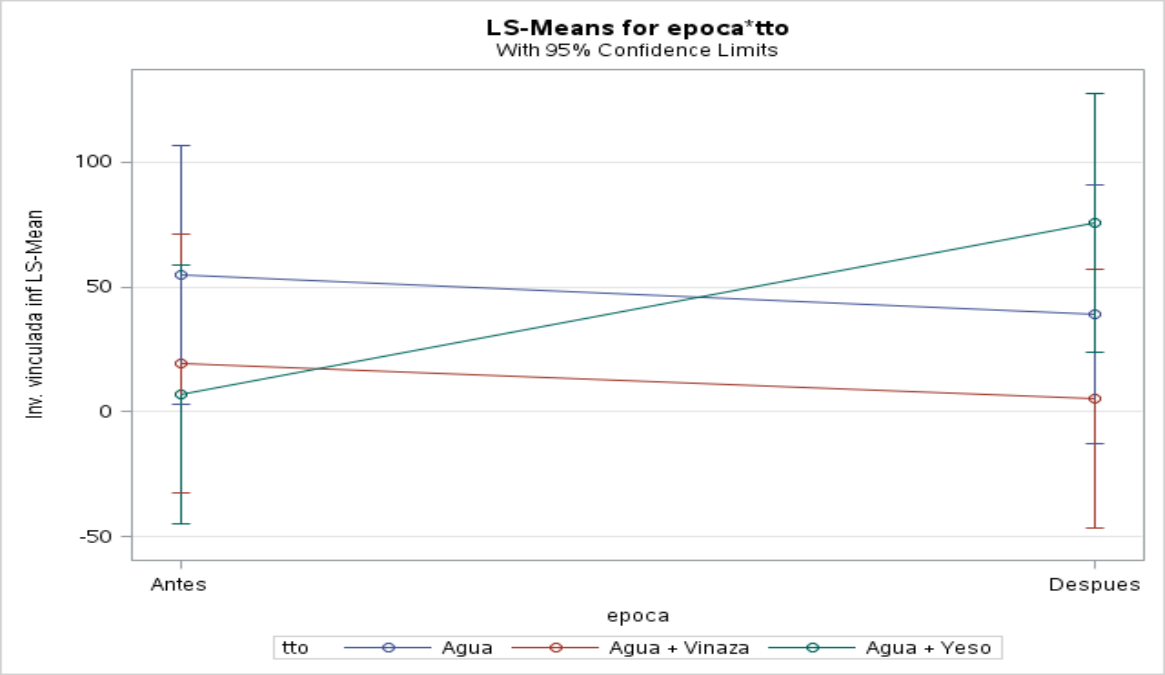
Anexo 1 Base de datos condiciones químicas finales de los puntos evaluados en la hacienda La Tertulia.

Punto	Prof. cm	pH V:V 1:1	pH ES	CE (ES) dS/m	MO %	CAT meq/litro Ca	Mg	K	Na	RAS	ANIONES meq/litro SO_4=	CO_3=	HCO_3=	Cl-
	0-20	7,7	8,2	0,26	3,73	0,4	0,5	0,3	0,85	1,29	1,09	0	1,18	0,45
1	20-40	7,7	8,1	0,45	2,74	0,6	1,35	0,1	2,07	2,10	2,18	0	3,14	0,34
	0-20	8,0	8,3	0,42	2,85	0,57	1,62	0,2	2,1	2,01	1,27	0	4,54	0,51
2	20-40	8,3	8,2	0,50	1,76	0,59	1,55	0,3	2,8	2,71	1,74	0	2,74	0,39
	0-20	8,2	8,2	0,76	1,19	0,62	2,02	0,1	4,63	4,03	3,24	0	4,25	1,3
3	20-40	8,6	8	0,50	0,36	0,63	3	0	0,57	0,42	1,85	0	3,06	1,48
	0-20	7,7	8,3	0,73	2,38	0,69	2,78	0,3	3,8	2,88	3,11	0	3,59	0,34
4	20-40	7,8	8,3	0,70	2,07	0,66	2,07	0,2	4,2	3,59	3,56	0	3,4	0,28
	0-20	7,8	8	1,22	3,00	3,08	3,52	0,1	3,13	1,72	2,66	0	2,93	8,2
5	20-40	7,7	7,9	1,28	1,45	3,05	4,5	0	3,7	1,90	2,26	0	4,25	7,7
	0-20	8,0	8,2	0,73	2,48	0,52	1	0,1	4,08	4,68	2,85	0	2,87	2,33
6	20-40	7,7	7,9	2,35	1,35	10,5	13,2	0,2	0,9	0,26	7	0	3,64	9,64
	0-20	8,2	8,3	0,56	2,70	0,6	1,25	0,1	3,4	3,54	2,84	0	3,91	1,02
7	20-40	8,3	8,2	0,64	0,78	0,61	1,5	0,1	5,28	5,14	2,3	0	1,7	1,47
	0-20	8,3	8,4	1,10	1,60	0,63	1,92	0,3	8,28	7,33	3,66	1,7	5,1	0,62
8	20-40	8,7	8,4	0,12	0,67	0,49	0,13	0,3	0,47	0,84	0,75	0,4	0,25	0,5
	0-20	9,4	8,5	0,59	0,88	0,29	0,32	0,1	5,9	10,68	2,11	1,13	1,61	0,56
9	20-40	9,8	8,7	0,72	0,16	0,32	0,55	0,1	7,35	11,14	2,45	0,95	2,84	0,68
	0-20	8,8	8,5	0,94	1,76	0,47	0,97	0,2	6,95	8,19	3,89	2,08	4,91	0,45
10	20-40	8,6	8,5	0,92	2,12	0,55	1,12	0,2	7,45	8,15	3,84	1,32	3,69	0,62
	0-20	7,8	8,2	1,20	4,76	3,88	3,5	1,4	4,25	2,21	5,76	0	3,69	0,34
11	20-40	8,0	8,3	0,54	3,26	0,58	1,92	1	1,18	1,06	1,6	0	4,73	0,56
	0-20	8,4	8,2	1,82	1,60	3,75	5,35	0,7	12,5	5,86	5,2	0	5,1	4,74
12	20-40	8,1	8,2	1,47	2,59	4,62	4,83	2,1	6,53	3,00	4,39	0	3,31	5,53

Anexo 2 Tabla de resultados estadísticos de Infiltración, profundidad 0-20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados

Epoca	Tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Alfa	Inferior	Superior	Media	Media del error estándar	Media inferior	Media superior
Antes	Agua	54.75	24.37	15	2.25	0.0402	0.05	2.7894	106.72	54.7523	24.3791	2.7894	106.72
Antes	Agua + Vinaza	19.4333	24.3791	15	0.80	0.4378	0.05	-32.5295	71.3962	19.4333	24.3791	-32.5295	71.3962
Antes	Agua + Yeso	6.9058	24.3791	15	0.28	0.7808	0.05	-45.0570	58.8687	6.9058	24.3791	-45.0570	58.8687
Despues	Agua	38.9947	24.3791	15	1.60	0.1306	0.05	-12.9682	90.9575	38.9947	24.3791	-12.9682	90.9575
Despues	Agua + Vinaza	5.3113	24.3791	15	0.22	0.8305	0.05	-46.6515	57.2742	5.3113	24.3791	-46.6515	57.2742
Despues	Agua + Yeso	75.6322	24.3791	15	3.10	0.0073	0.05	23.6693	127.60	75.6322	24.3791	23.6693	127.60

Anexo 3 Grafico de resultados estadísticos de Infiltración, profundidad 0-20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



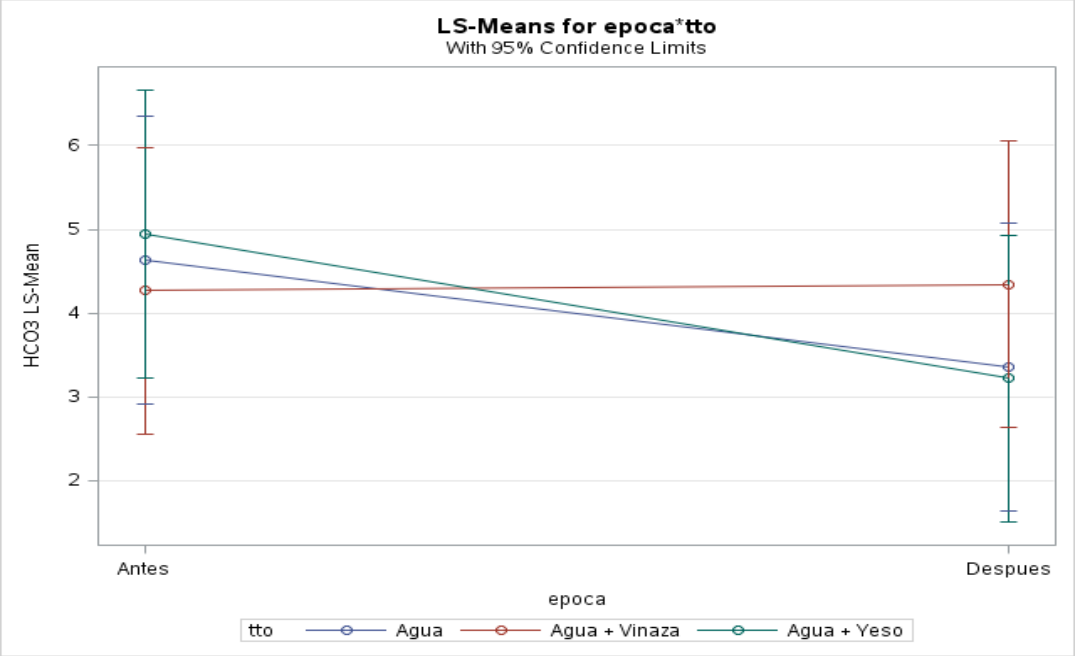
Anexo 4 Tabla de resultados estadísticos de Infiltración, profundidad 0-20cm. Diferencias significativas medias de mínimos cuadrados Época * tratamiento.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados										
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	35.3189	34.4773	15	1.02	0.3219	0.05	-38.1676	108.81
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	47.8464	34.4773	15	1.39	0.1855	0.05	-25.6401	121.33
Antes	**Agua**	**Después**	**Agua**	15.7576	25.2479	15	0.62	0.5419	0.05	-38.0571	69.5723
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	49.4410	34.4773	15	1.43	0.1721	0.05	-24.0456	122.93
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-20.8799	34.4773	15	-0.61	0.5538	0.05	-94.3665	52.6067
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	12.5275	34.4773	15	0.36	0.7214	0.05	-60.9591	86.0141
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-19.5613	34.4773	15	-0.57	0.5789	0.05	-93.0479	53.9252
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	14.1220	25.2479	15	0.56	0.5842	0.05	-39.6927	67.9367
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-56.1988	34.4773	15	-1.63	0.1239	0.05	-129.69	17.2877
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-32.0888	34.4773	15	-0.93	0.3667	0.05	-105.58	41.3977
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	1.5945	34.4773	15	0.05	0.9637	0.05	-71.8921	75.0811
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-68.7263	25.2479	15	-2.72	0.0157	0.05	-122.54	-14.9116
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	33.6833	34.4773	15	0.98	0.3441	0.05	-39.8032	107.17
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-36.6375	34.4773	15	-1.06	0.3047	0.05	-110.12	36.8491
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-70.3208	34.4773	15	-2.04	0.0594	0.05	-143.81	3.1657

Anexo 5 Tabla de resultados estadísticos de HCO3, profundidad 0-20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	4.6275	0.8055	15	5.75	<.0001	0.05	2.9107	6.3443
Antes	**Agua + Vinaza**	4.2650	0.8055	15	5.30	<.0001	0.05	2.5482	5.9818
Antes	**Agua + Yeso**	4.9483	0.8055	15	6.14	<.0001	0.05	3.2315	6.6650
Despues	**Agua**	3.3575	0.8055	15	4.17	0.0008	0.05	1.6407	5.0743
Despues	**Agua + Vinaza**	4.3450	0.8055	15	5.39	<.0001	0.05	2.6282	6.0618
Despues	**Agua + Yeso**	3.2175	0.8055	15	3.99	0.0012	0.05	1.5007	4.9343

Anexo 6 Grafico de resultados estadísticos de HCO3, profundidad 0-20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



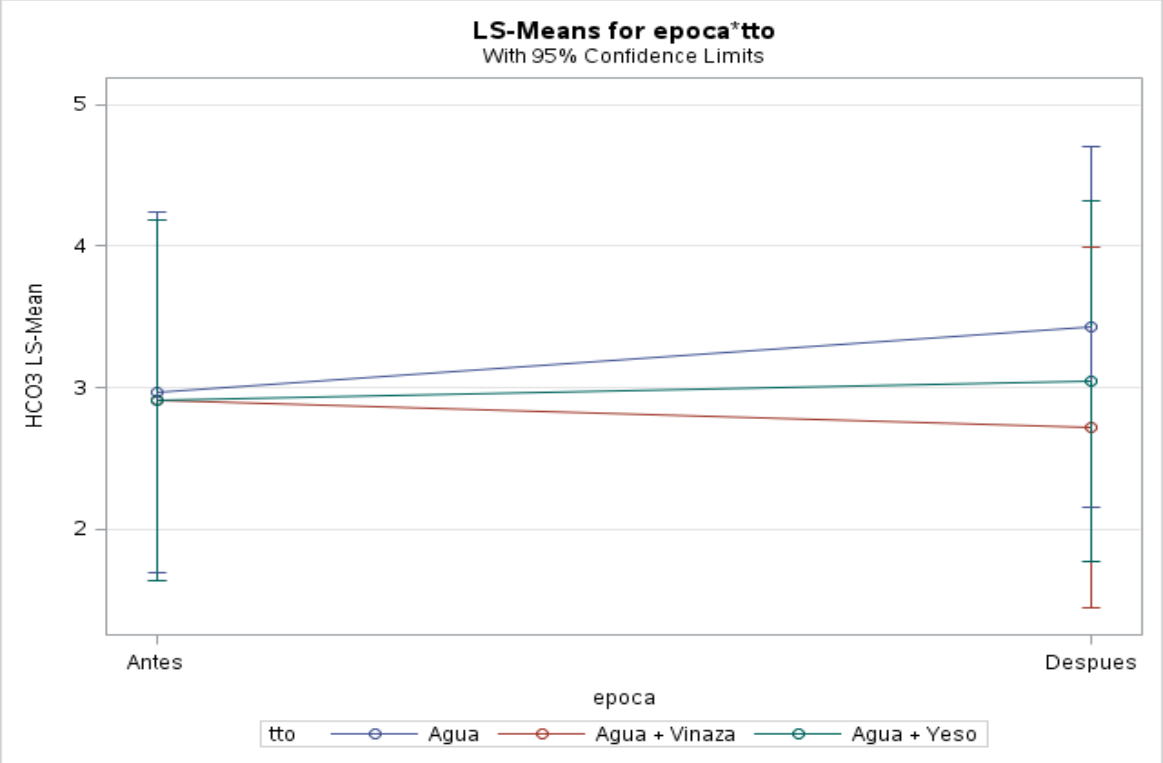
Anexo 7 Tabla de resultados estadísticos de HCO3, profundidad 0-20cm. Diferencias significativas medias de mínimos cuadrados Época * tratamiento.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados											
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	0.3625	1.1391	15	0.32	0.7547	0.05	-2.0654	2.7904
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	-0.3207	1.1391	15	-0.28	0.7821	0.05	-2.7487	2.1072
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	1.2700	1.0678	15	1.19	0.2528	0.05	-1.0060	3.5460
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.2825	1.1391	15	0.25	0.8075	0.05	-2.1454	2.7104
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	1.4100	1.1391	15	1.24	0.2348	0.05	-1.0179	3.8379
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	-0.6833	1.1391	15	-0.60	0.5576	0.05	-3.1112	1.7447
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	0.9075	1.1391	15	0.80	0.4381	0.05	-1.5204	3.3354
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.08000	1.0678	15	-0.07	0.9413	0.05	-2.3560	2.1960
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	1.0475	1.1391	15	0.92	0.3723	0.05	-1.3804	3.4754
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	1.5908	1.1391	15	1.40	0.1829	0.05	-0.8372	4.0187
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.6032	1.1391	15	0.53	0.6041	0.05	-1.8247	3.0312
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	1.7308	1.0678	15	1.62	0.1259	0.05	-0.5453	4.0068
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.9875	1.1391	15	-0.87	0.3996	0.05	-3.4154	1.4404
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.1400	1.1391	15	0.12	0.9038	0.05	-2.2879	2.5679
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	1.1275	1.1391	15	0.99	0.3380	0.05	-1.3004	3.5554

Anexo 8 Tabla de resultados estadísticos de HCO3, profundidad 20-40cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	2.9625	0.5986	15	4.95	0.0002	0.05	1.6865	4.2385
Antes	**Agua + Vinaza**	2.9100	0.5986	15	4.86	0.0002	0.05	1.6340	4.1860
Antes	**Agua + Yeso**	2.9100	0.5986	15	4.86	0.0002	0.05	1.6340	4.1860
Despues	**Agua**	3.4275	0.5986	15	5.73	<.0001	0.05	2.1515	4.7035
Despues	**Agua + Vinaza**	2.7175	0.5986	15	4.54	0.0004	0.05	1.4415	3.9935
Despues	**Agua + Yeso**	3.0425	0.5986	15	5.08	0.0001	0.05	1.7665	4.3185

Anexo 9 Grafico de resultados estadísticos de HCO3, profundidad 20-40cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



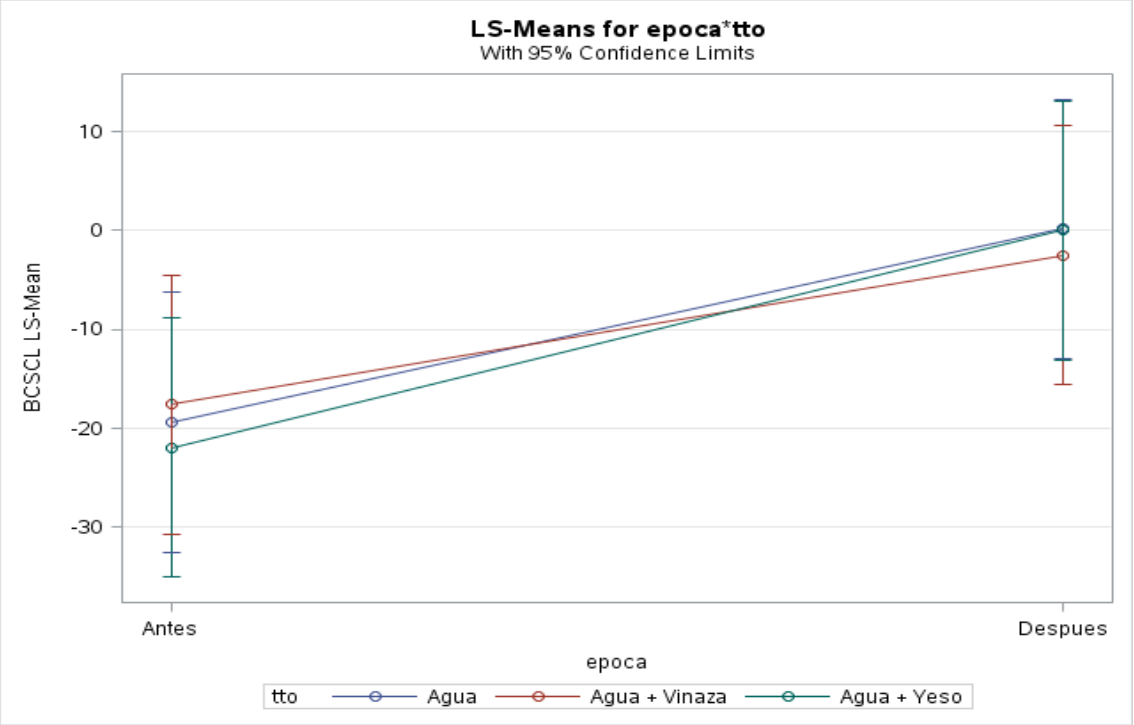
Anexo 10 Tabla de resultados estadísticos de HCO3, profundidad 20-40cm. Diferencias significativas medias de mínimos cuadrados Época * tratamiento.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados											
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	0.05250	0.7970	15	0.07	0.9484	0.05	-1.6463	1.7513
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	0.05250	0.7970	15	0.07	0.9484	0.05	-1.6463	1.7513
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	-0.4650	0.8093	15	-0.57	0.5741	0.05	-2.1901	1.2601
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.2450	0.7970	15	0.31	0.7628	0.05	-1.4538	1.9438
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.08000	0.7970	15	-0.10	0.9214	0.05	-1.7788	1.6188
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	3.89E-16	0.7970	15	0.00	1.0000	0.05	-1.6988	1.6988
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-0.5175	0.7970	15	-0.65	0.5260	0.05	-2.2163	1.1813
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.1925	0.8093	15	0.24	0.8152	0.05	-1.5326	1.9176
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.1325	0.7970	15	-0.17	0.8702	0.05	-1.8313	1.5663
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-0.5175	0.7970	15	-0.65	0.5260	0.05	-2.2163	1.1813
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.1925	0.7970	15	0.24	0.8124	0.05	-1.5063	1.8913
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.1325	0.8093	15	-0.16	0.8721	0.05	-1.8576	1.5926
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.7100	0.7970	15	0.89	0.3871	0.05	-0.9888	2.4088
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.3850	0.7970	15	0.48	0.6360	0.05	-1.3138	2.0838
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.3250	0.7970	15	-0.41	0.6892	0.05	-2.0238	1.3738

Anexo 11 Tabla de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (SO4+Cl), profundidad 0 -20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	-19.3800	6.1465	15	-3.15	0.0066	0.05	-32.4810	-6.2790
Antes	**Agua + Vinaza**	-17.5950	6.1465	15	-2.86	0.0119	0.05	-30.6960	-4.4940
Antes	**Agua + Yeso**	-21.9243	6.1465	15	-3.57	0.0028	0.05	-35.0253	-8.8232
Despues	**Agua**	0.1400	6.1465	15	0.02	0.9821	0.05	-12.9610	13.2410
Despues	**Agua + Vinaza**	-2.4850	6.1465	15	-0.40	0.6917	0.05	-15.5860	10.6160
Despues	**Agua + Yeso**	0.007500	6.1465	15	0.00	0.9990	0.05	-13.0935	13.1085

Anexo 12 Grafico de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (SO4+Cl), profundidad 0-20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



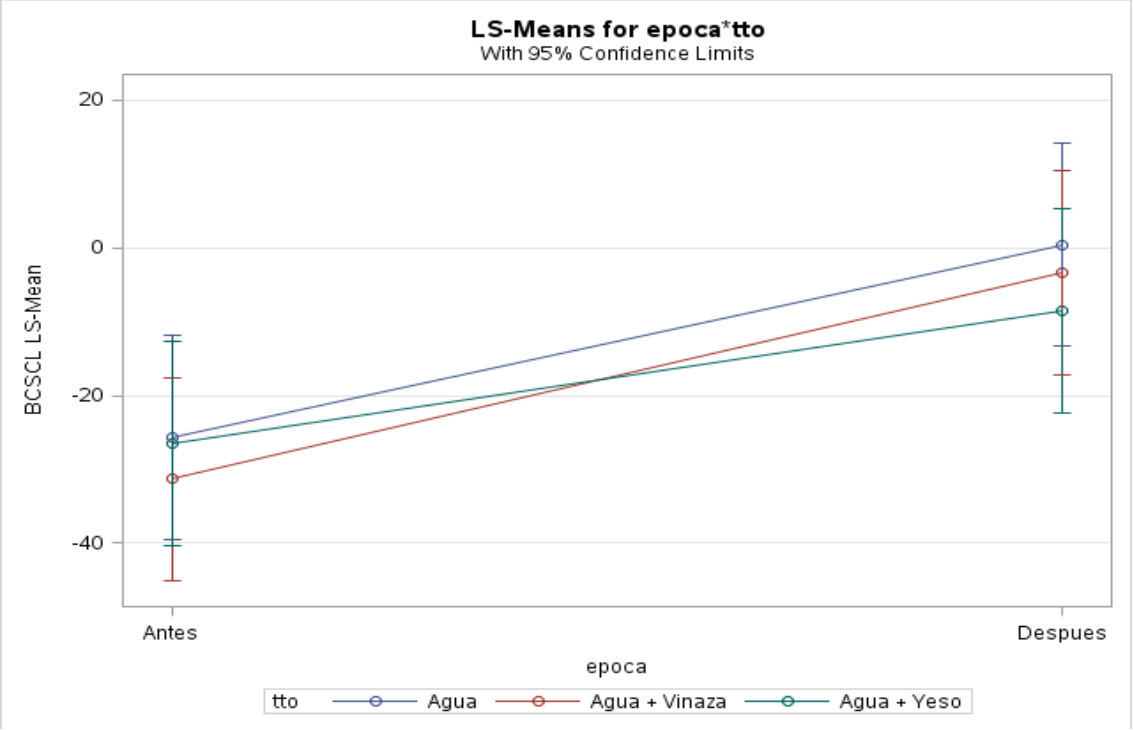
Anexo 13 Tabla de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (SO4+Cl), profundidad 0-20cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados										
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	-1.7850	8.3223	15	-0.21	0.8331	0.05	-19.5236	15.9536
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	2.5442	8.3223	15	0.31	0.7640	0.05	-15.1943	20.2828
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	-19.5200	7.7890	15	-2.51	0.0242	0.05	-36.1219	-2.9181
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-16.8950	8.3223	15	-2.03	0.0605	0.05	-34.6336	0.8436
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-19.3875	8.3223	15	-2.33	0.0342	0.05	-37.1261	-1.6489
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	4.3292	8.3223	15	0.52	0.6105	0.05	-13.4093	22.0678
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-17.7350	8.3223	15	-2.13	0.0500	0.05	-35.4736	0.003597
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-15.1100	7.7890	15	-1.94	0.0714	0.05	-31.7119	1.4919
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-17.6025	8.3223	15	-2.12	0.0516	0.05	-35.3411	0.1361
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-22.0643	8.3223	15	-2.65	0.0181	0.05	-39.8028	-4.3257
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-19.4393	8.3223	15	-2.34	0.0338	0.05	-37.1778	-1.7007
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-21.9318	7.7890	15	-2.82	0.0130	0.05	-38.5336	-5.3299
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	2.6250	8.3223	15	0.32	0.7568	0.05	-15.1136	20.3636
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.1325	8.3223	15	0.02	0.9875	0.05	-17.6061	17.8711
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-2.4925	8.3223	15	-0.30	0.7687	0.05	-20.2311	15.2461

Anexo 14 Tabla de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (SO4+Cl), profundidad 20-40cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	-25.6825	6.4735	15	-3.97	0.0012	0.05	-39.4804	-11.8846
Antes	**Agua + Vinaza**	-31.3200	6.4735	15	-4.84	0.0002	0.05	-45.1179	-17.5221
Antes	**Agua + Yeso**	-26.4950	6.4735	15	-4.09	0.0010	0.05	-40.2929	-12.6971
Despues	**Agua**	0.4325	6.4735	15	0.07	0.9476	0.05	-13.3654	14.2304
Despues	**Agua + Vinaza**	-3.2975	6.4735	15	-0.51	0.6179	0.05	-17.0954	10.5004
Despues	**Agua + Yeso**	-8.5325	6.4735	15	-1.32	0.2073	0.05	-22.3304	5.2654

Anexo 15 Grafico de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (SO4+Cl), profundidad 20-40cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



Anexo 16 Tabla de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (SO4+Cl), profundidad 20-40cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados

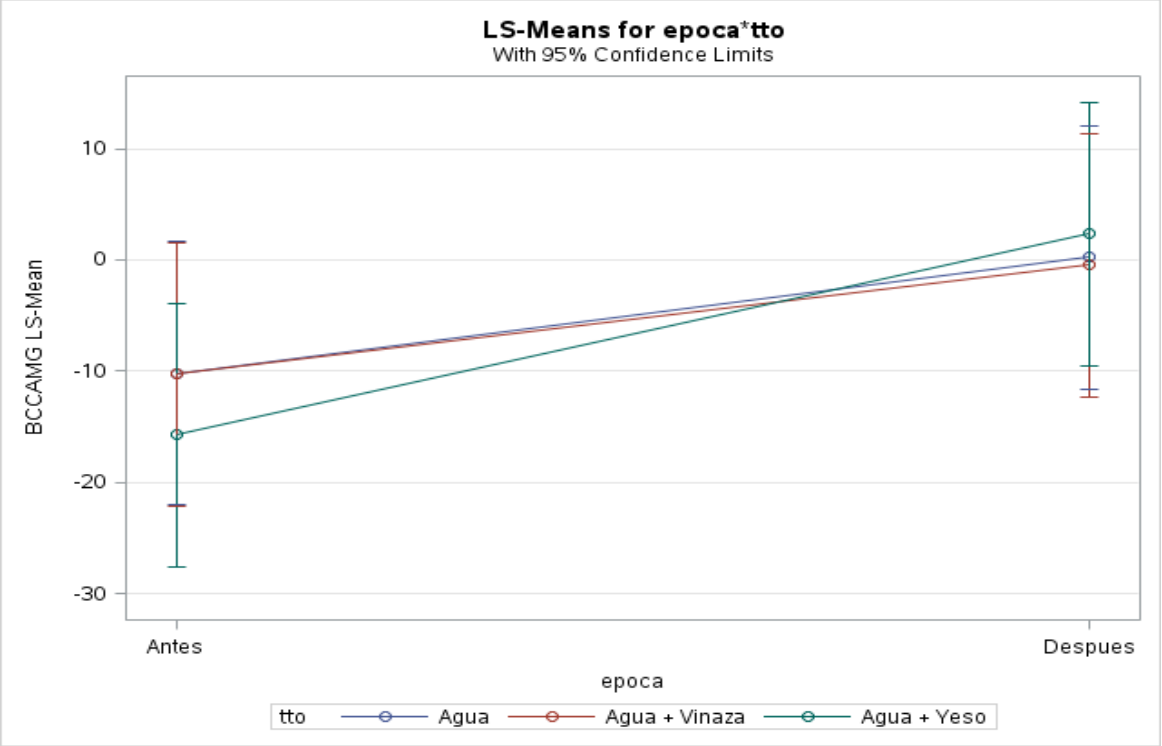
Epoca	Tratamiento	Epoca	Tratamiento	Estimate	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Alpha	Inferior	Superior
Antes	Agua	Antes	Agua + Vinaza	5.6375	9.1549	15	0.62	0.5473	0.05	-13.8756	25.1506
Antes	Agua	Antes	Agua + Yeso	0.8125	9.1549	15	0.09	0.9305	0.05	-18.7006	20.3256
Antes	Agua	Despues	Agua	-26.1150	7.5897	15	-3.44	0.0036	0.05	-42.2920	-9.9380
Antes	Agua	Despues	Agua + Vinaza	-22.3850	9.1549	15	-2.45	0.0273	0.05	-41.8981	-2.8719
Antes	Agua	Despues	Agua + Yeso	-17.1500	9.1549	15	-1.87	0.0806	0.05	-36.6631	2.3631
Antes	Agua + Vinaza	Antes	Agua + Yeso	-4.8250	9.1549	15	-0.53	0.6059	0.05	-24.3381	14.6881
Antes	Agua + Vinaza	Despues	Agua	-31.7525	9.1549	15	-3.47	0.0034	0.05	-51.2656	-12.2394
Antes	Agua + Vinaza	Despues	Agua + Vinaza	-28.0225	7.5897	15	-3.69	0.0022	0.05	-44.1995	-11.8455
Antes	Agua + Vinaza	Despues	Agua + Yeso	-22.7875	9.1549	15	-2.49	0.0250	0.05	-42.3006	-3.2744
Antes	Agua + Yeso	Despues	Agua	-26.9275	9.1549	15	-2.94	0.0101	0.05	-46.4406	-7.4144
Antes	Agua + Yeso	Despues	Agua + Vinaza	-23.1975	9.1549	15	-2.53	0.0229	0.05	-42.7106	-3.6844
Antes	Agua + Yeso	Despues	Agua + Yeso	-17.9625	7.5897	15	-2.37	0.0318	0.05	-34.1395	-1.7855
Despues	Agua	Despues	Agua + Vinaza	3.7300	9.1549	15	0.41	0.6894	0.05	-15.7831	23.2431
Despues	Agua	Despues	Agua + Yeso	8.9650	9.1549	15	0.98	0.3430	0.05	-10.5481	28.4781
Despues	Agua + Vinaza	Despues	Agua + Yeso	5.2350	9.1549	15	0.57	0.5759	0.05	-14.2781	24.7481

Anexo 17 Tabla de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (Ca+Mg), profundidad 0-20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados

Epoca	Tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Alfa	Inferior	Superior
Antes	Agua	-10.2100	5.5569	15	-1.84	0.0860	0.05	-22.0542	1.6342
Antes	Agua + Vinaza	-10.2850	5.5569	15	-1.85	0.0840	0.05	-22.1292	1.5592
Antes	Agua + Yeso	-15.7518	5.5569	15	-2.83	0.0126	0.05	-27.5959	-3.9076
Despues	Agua	0.2275	5.5569	15	0.04	0.9679	0.05	-11.6167	12.0717
Despues	Agua + Vinaza	-0.4525	5.5569	15	-0.08	0.9362	0.05	-12.2967	11.3917
Despues	Agua + Yeso	2.3175	5.5569	15	0.42	0.6825	0.05	-9.5267	14.1617

Anexo 18 Grafico de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (Ca+Mg), profundidad 0-20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



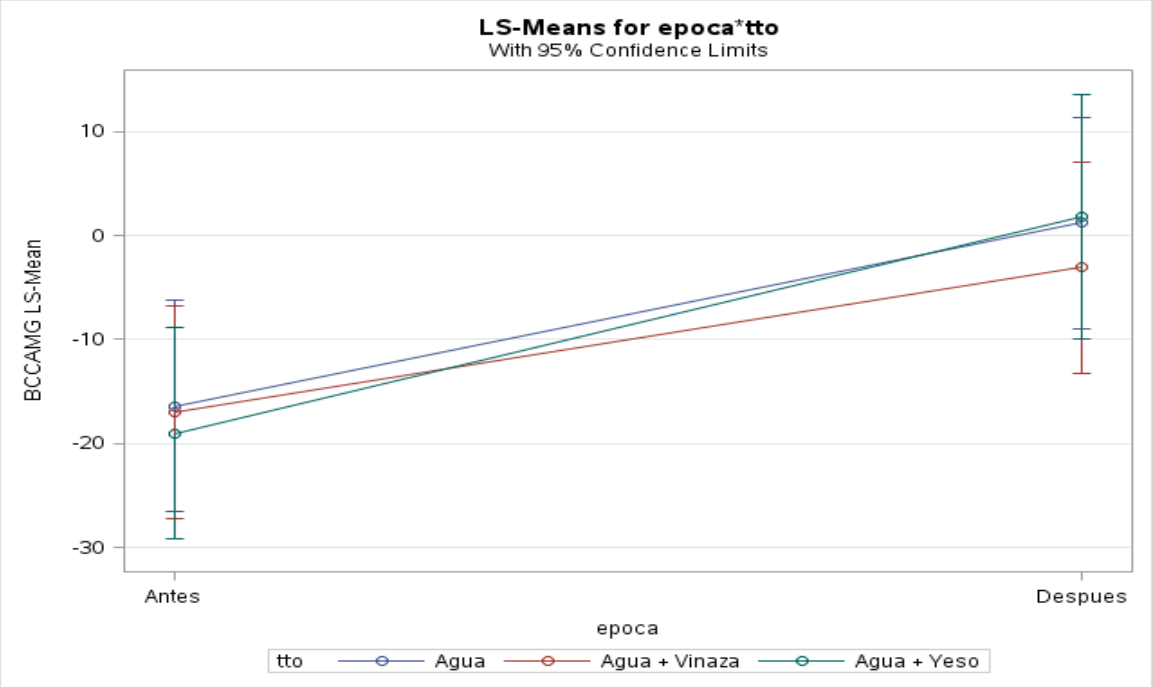
Anexo 19 Tabla de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (Ca+Mg), profundidad 0-20cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados										
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	0.07500	7.0660	15	0.01	0.9917	0.05	-14.9859	15.1359
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	5.5418	7.0660	15	0.78	0.4451	0.05	-9.5191	20.6026
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	-10.4375	7.2351	15	-1.44	0.1697	0.05	-25.8588	4.9838
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-9.7575	7.0660	15	-1.38	0.1875	0.05	-24.8184	5.3034
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-12.5275	7.0660	15	-1.77	0.0965	0.05	-27.5884	2.5334
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	5.4668	7.0660	15	0.77	0.4511	0.05	-9.5941	20.5276
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-10.5125	7.0660	15	-1.49	0.1575	0.05	-25.5734	4.5484
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-9.8325	7.2351	15	-1.36	0.1942	0.05	-25.2538	5.5888
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-12.6025	7.0660	15	-1.78	0.0947	0.05	-27.6634	2.4584
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-15.9793	7.0660	15	-2.26	0.0390	0.05	-31.0401	-0.9184
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-15.2993	7.0660	15	-2.17	0.0469	0.05	-30.3601	-0.2384
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-18.0693	7.2351	15	-2.50	0.0246	0.05	-33.4906	-2.6479
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.6800	7.0660	15	0.10	0.9246	0.05	-14.3809	15.7409
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-2.0900	7.0660	15	-0.30	0.7715	0.05	-17.1509	12.9709
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-2.7700	7.0660	15	-0.39	0.7006	0.05	-17.8309	12.2909

Anexo 20 Tabla de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (Ca+Mg), profundidad 20-40cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	-16.3800	4.7407	14	-3.46	0.0039	0.05	-26.5479	-6.2121
Antes	**Agua + Vinaza**	-16.9900	4.7407	14	-3.58	0.0030	0.05	-27.1579	-6.8221
Antes	**Agua + Yeso**	-19.0125	4.7407	14	-4.01	0.0013	0.05	-29.1804	-8.8446
Despues	**Agua**	1.2300	4.7407	14	0.26	0.7991	0.05	-8.9379	11.3979
Despues	**Agua + Vinaza**	-3.1050	4.7407	14	-0.65	0.5231	0.05	-13.2729	7.0629
Despues	**Agua + Yeso**	1.8375	5.4641	14	0.34	0.7416	0.05	-9.8817	13.5567

Anexo 21 Grafico de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (Ca+Mg), profundidad 20-40cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



Anexo 22 Tabla de resultados estadísticos de (HCO3+CO3) – (Ca+Mg), profundidad 20-40cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

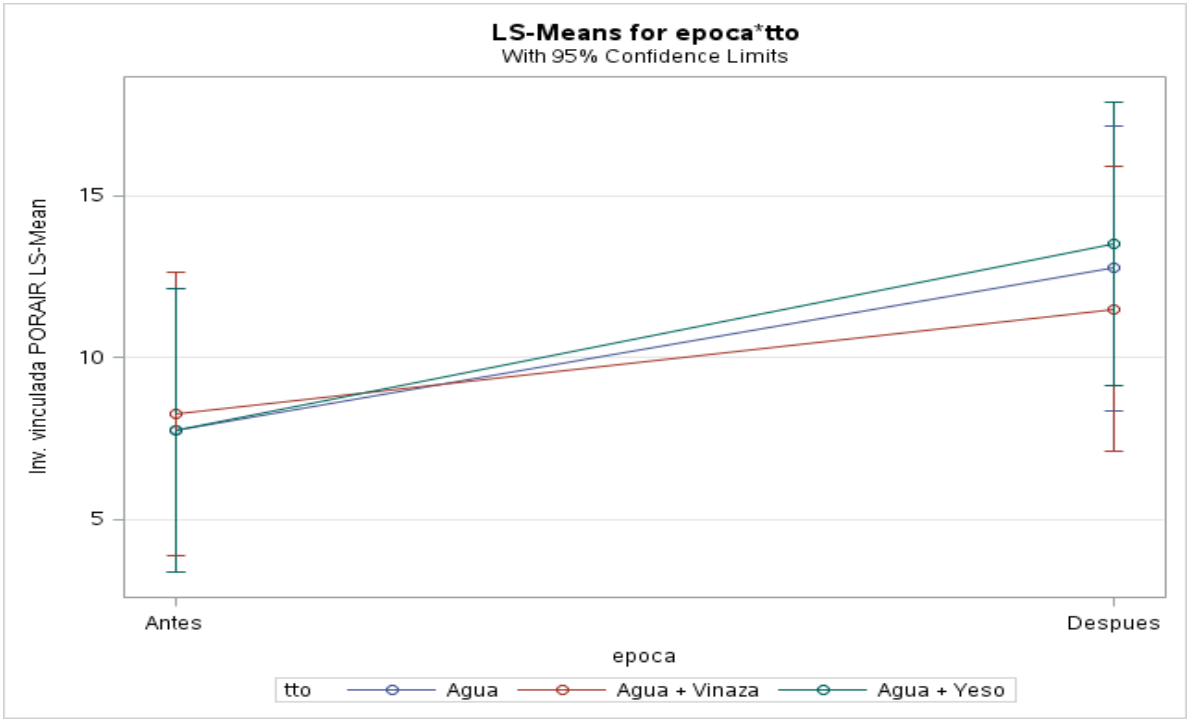
Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados										
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	0.6100	6.7044	14	0.09	0.9288	0.05	-13.7695	14.9895
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	2.6325	6.7044	14	0.39	0.7005	0.05	-11.7470	17.0120
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	-17.6100	7.0994	14	-2.48	0.0264	0.05	-32.8367	-2.3833
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-13.2750	6.7044	14	-1.98	0.0677	0.05	-27.6545	1.1045
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-18.2175	7.2340	14	-2.52	0.0246	0.05	-33.7328	-2.7022
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	2.0225	6.7044	14	0.30	0.7673	0.05	-12.3570	16.4020
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-18.2200	6.7044	14	-2.72	0.0167	0.05	-32.5995	-3.8405
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-13.8850	7.0994	14	-1.96	0.0707	0.05	-29.1117	1.3417
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-18.8275	7.2340	14	-2.60	0.0209	0.05	-34.3428	-3.3122
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-20.2425	6.7044	14	-3.02	0.0092	0.05	-34.6220	-5.8630
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-15.9075	6.7044	14	-2.37	0.0325	0.05	-30.2870	-1.5280
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-20.8500	7.6015	14	-2.74	0.0159	0.05	-37.1536	-4.5464
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	4.3350	6.7044	14	0.65	0.5284	0.05	-10.0445	18.7145
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.6075	7.2340	14	-0.08	0.9343	0.05	-16.1228	14.9078
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-4.9425	7.2340	14	-0.68	0.5056	0.05	-20.4578	10.5728

Anexo 23 Tabla de resultados estadísticos de porosidad de aireación, profundidad 0-20 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados

Epoca	Tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Alfa	Inferior	Superior	Media	Media del error estándar	Media inferior	Media superior
Antes	Agua	7.7500	2.0582	15	3.77	0.0019	0.05	3.3631	12.1369	7.7500	2.0582	3.3631	12.1369
Antes	Agua + Vinaza	8.2500	2.0582	15	4.01	0.0011	0.05	3.8631	12.6369	8.2500	2.0582	3.8631	12.6369
Antes	Agua + Yeso	7.7500	2.0582	15	3.77	0.0019	0.05	3.3631	12.1369	7.7500	2.0582	3.3631	12.1369
Despues	Agua	12.7500	2.0582	15	6.19	<.0001	0.05	8.3631	17.1369	12.7500	2.0582	8.3631	17.1369
Despues	Agua + Vinaza	11.5000	2.0582	15	5.59	<.0001	0.05	7.1131	15.8869	11.5000	2.0582	7.1131	15.8869
Despues	Agua + Yeso	13.5000	2.0582	15	6.56	<.0001	0.05	9.1131	17.8869	13.5000	2.0582	9.1131	17.8869

Anexo 24 Grafico de resultados estadísticos de porosidad de aireación, profundidad 0-20cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



Anexo 25 Tabla de resultados estadísticos de porosidad de aireación, profundidad 0-20 cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

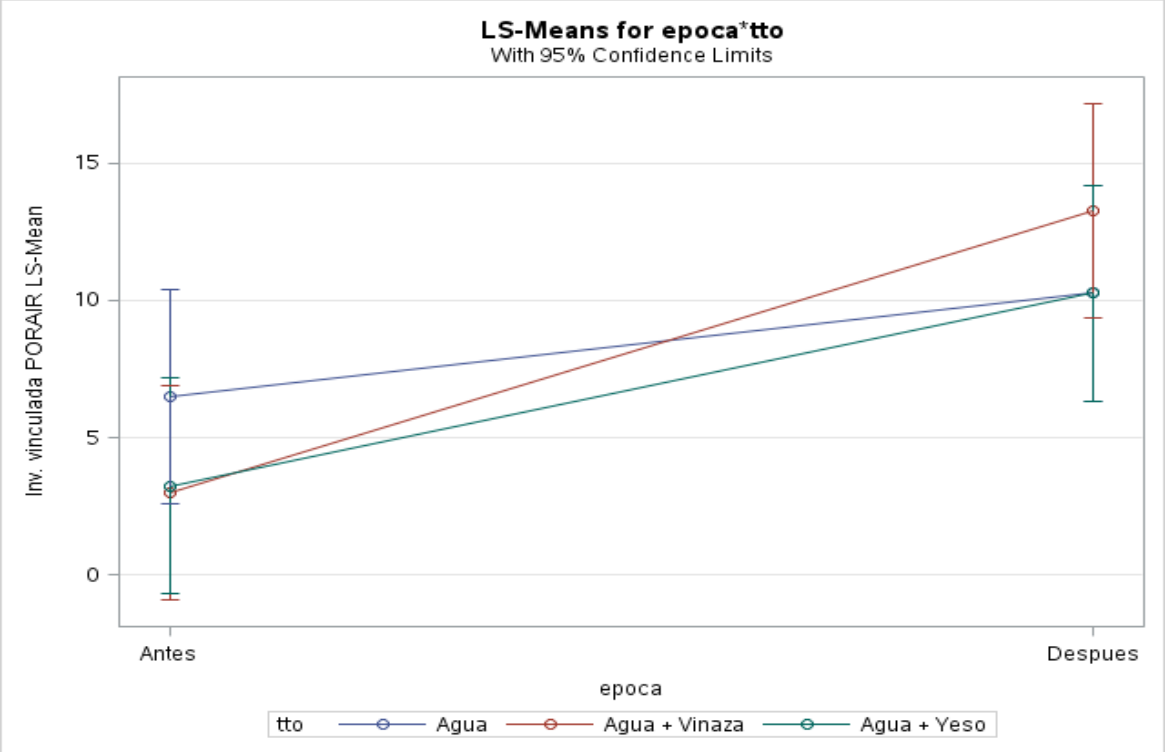
Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados										
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	-0.5000	2.9107	15	-0.17	0.8659	0.05	-6.7040	5.7040
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	1.11E-16	2.9107	15	0.00	1.0000	0.05	-6.2040	6.2040
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	-5.0000	1.5230	15	-3.28	0.0050	0.05	-8.2461	-1.7539
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-3.7500	2.9107	15	-1.29	0.2171	0.05	-9.9540	2.4540
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-5.7500	2.9107	15	-1.98	0.0669	0.05	-11.9540	0.4540
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	0.5000	2.9107	15	0.17	0.8659	0.05	-5.7040	6.7040
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-4.5000	2.9107	15	-1.55	0.1429	0.05	-10.7040	1.7040
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-3.2500	1.5230	15	-2.13	0.0498	0.05	-6.4961	-0.00386
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-5.2500	2.9107	15	-1.80	0.0914	0.05	-11.4540	0.9540
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-5.0000	2.9107	15	-1.72	0.1064	0.05	-11.2040	1.2040
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-3.7500	2.9107	15	-1.29	0.2171	0.05	-9.9540	2.4540
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-5.7500	1.5230	15	-3.78	0.0018	0.05	-8.9961	-2.5039
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	1.2500	2.9107	15	0.43	0.6737	0.05	-4.9540	7.4540
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.7500	2.9107	15	-0.26	0.8002	0.05	-6.9540	5.4540
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-2.0000	2.9107	15	-0.69	0.5025	0.05	-8.2040	4.2040

Anexo 26 Tabla de resultados estadísticos de porosidad de aireación, profundidad 20-40 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

Epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados

Epoca	Tratamiento		Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Alfa	Inferior	Superior	Media	Media del error estándar	Media inferior	Media superior
Antes	Agua		6.5000	1.8333	15	3.55	0.0029	0.05	2.5923	10.4077	6.5000	1.8333	2.5923	10.4077
Antes	Agua + Vinaza		3.0000	1.8333	15	1.64	0.1226	0.05	-0.9077	6.9077	3.0000	1.8333	-0.9077	6.9077
Antes	Agua + Yeso		3.2500	1.8333	15	1.77	0.0966	0.05	-0.6577	7.1577	3.2500	1.8333	-0.6577	7.1577
Despues	Agua		10.2500	1.8333	15	5.59	<.0001	0.05	6.3423	14.1577	10.2500	1.8333	6.3423	14.1577
Despues	Agua + Vinaza		13.2500	1.8333	15	7.23	<.0001	0.05	9.3423	17.1577	13.2500	1.8333	9.3423	17.1577
Despues	Agua + Yeso		10.2500	1.8333	15	5.59	<.0001	0.05	6.3423	14.1577	10.2500	1.8333	6.3423	14.1577

Anexo 27 Grafico de resultados estadísticos de porosidad de aireación, profundidad 20-40 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



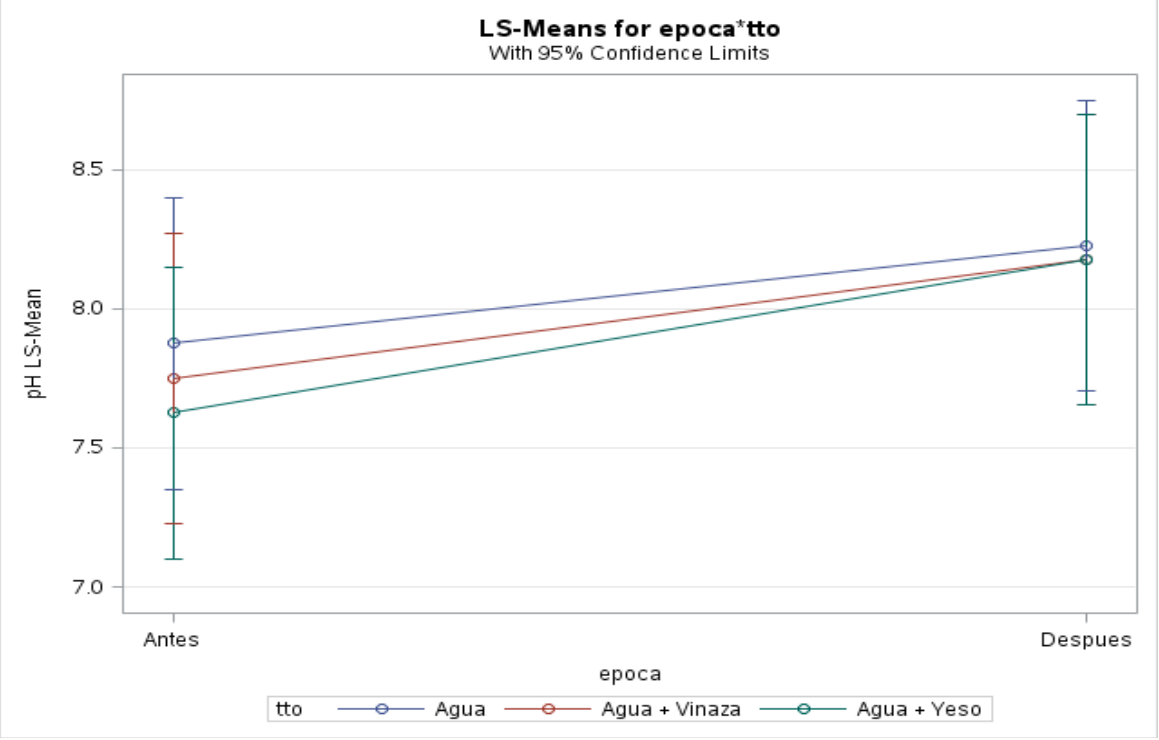
Anexo 28 Tabla de resultados estadísticos de porosidad de aireación, profundidad 20-40 cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados										
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	3.5000	2.4629	15	1.42	0.1757	0.05	-1.7496	8.7496
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	3.2500	2.4629	15	1.32	0.2068	0.05	-1.9996	8.4996
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	-3.7500	2.8553	15	-1.31	0.2088	0.05	-9.8359	2.3359
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-6.7500	2.4629	15	-2.74	0.0152	0.05	-11.9996	-1.5004
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-3.7500	2.4629	15	-1.52	0.1487	0.05	-8.9996	1.4996
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	-0.2500	2.4629	15	-0.10	0.9205	0.05	-5.4996	4.9996
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-7.2500	2.4629	15	-2.94	0.0101	0.05	-12.4996	-2.0004
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-10.2500	2.8553	15	-3.59	0.0027	0.05	-16.3359	-4.1641
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-7.2500	2.4629	15	-2.94	0.0101	0.05	-12.4996	-2.0004
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-7.0000	2.4629	15	-2.84	0.0124	0.05	-12.2496	-1.7504
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-10.0000	2.4629	15	-4.06	0.0010	0.05	-15.2496	-4.7504
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-7.0000	2.8553	15	-2.45	0.0270	0.05	-13.0859	-0.9141
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-3.0000	2.4629	15	-1.22	0.2420	0.05	-8.2496	2.2496
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	7.69E-16	2.4629	15	0.00	1.0000	0.05	-5.2496	5.2496
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	3.0000	2.4629	15	1.22	0.2420	0.05	-2.2496	8.2496

Anexo 29 Tabla de resultados estadísticos de pH, profundidad 0-20 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	7.8750	0.2452	15	32.12	<.0001	0.05	7.3525	8.3975
Antes	**Agua + Vinaza**	7.7500	0.2452	15	31.61	<.0001	0.05	7.2275	8.2725
Antes	**Agua + Yeso**	7.6250	0.2452	15	31.10	<.0001	0.05	7.1025	8.1475
Despues	**Agua**	8.2250	0.2452	15	33.55	<.0001	0.05	7.7025	8.7475
Despues	**Agua + Vinaza**	8.1750	0.2452	15	33.35	<.0001	0.05	7.6525	8.6975
Despues	**Agua + Yeso**	8.1750	0.2452	15	33.35	<.0001	0.05	7.6525	8.6975

Anexo 30 Grafico de resultados estadísticos de pH, profundidad 0-40 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



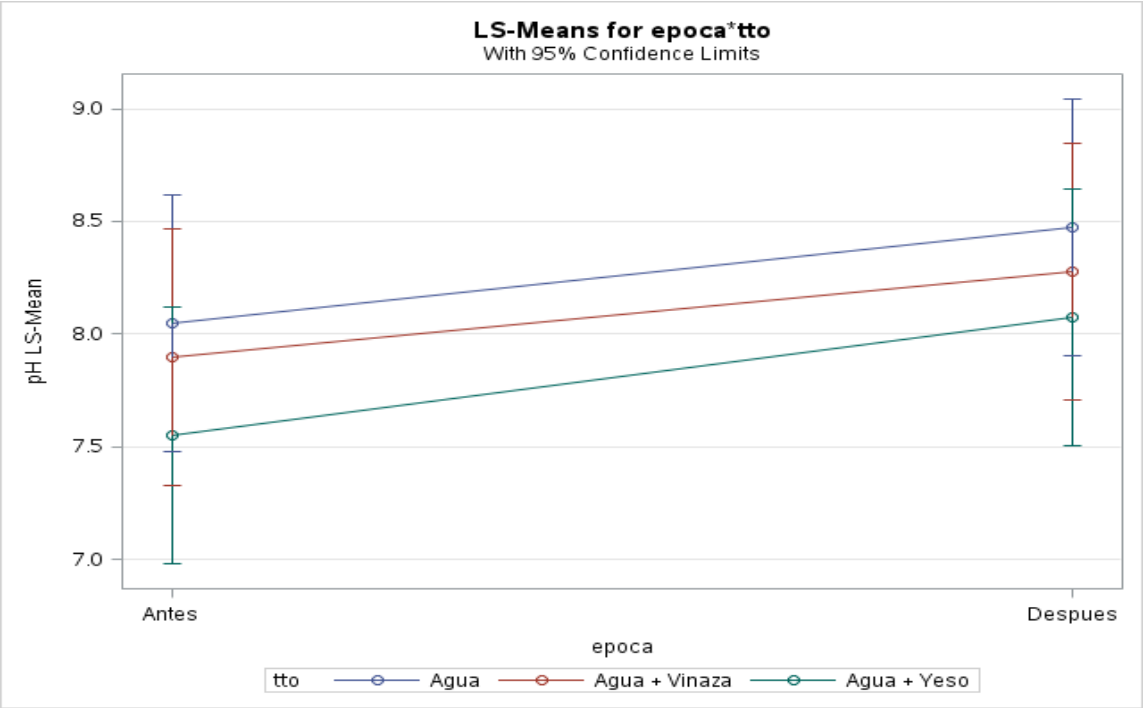
Anexo 31 Tabla de resultados estadísticos de pH, profundidad 0-20 cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados											
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	0.1250	0.3006	15	0.42	0.6834	0.05	-0.5157	0.7657
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	0.2500	0.3006	15	0.83	0.4186	0.05	-0.3907	0.8907
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	-0.3500	0.1552	15	-2.25	0.0395	0.05	-0.6809	-0.01913
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.3000	0.3006	15	-1.00	0.3341	0.05	-0.9407	0.3407
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.3000	0.3006	15	-1.00	0.3341	0.05	-0.9407	0.3407
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	0.1250	0.3006	15	0.42	0.6834	0.05	-0.5157	0.7657
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-0.4750	0.3006	15	-1.58	0.1349	0.05	-1.1157	0.1657
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.4250	0.1552	15	-2.74	0.0153	0.05	-0.7559	-0.09413
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.4250	0.3006	15	-1.41	0.1778	0.05	-1.0657	0.2157
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-0.6000	0.3006	15	-2.00	0.0644	0.05	-1.2407	0.04067
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.5500	0.3006	15	-1.83	0.0872	0.05	-1.1907	0.09067
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.5500	0.1552	15	-3.54	0.0030	0.05	-0.8809	-0.2191
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.05000	0.3006	15	0.17	0.8701	0.05	-0.5907	0.6907
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.05000	0.3006	15	0.17	0.8701	0.05	-0.5907	0.6907
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-955E-18	0.3006	15	-0.00	1.0000	0.05	-0.6407	0.6407

Anexo 32 Tabla de resultados estadísticos de pH, profundidad 20-40 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	8.0500	0.2667	15	30.18	<.0001	0.05	7.4815	8.6185
Antes	**Agua + Vinaza**	7.9000	0.2667	15	29.62	<.0001	0.05	7.3315	8.4685
Antes	**Agua + Yeso**	7.5500	0.2667	15	28.31	<.0001	0.05	6.9815	8.1185
Despues	**Agua**	8.4750	0.2667	15	31.77	<.0001	0.05	7.9065	9.0435
Despues	**Agua + Vinaza**	8.2750	0.2667	15	31.02	<.0001	0.05	7.7065	8.8435
Despues	**Agua + Yeso**	8.0750	0.2667	15	30.27	<.0001	0.05	7.5065	8.6435

Anexo 33 Grafico de resultados estadísticos de pH, profundidad 20-40 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



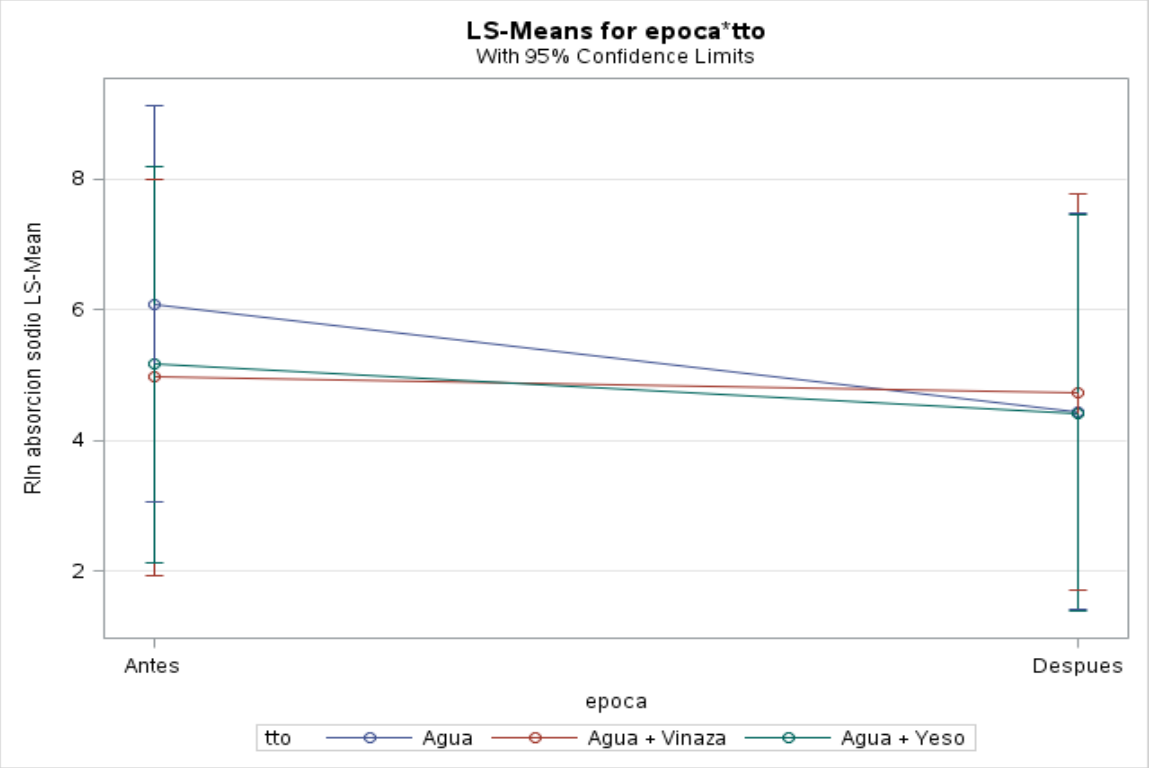
Anexo 34 Tabla de resultados estadísticos de pH, profundidad 20-40 cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados											
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	0.1500	0.3141	15	0.48	0.6398	0.05	-0.5194	0.8194
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	0.5000	0.3141	15	1.59	0.1322	0.05	-0.1694	1.1694
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	-0.4250	0.2175	15	-1.95	0.0696	0.05	-0.8885	0.03852
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.2250	0.3141	15	-0.72	0.4848	0.05	-0.8944	0.4444
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.02500	0.3141	15	-0.08	0.9376	0.05	-0.6944	0.6444
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	0.3500	0.3141	15	1.11	0.2827	0.05	-0.3194	1.0194
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	-0.5750	0.3141	15	-1.83	0.0871	0.05	-1.2444	0.09444
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.3750	0.2175	15	-1.72	0.1052	0.05	-0.8385	0.08852
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.1750	0.3141	15	-0.56	0.5856	0.05	-0.8444	0.4944
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	-0.9250	0.3141	15	-2.95	0.0100	0.05	-1.5944	-0.2556
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.7250	0.3141	15	-2.31	0.0356	0.05	-1.3944	-0.05556
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-0.5250	0.2175	15	-2.41	0.0290	0.05	-0.9885	-0.06148
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.2000	0.3141	15	0.64	0.5339	0.05	-0.4694	0.8694
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.4000	0.3141	15	1.27	0.2222	0.05	-0.2694	1.0694
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.2000	0.3141	15	0.64	0.5339	0.05	-0.4694	0.8694

Anexo 35 Tabla de resultados estadísticos de RASES, profundidad 0-20 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	6.0948	1.4243	15	4.28	0.0007	0.05	3.0589	9.1307
Antes	**Agua + Vinaza**	4.9693	1.4243	15	3.49	0.0033	0.05	1.9334	8.0052
Antes	**Agua + Yeso**	5.1679	1.4243	15	3.63	0.0025	0.05	2.1320	8.2038
Despues	**Agua**	4.4469	1.4243	15	3.12	0.0070	0.05	1.4110	7.4828
Despues	**Agua + Vinaza**	4.7365	1.4243	15	3.33	0.0046	0.05	1.7006	7.7724
Despues	**Agua + Yeso**	4.4237	1.4243	15	3.11	0.0072	0.05	1.3878	7.4596

Anexo 36 Grafico de resultados estadísticos de RASES, profundidad 0-20 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.



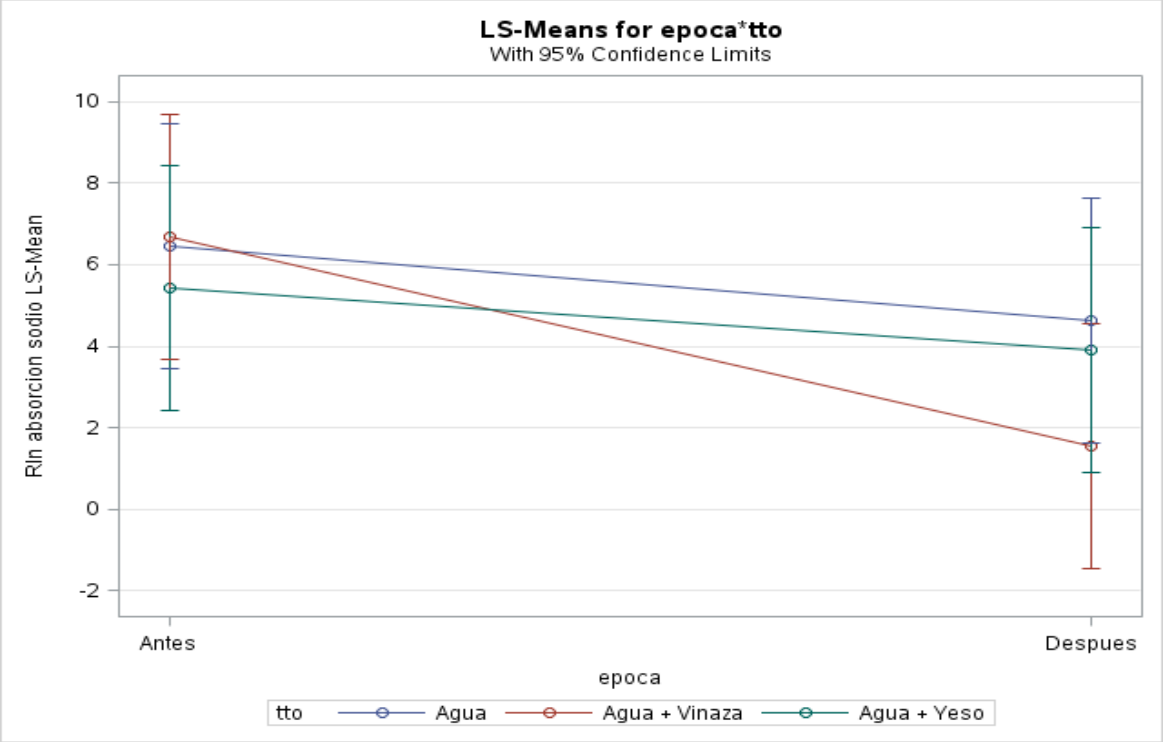
Anexo 37 Tabla de resultados estadísticos de RASES, profundidad 0-20 cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados											
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	1.1255	1.3739	15	0.82	0.4255	0.05	-1.8028	4.0539
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	0.9269	1.3739	15	0.67	0.5102	0.05	-2.0015	3.8553
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	1.6480	1.0215	15	1.61	0.1275	0.05	-0.5292	3.8252
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	1.3583	1.3739	15	0.99	0.3385	0.05	-1.5700	4.2867
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	1.6712	1.3739	15	1.22	0.2426	0.05	-1.2572	4.5995
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	-0.1986	1.3739	15	-0.14	0.8870	0.05	-3.1270	2.7297
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	0.5224	1.3739	15	0.38	0.7091	0.05	-2.4059	3.4508
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.2328	1.0215	15	0.23	0.8228	0.05	-1.9444	2.4100
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.5456	1.3739	15	0.40	0.6969	0.05	-2.3827	3.4740
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	0.7211	1.3739	15	0.52	0.6074	0.05	-2.2073	3.6494
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	0.4314	1.3739	15	0.31	0.7578	0.05	-2.4969	3.3598
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.7443	1.0215	15	0.73	0.4775	0.05	-1.4329	2.9214
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	-0.2896	1.3739	15	-0.21	0.8359	0.05	-3.2180	2.6387
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.02320	1.3739	15	0.02	0.9868	0.05	-2.9052	2.9516
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.3128	1.3739	15	0.23	0.8230	0.05	-2.6155	3.2412

Anexo 38 Tabla de resultados estadísticos de RASES, profundidad 20-40 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados.

epoca*ttoMedias de mínimos cuadrados									
Epoca	**Tratamiento**	**Estimador**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alfa**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	6.4595	1.4139	15	4.57	0.0004	0.05	3.4458	9.4732
Antes	**Agua + Vinaza**	6.6737	1.4139	15	4.72	0.0003	0.05	3.6599	9.6874
Antes	**Agua + Yeso**	5.4382	1.4139	15	3.85	0.0016	0.05	2.4245	8.4519
Despues	**Agua**	4.6253	1.4139	15	3.27	0.0052	0.05	1.6116	7.6390
Despues	**Agua + Vinaza**	1.5439	1.4139	15	1.09	0.2921	0.05	-1.4698	4.5576
Despues	**Agua + Yeso**	3.9128	1.4139	15	2.77	0.0144	0.05	0.8991	6.9265

Anexo 39 Grafico de resultados estadísticos de RASES, profundidad 20-40 cm. Época * tratamiento, medias de mínimos cuadrados



Anexo 40 Tabla de resultados estadísticos de RASES, profundidad 20-40 cm. Diferencias significativas época * tratamiento medias de mínimos cuadrados.

Diferencias de epoca*tto medias de mínimos cuadrados											
Epoca	**Tratamiento**	**Epoca**	**Tratamiento**	**Estimate**	**Error estándar**	**DF**	**Valor t**	**Pr > |t|**	**Alpha**	**Inferior**	**Superior**
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Vinaza**	-0.2142	1.9686	15	-0.11	0.9148	0.05	-4.4100	3.9817
Antes	**Agua**	**Antes**	**Agua + Yeso**	1.0213	1.9686	15	0.52	0.6115	0.05	-3.1746	5.2172
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua**	1.8342	1.3905	15	1.32	0.2069	0.05	-1.1296	4.7980
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	4.9156	1.9686	15	2.50	0.0246	0.05	0.7197	9.1115
Antes	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	2.5467	1.9686	15	1.29	0.2153	0.05	-1.6492	6.7426
Antes	**Agua + Vinaza**	**Antes**	**Agua + Yeso**	1.2355	1.9686	15	0.63	0.5397	0.05	-2.9604	5.4313
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua**	2.0484	1.9686	15	1.04	0.3146	0.05	-2.1475	6.2442
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	5.1298	1.3905	15	3.69	0.0022	0.05	2.1659	8.0936
Antes	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	2.7608	1.9686	15	1.40	0.1811	0.05	-1.4350	6.9567
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua**	0.8129	1.9686	15	0.41	0.6855	0.05	-3.3830	5.0088
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	3.8943	1.9686	15	1.98	0.0666	0.05	-0.3016	8.0902
Antes	**Agua + Yeso**	**Despues**	**Agua + Yeso**	1.5254	1.3905	15	1.10	0.2899	0.05	-1.4384	4.4892
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Vinaza**	3.0814	1.9686	15	1.57	0.1384	0.05	-1.1145	7.2773
Despues	**Agua**	**Despues**	**Agua + Yeso**	0.7125	1.9686	15	0.36	0.7225	0.05	-3.4834	4.9084
Despues	**Agua + Vinaza**	**Despues**	**Agua + Yeso**	-2.3689	1.9686	15	-1.20	0.2475	0.05	-6.5648	1.8270