



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

ENMIENDAS PARA DISMINUIR LA SALINIDAD Y MEJORAR

LA FERTILIDAD DE TRES SUELOS DEDICADOS

AL CULTIVO DE ARROZ DE INUNDACIÓN

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el
Grado de Magister en Nutrición Vegetal

AUTOR:

EDGAR PATRICIO CEDEÑO COLL

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. MANUEL DANILO CARRILLO ZENTENO, Ph.D.

Santo Domingo – Ecuador

MAYO, 2015

**ENMIENDAS PARA DISMINUIR LA SALINIDAD Y MEJORAR
LA FERTILIDAD DE TRES SUELOS DEDICADOS
AL CULTIVO DE ARROZ DE INUNDACIÓN**

Ing. MANUEL CARRILLO ZENTENO Ph.D.

DIRECTOR DE TESIS

APROBADO

Dra. LUZ MARÍA MARTÍNEZ BUÑAY, MS.c.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. EDISON SILVA CIFUENTES, Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dr. VÍCTOR HUGO ABRIL PORRAS, Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo, ... de Mayo del 2015

CERTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE DE AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Edgar Patricio Cedeño Coll, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional.

Además; y, que de acuerdo a la Ley de propiedad intelectual, el presente Trabajo de Investigación pertenecen todos los derechos a la Universidad Tecnológica Equinoccial, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Edgar Patricio Cedeño Coll

C.I. 130 5957415

INFORME DE APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de Director del Trabajo de Grado presentado por el señor Edgar Patricio Cedeño Coll, previo a la obtención del Grado de Magister en Nutrición Vegetal, considero que dicho Trabajo reúne los requisitos y disposiciones emitidas por la Universidad Tecnológica Equinoccial por medio de la Dirección General de Posgrado para ser sometido a la evaluación por parte del Tribunal examinador que se designe.

En la Ciudad de Santo Domingo, a los días del mes de Mayo del 2015

Ing. Manuel Danilo Carrillo Zenteno, Ph.D.

C.I. 0102294378

Agradecimiento

A mi consejero Dr. Manuel Carrillo Zenteno, Ph.D., por sus invaluable aportes en el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Edison Silva Ph.D. por su valiosa guía en lo que respecta a los análisis estadísticos de la información obtenida.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria INIAP, Estación Experimental Litoral Sur "Dr. Enrique Ampuero Pareja", por las facilidades logísticas y recursos humanos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. MSc. Braulio Lahuate, por la ayuda proporcionada en el invernadero y laboratorio de suelos EELS, en todo el desarrollo de la investigación, en los predios de la Estación Experimental Litoral Sur.

A la Dra. Gloria Carrera, encargada del laboratorio de la EELS, por su ayuda en la información recolectada de los diferentes análisis realizados de esta investigación.

Al personal del Departamento de suelos de la EELS encargados de facilitar la información de los resultados de los análisis realizados y los trabajos de invernadero.

Dedicatoria

A toda mi familia, padres, esposa e hijos

Los cuales han sido el motivo de sacrificio,

de todos los logros que he alcanzado

en mi vida profesional

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
PÁGINAS PRELIMINARES	i
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.2. HIPOTESIS.....	3
1.2.1. Hipótesis general.....	3
1.2.2. Hipótesis específica.....	3

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.2.1. Generalidades.....	5
2.2.1.1. Procesos de salinización.....	7
2.2.1.2. Tipos de suelos afectados por sales.....	8
2.2.2. Efectos sobre la fisiología y rendimiento de las plantas.....	10
2.2.3. Principales enmiendas minerales.....	12
2.2.3.1. Cal viva.....	13
2.2.3.2. Cal apagada.....	13
2.2.3.3. Cal agrícola.....	13
2.2.3.4. Sulfato de calcio.....	13

2.2.3.5.	Ácido manosilísico.....	14
2.2.3.6.	Zeolita.....	15
2.2.4.	Efectos de las aplicaciones de las enmiendas.....	15

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Sitio de estudio.....	19
3.1.1.	Características edáficas.....	19
3.1.1.1.	Petrillo, cantón Daule.....	20
3.1.1.2.	El Pan, cantón Yaguachi.....	21
3.1.1.3.	La Cuca, cantón Arenillas.....	21
3.2.	Técnicas, procedimientos, instrumentos y recursos.....	21
3.3.	Diseño experimental, factores y variables de estudio.....	22
3.3.1.	Diseño experimental.....	22
3.3.2.	Factores en estudio.....	23
3.3.3.	Variables en estudio.....	25
3.3.3.1.	Conductividad eléctrica.....	25
3.3.3.2.	pH.....	25
3.3.3.3.	Fertilidad del suelo.....	25
3.3.3.4.	Altura de planta.....	26
3.3.3.5.	Área foliar a la floración.....	26
3.3.3.6.	Número de macollos.....	26
3.3.3.7.	Contenido de clorofila.....	26
3.3.3.8.	Peso de materia seca de panca.....	26
3.3.3.9.	Absorción de macro y micronutrientes.....	27
3.3.3.10.	Relaciones iónicas de los nutrientes en los tejidos...	27
3.4.	Manejo del experimento.....	27
3.4.1.	Primera fase.....	27
3.4.2.	Segunda fase.....	28

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	PRIMERA FASE.....	30
4.1.1.	Conductividad eléctrica.....	30
4.1.2.	pH (solución).....	33
4.1.3.	Salinidad del suelo.....	36
4.1.4.	Fertilidad del suelo.....	40
4.2.	SEGUNDA FASE.....	42
4.2.1.	Altura de planta.....	43
4.2.2.	Área foliar.....	43
4.2.3.	Peso húmedo.....	45
4.2.4.	Peso seco.....	46
4.2.5.	Macollos.....	47
4.2.6.	Clorofila.....	48
4.2.7.	Absorción de nutrientes.....	50
4.2.8.	Relaciones iónicas en tejidos.....	54
4.2.9.	Correlaciones.....	56

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	58
5.2.	Recomendaciones.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....		60
ANEXOS.....		68

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas		Pág.
Tabla 3.1.	Características climáticas del sitio del trabajo y las zonas de origen de los suelos.....	19
Tabla 3.2.	Propiedades químicas de los suelos efecto de estudio, según su localidad.....	20
Tabla 3.3.	Análisis químico de salinidad en extracto de pasta saturada en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.....	20
Tabla 3.4.	Características físicas y químicas de los suelos.....	20
Tabla 3.5.	ADEVA utilizado en los análisis estadísticos de los datos obtenidos en las variables estudiadas.....	22
Tabla 3.6.	Características químicas de las enmiendas.....	23
Tabla 3.7.	Tratamientos a ser aplicados para corregir la salinidad de tres suelos del Litoral ecuatoriano, dedicados al cultivo de arroz.....	24
Tabla 3.8.	Características químicas el agua usada en la investigación.....	28
Tabla 4.1.	Variaciones en las cantidades de cationes y aniones, RAS y PSI, en suelo salinos de La Cuca, por efecto de incubación por 60 días con cinco enmiendas del suelo en cinco dosis.....	37
Tabla 4.2.	Variaciones en las cantidades de cationes y aniones, RAS y PSI, presentes en suelo salino de El Pan, por efecto de aplicaciones de cinco enmiendas del suelo en cinco dosis.....	39
Tabla 4.3.	Variaciones en las cantidades de cationes y aniones, RAS y PSI, presentes en suelo salino de Petrillo, por efecto de aplicaciones de cinco enmiendas del suelo en cinco dosis.....	40
Tabla 4.4.	Fertilidad de suelos de La Cuca, 60 días después de haber sido corregido su salinidad con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas.....	41
Tabla 4.5.	Fertilidad de suelos de El Pan, 60 días después de haber sido corregido su salinidad con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas.....	41
Tabla 4.6.	Fertilidad de suelos de Petrillo, 60 días después de haber sido corregido su salinidad con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas.....	42
Tabla 4.7.	Contenidos de nutrientes registrados en plantas de arroz sembradas en suelos salinos de La Cuca, corregidos con aplicaciones de cinco	

	enmiendas cálcicas.....	51
Tabla 4.8.	Contenidos de nutrientes registrados en plantas de arroz sembradas en suelos salinos de El Pan, corregidos con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas.....	52
Tabla 4.9.	Contenidos de nutrientes registrados en plantas de arroz sembradas en suelos salinos de Petrillo, corregidos con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas.....	53
Tabla 4.10.	Relaciones Na/K, Na/Ca, Na/Mg, K/Mg, Ca/Mg, P/Cl y B/Cl en tejidos de arroz, creciendo en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, corregidos con enmiendas cálcicas.....	55
Tabla 4.11.	Correlación lineal de Pearson entre variables químicas del suelo y de rendimiento de materia seca del cultivo de arroz, sembrado en invernadero sobre suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Pág.
Figura 4.1. Respuesta de la aplicación de cinco enmiendas del suelo sobre la salinidad de la solución en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, a los cero días después de la aplicación.....	31
Figura 4.2. Respuesta del uso de enmiendas en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, sobre la salinidad de la solución del suelo a los 60 días después de la aplicación.....	32
Figura 4.3. Cambios en el pH del suelo a los 0, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de enmiendas en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.....	34
Figura 4.4. Variación en el pH de la solución del suelo de suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, a los 0 DDA, por efecto de la aplicación de cinco enmiendas del suelo.....	35
Figura 4.5. Variación en el pH de la solución del suelo de suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, por efecto de dosis de enmiendas del suelo aplicadas.....	35
Figura 4.6. Promedios de altura de plantas de arroz sembrado en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.....	44
Figura 4.7. Área foliar de plantas de arroz por efecto de suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.....	44
Figura 4.8. Efecto de suelo sobre el Peso húmedo de plantas cosechadas de arroz por consecuencia de salinidad, de La Cuca, El Pan y Petrillo.....	45
Figura 4.9. Efecto de suelo sobre el Peso seco de plantas cosechadas de arroz por consecuencia de salinidad, de La Cuca, El Pan y Petrillo.....	46
Figura 4.10. Promedio de número de macollos de arroz por maceta, afectados por las dosis de enmiendas aplicadas en tres suelos salinos del Litoral ecuatoriano.....	47
Figura 4.11. Promedio de número de macollos de arroz por maceta, obtenidos en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.....	48
Figura 4.12. Valores de clorofila (30 DDS) afectados por las aplicaciones de distintas dosis de enmiendas de suelos en suelo salino de Petrillo.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos		Pág.
Anexos 1.	Cuadrados medios de Conductividad Eléctrica, colectada a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de las enmiendas del suelo....	68
Anexos 2.	Cuadrados medios de pH, colectada a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de las enmiendas del suelo.....	68
Anexos 3.	Cuadrados medios de altura de plantas, área foliar, peso húmedo, peso seco, macollos colectada a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de las enmiendas del suelo.....	69
Anexos 4.	Cuadrados medios de clorofila colectada a los 30, 45, 60, 75 días después de la aplicación de las enmiendas del suelo.....	69



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

ENMIENDAS PARA DISMINUIR LA SALINIDAD Y MEJORAR LA FERTILIDAD DE TRES SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE ARROZ DE INUNDACIÓN

Autor: Edgar Patricio Cedeño Coll
Director: Ing. Manuel Carrillo Zenteno *Ph.D.*
Fecha: Mayo, 2015

RESUMEN

Esta investigación permitió conocer la respuesta de suelos salinos del Litoral ecuatoriano pertenecientes a Petrillo, cantón Daule (zona norte de la provincia del Guayas); El Pan, cantón Yaguachi (zona central de la provincia del Guayas) y, La Cuca, cantón Arenillas (zona sur de la provincia de El Oro) dedicados al cultivo de arroz bajo riego, a la aplicación de cinco enmiendas cálcicas del suelo CaCO_3 , Ca(OH)_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSiO_4 y zeolita, en cinco dosis. La investigación se desarrolló en los invernaderos de la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP y consistió de dos fases. La primera tuvo una duración de cuatro meses y la segunda cinco meses. En las dos fases, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial $3 \times 5 \times 5 + 3$ con tres replicas y las media comparadas usando la prueba de rango múltiple de Duncan con el 5% de probabilidad. En la primera fase se evaluaron los cambios en la CE, pH de la solución del suelo y fertilidad del suelo; para la segunda fase se trasplantaron plántulas de arroz sobre los suelos tratados e incubados con las enmiendas para determinar las variaciones en las características fisiológicas de la planta, nutrición y producción de materia seca. Se concluyó que la salinidad de los suelos se debe a la presencia de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y principalmente Mg^{2+} y el uso de enmiendas en general mejoraron las características químicas de los suelos y fisiológicas de las plantas. Disminuyendo la CE de la solución del suelo y las cantidades de Na, Mg en relación al K y Cl respecto al B, en los tejidos del arroz.

Palabras clave: Conductividad eléctrica, pH, Área foliar, Materia seca, Absorción de nutrientes.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

AMENDMENTS TO REDUCE THE SALINITY AND IMPROVE
SOIL FERTILITY OF THREE DEDICATED
RICE TO FLOOD

Author: Edgar Patricio Cedeño Coll

Advisor: Ing. Manuel Carrillo Zenteno, Ph.D.

Date: Mayo, 2015

SUMMARY

This research allowed to know the response of saline soils of the Ecuadorian coast belonging to Petrillo, Daule Canton (north of the province of Guayas area); and El Pan, Canton Yaguachi (central area of the province of Guayas) and La Cuca, Canton Arenillas (south of the province of El Oro) these devoted to irrigated rice cultivation, the application of five soil calcium CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSiO_4 and zeolite, in five doses. The research was conducted in greenhouses in the Experimental Station INIAP South Coast and it consisted in two phases. The first lasted four months and the second were five months. It was used in both phases. Completely random design with factorial arrangement $3 \times 5 \times 5 + 3$ with three replicates and the average compared using the multiple range test of Duncan at 5% probability. In the first phase changes in the CE, pH of the soil solution and soil fertility were evaluated; for the second phase of the rice seedlings treated and incubated with the amendments to determine variations in the physiological characteristics of the plant's nutrition and dry matter production they were transplanted soil. It was concluded that soil salinity due to the presence of Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} and mainly use amendments generally improved chemical soil characteristics and physiological plant. CE decreasing soil solution and the amounts of Na, K relative to Mg and Cl respect to B in the tissue of rice.

Keywords: electrical conductivity, pH, leaf area, dry matter, absorption of nutrients.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El arroz es el primer cereal de importancia alimenticia a nivel mundial, utilizado principalmente para la nutrición humana por su contenido de calorías y en términos de superficie cultivada, es superado por el trigo (INFOAGRO, 2015); se prevé que para el año 2025 habrá un requerimiento mundial de 880 millones de toneladas de esta gramínea (FAO, 1999). Los principales países productores son China, India, Indonesia, Pakistán (FAO, 2015); en Latino América, Uruguay, Argentina, Perú y Brasil son los mayores productores con promedios de rendimiento de 8,00, 7,73, 6,46 y 5,02 t ha⁻¹, respectivamente, en tanto que Ecuador presenta promedios de 3,74 t ha⁻¹, menor incluso a Colombia, que tiene de 4,87 t ha⁻¹ (USDA, 2013 citado por INFOARROZ, 2013).

Para el año 2012 en Ecuador se sembraron 412.496 ha de arroz; el 95% de la superficie en las provincias del Guayas, Los Ríos y Manabí, considerando que los cantones con mayor producción son Daule en la provincia del Guayas y Babahoyo en la provincia de Los Ríos (MAGAP, 2012). Este cultivo se realiza en diferentes tipos de suelos y el éxito o fracaso de los emprendimientos agrícolas depende del uso de nuevas tecnologías para incrementar los rendimientos de los cultivos; más aún, si es el caso de suelos degradados donde se refleja con reducción de los rendimientos y la economía del productor (FAO, 1996).

Aproximadamente el 15% de la totalidad de los suelos del mundo se encuentran en procesos de degradación física y química por erosión y salinización, siendo este último uno de los problemas graves que enfrenta la agricultura a nivel mundial. Suelos afectados por acumulación de cantidades excesivas de sales solubles como el sodio intercambiable, conocidos como Solonetz (Ibáñez, 2014), afectan y alteran la productividad y en el mundo se tiene 1,3 millones de km² (Toth, et al. 2008), alrededor de 830 millones de hectáreas con problemas de salinización, demostrando una distribución del problema a nivel de los cinco continentes (Bandera, 2004). En la Costa ecuatoriana el 34,2% del área semiárida bajo riego, presenta inconvenientes por esta degradación química (Barriga, 2003).

Los suelos salinos sódicos están caracterizados por tener un horizonte Notrico, encontrándoles en zonas semiáridas, con cantidades de sodio que afectan la estructura del suelo y disminuyen la disponibilidad de nutrientes, alterando sus propiedades físicas y

mecánicas, afectando su estructura y dificultando el movimiento del agua, aire, la disponibilidad de agua, penetración de raíces y la emergencia de plántulas, dificultando la realización de las labranzas de los cultivos, dando como resultado una baja productividad (Bandera, 2004).

El cultivo de arroz ocupa gran área de esta zona, sin embargo sus suelos tienden a la salinización siendo importante verificar constantemente su comportamiento en el tiempo (Pozo y Sanfeliu, 2010) debido a que la salinización provocada por la acumulación de minerales deteriora la calidad de los suelos destinados a la producción de cultivos e interfiere de manera negativa en el crecimiento de las plantas (Otero, García y Sánchez, 2002), causando inhibición de la germinación de semillas y degradación del suelo, dando como resultado mala calidad y bajos rendimientos de los cultivos (Pozo y Sanfeliu, 2010).

Aguas de las costas del Golfo de Guayaquil, son usadas para el riego, especialmente en las desembocaduras del río Babahoyo (La Puntilla) influenciado por el río Los Tintos, que afectan los suelos por su elevado contenido de sales y provocan inconvenientes a las áreas arroceras de Samborondon, Yaguachi, Taura y Daule (Barriga, 2003).

Con estos antecedentes de problemas de salinidad de aguas y suelos usados para el cultivo de arroz, se planteó realizar el presente trabajo de investigación que tuvo como objetivos:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Mejorar la fertilidad del suelo y las características agronómicas de plantas de arroz, a nivel de invernadero en suelos salinos de tres zonas arroceras del Litoral ecuatoriano, mediante el uso de enmiendas minerales.

1.1.2. Objetivos específicos

- Conocer a nivel de invernadero el efecto de las aplicaciones de diferentes dosis y enmiendas minerales del suelo sobre las características químicas de suelos salinos de tres zonas arroceras ecuatorianas.
- Definir la fuente y dosis adecuada de enmienda mineral para disminuir los efectos tóxicos de las sales, y mejorar la nutrición de las plantas de arroz, a nivel de invernadero.

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis general

- Ha. Con la aplicación de enmiendas minerales en suelos salinos, mejorarán las características de fertilidad del suelo y fisiológicas de las plantas de arroz.
- Ho. Con la aplicación de enmiendas minerales en suelos salinos no mejorará la fertilidad del suelo y la fisiología de las plantas de arroz.

1.2.2. Hipótesis específicas

- Ha. Con el uso de las enmiendas minerales, adecuadas se conseguirá mejorar las características químicas de suelos salinos de tres zonas arroceras del Litoral ecuatoriano.
- Ho. Con la aplicación de enmiendas minerales no cambiarán las características químicas de suelos salinos de tres zonas arroceras del Litoral ecuatoriano.
- Ha. Con la aplicación de enmiendas minerales, se reducirán los efectos tóxicos de las sales del suelo, mejorando la nutrición de las plantas de arroz creciendo en invernadero.
- Ho. Con la aplicación de enmiendas del suelo no cambiarán los efectos tóxicos de las sales del suelo sobre la nutrición de arroz creciendo en invernadero.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

América latina posee una diversidad de suelos, son producto de la variedad de materiales parentales y condiciones ambientales sobre las cuales estos suelos se desarrollaron, una gran área está cubierta por estos suelos tropicales típicos, sin embargo existen suelos jóvenes dominados por arcillas de tipo 2:1 y suelos derivados de ceniza volcánica y demás materiales volcánicos, los suelos tropicales viejos (Oxisoles y Ultisoles) son de naturales ácidos, también hay suelos derivados de otros materiales parentales que pueden volverse ácidos después de periodos largos de usos intensivos, en cualquiera de estos casos es necesario controlar la acidez para tratar de incrementar y sostener los rendimientos en la agricultura, sin embargo no se puede utilizar una sola estrategia debido a que los diferentes tipos de suelo en cuanto a las características químicas son muy diferentes de los suelos, en cuanto a los materiales parentales, son los que determinan finalmente que el método de control de la acidez sea más efectivo. (Espinoza, 1999).

Los problemas de salinidad aparecen cuando hay concentraciones de sales solubles procedentes de aguas de riego en suelos productivos, proceso que se denomina salinización secundaria. Desde los inicios de la agricultura este es un fenómeno que afecta a la humanidad, registros históricos indican de migraciones provocadas por salinización de suelos cultivables. La proporción de suelos afectados por salinidad son del 10% del total mundial, y se estima que entre el 25 y 50% de las zonas de riego están salinizadas (Leidi y Pardo, 2002).

Leidi y Pardo (2002) manifiestan que, los problemas de inundación y salinización secundaria son importantes en las zonas de riego por el uso de excesos de agua, siendo estos por sistemas de riego poco eficientes, sistemas defectuosos y malas prácticas de riego. Al menos el 60% del agua aplicada se utiliza en transpiración del cultivo. Además la salinidad tiene un efecto sobre las propiedades estructurales y físico-químicas del suelo, creando un estrés adicional y afectando el crecimiento de los cultivos.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Generalidades

En el mundo cerca del 40% al 50% de la superficie terrestre está afectada por salinidad lo cual tiene un efecto desfavorable superior a los efectos causados por la sequía y factores ambientales adversos (Gonzales et al., 2000). En Latinoamérica, la salinización es un problema grave en la producción de alimentos, por ejemplo, en Cuba el 15% de los suelos, presenta peligros de salinización, teniendo una influencia directa en la producción de alimentos (Román, García, Domínguez y Oliva, 2006). Los problemas de salinidad aparecen cuando hay concentraciones de sales solubles procedentes de aguas de riego en suelos productivos, proceso que se denomina salinización secundaria. Desde los inicios de la agricultura éste es un fenómeno que afecta a la humanidad, registros históricos indican de migraciones provocadas por la salinización de suelos cultivables (Lamz y González, 2013). La proporción de suelos afectados por salinidad son del 10% del total mundial, y se estima que entre el 25% y 50% de las zonas de riego están salinizadas (Leidi y Pardo, 2002).

Leidi y Pardo (2002) manifiestan que los problemas de inundación y salinización secundaria son importantes en las zonas de riego por el uso de excesos de agua, siendo estos por sistemas de riego poco eficientes, sistemas defectuosos y malas prácticas de riego. Además, la salinidad tiene un efecto sobre las propiedades estructurales y físico-químicas del suelo, creando un estrés adicional y afectando el crecimiento de los cultivos.

La calidad de las aguas se interpreta mediante el cálculo de relación de adsorción de sodio (RAS) siendo este uno de los procedimientos utilizados para detectar los problemas de salinidad y alcalinidad. El valor del RAS predice el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en equilibrio con el agua y como consecuencia interfiere en las modificaciones físicas que sufre el suelo (Troyo *et al.*, 2012).

El efecto que causa la salinidad del suelo en el crecimiento de los cultivos, se manifiesta a través de los aspectos fisiológicos (efecto osmótico) y químico (efecto nutritivo o tóxico); El cloro en niveles altos disminuye la absorción de nitrógeno y el sodio puede causar deficiencias de otros elementos como el potasio y calcio. De esta manera la conductividad eléctrica tiene un efecto negativo sobre el crecimiento de los cultivos, existiendo diferencias marcadas entre las plantas. Cereales de invierno como la cebada es uno de los

cultivos que más se adapta a ambientes salinos; por tal razón, es uno de los más tolerantes a la salinidad (Álvarez, Bagnato y Noellemeyer, 2012; FEUCHTER, 2010, citado por Suarez, 2010).

Pozo, Carrera y Sanfeliu (2010), observaron un grado de afección en la salinidad de los suelos de los humedales de arroz y su comportamiento en la cuenca baja del río Guayas, en los horizontes de 0 cm a 20 cm, donde los suelos son extremadamente salinos. En el primer año del estudio, en el límite superior se tomaron muestras de suelo, cuyos valores dieron como resultado $19,70 \text{ dS m}^{-1}$ y $15,80 \text{ dS m}^{-1}$ y en el límite inferior ligeramente salino $4,90 \text{ dS m}^{-1}$ y $4,50 \text{ dS m}^{-1}$. En el segundo año en suelos ligeramente salinos, acondicionados para cultivos de arroz, muestras a profundidades de 0,5 cm y 10 cm, demostraron la existencia de acumulación de sales afectando a los cultivos en su desarrollo y producción.

En los dos años de estudio el comportamiento temporal de la salinidad demostró que en la superficie de los suelos existe acumulación de sales decreciendo hacia la profundidad. Este comportamiento señala la intrusión salina del río Babahoyo que ingresa por los esteros y canales de riego que se agudizan por la deficiencia de los canales y drenajes. El pH del muestreo, decrece en todos los niveles, siendo mayor en el primer año de muestreo y menor en el segundo año, con tendencias ligeramente alcalina a prácticamente neutra (Pozo, Carrera y Sanfeliu 2010).

Barriga (2003), informa que la conductividad eléctrica en el Golfo de Guayaquil presenta valores que varían de $0,17 \text{ dS m}^{-1}$ a $3,77 \text{ dS m}^{-1}$, siendo un rango bajo, evidenciando que existen situaciones donde los valores de CE del agua causarían problemas de salinización de los suelos, mostrando niveles de salinidad por encima del nivel crítico, debiendo tener precaución con el uso de esas aguas. Generalmente los agricultores acostumbran a regar con baja mar, es cuando los niveles de salinidad son más bajos, siendo una buena práctica de manejo de agua. En la zona Daule donde no fue posible la nivelación del suelo y se produce la mayor acumulación de sales, encontrando problemas de desarrollo en las plantas de arroz, muy evidentes en siembra a trasplante.

Según Barriga (2003), en la zona de La Cuca - Arenillas, se evidenciaron plantas de cacao y plátano con necrosis en el borde de las hojas, especialmente las hojas viejas, pero en los cultivos como maní, limón, sandía y maíz, no se observaron esos síntomas. Esta sintomatología se observó a pesar de que la CE del suelo y del agua fue baja, esto debido a que estos cultivos tienen una alta sensibilidad a las concentraciones de sales solubles.

Siendo este caso de concentraciones de $0,83 \text{ dS m}^{-1}$ en la solución del suelo, causan manifestaciones en hojas viejas.

2.2.1.1. Proceso de salinización

En los suelos, el proceso de salinización se debe a la acumulación de sales solubles, que puede ocurrir de forma natural, cuando los suelos son bajos y planos y, que son periódicamente inundados por arroyos, ríos y aguas subterráneas poco profundas, donde el agua que contiene sales disueltas asciende por capilaridad. También puede haber salinización por un proceso antropogénico, generalmente asociado a sistemas de riego con exceso de sales solubles. Cuando la sal dominante es el cloruro de sodio (NaCl), se llama suelo salino-sódico. En ambos casos, la consecuencia es la salinización de los suelos que provoca pérdida de fertilidad, afectando la producción de los cultivos (Cabalseta y Cordero, 1991).

Hay principios básicos que guían a la mayoría de ellas como la reducción del ascenso capilar desde la capa freática, incremento de la infiltración, recuperación de la cobertura y mejorando las condiciones físicas y químicas de los suelos, las concentraciones de las sales en los suelos salinos, tienen un efecto osmótico sobre las plantas, ocasionando una succión similar al efecto que causa un suelo cuando se está secando; es decir, un suelo salino tiende a succionar el agua de la planta y las raíces de la planta responden a la succión osmótica de la solución del suelo (Cabalseta y Cordero, 1991).

Hay técnicas de recuperación o manejo de suelos salinos que difieren en su nivel de complejidad y abarcan prácticas agronómicas simples como, manejo de pastoreo con descansos periódicos (pastoreo rotativo), uso de coberturas o mulches, la inter siembra u otras, hasta mejorar los sistemas de drenajes (drenajes topo) o un manejo superficial de aguas (sistematización agro hidrológica); en todos los casos la influencia de la técnica será momentánea y de corto plazo (Lavado y Taboada, 2009).

Las enmiendas, conocidas también como cales, son productos naturales a base de calcio, magnesio y azufre, utilizadas para la corrección de sales del suelo, neutralizar los efectos tóxicos causados por altas concentraciones de hierro, aluminio y manganeso en suelos salinos, por su alto contenido de calcio. Las enmiendas también se pueden utilizar para corregir suelos alcalinos con pH muy altos (pH mayor a 8), caracterizados por tener altas

concentraciones de sales, utilizando para estos casos el yeso o sulfato de calcio, ambos por dar una reacción ácida en el suelo, actuando como corrector de alcalinidad (Blanco, 2002).

Fuentes como el yeso, cloruro de calcio, carbonato de calcio, fosfoyeso y calcita, son enmiendas que actúan de una forma muy eficiente sobre la salinidad y por el aporte importante de calcio que aportan a la solución del suelo, sabiendo que el calcio es fundamental para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, cumpliendo funciones específicas a nivel celular como elongación, división y estabilización de las células; por esta razón, la recuperación de suelos afectados por sales requieren de concentraciones adecuadas del ion calcio, que puede ser adicionada de forma directa o indirecta por estas enmiendas, (Hernández, 2000).

La carencia de este elemento en la solución nutritiva del suelo impide el crecimiento de las raíces, siendo muy importante para el desarrollo de las plantas, especialmente por la relación iónica que tiene con otros elementos; generalmente los suelos afectados por sales presentan una relación Na/Ca, en una proporción inadecuada, afectando el crecimiento normal de los cultivos, produciendo un efecto osmótico inverso (Hernández, 2000).

2.2.1.2. Tipos de suelos afectados por sales

Existen diferencias en la variabilidad de factores formadores de suelos, en las diferentes y diversas áreas fisiográficas de América, presentando problemas de acumulación de sales en el perfil de todos los tipos de suelos. El problema depende mucho de la cantidad de arcilla presente y de la magnitud de los procesos de evaporación y precipitación y del régimen de lavado del suelo. Generalmente todas las sales solubles juegan un papel importante en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (García, 2012).

a. Suelos salinos.- Se conoce a aquellos suelos que contienen muchas sales en la solución del suelo, perjudicando el desarrollo y producción de la mayoría de los cultivos, debido a que las arcillas adsorben un bajo contenido de sodio en la fase sólida, mantienen el suelo floculado, con buena estructura, presentando la infiltración y permeabilidad igual o mayor que un suelo normal. Por estas características, estos suelos se podrían lavar con agua en exceso y transformarse en suelos no salinos, quedando técnicamente limitado por la CE del extracto de saturación que debe superar los $4,00 \text{ dS m}^{-1}$ (aproximadamente 40 meq l^{-1} de sales), con un contenido de sodio intercambiable (PSI) inferior a 15 (Badia, 1992).

b. Suelos salinos sódicos.- Este tipo de suelos se caracterizan por tener un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) superior a 13 (mmol l^{-1}) con una CE del extracto de saturación $> 4,00 \text{ dS m}^{-1}$. Para este tipo de suelos el pH de una pasta saturada es comúnmente $< 8,50$ para suelos salinos-sódicos. Si bien se conoce, el pH no es un parámetro de diagnóstico para la sodicidad, porque hay suelos salinos-sódicos con valores de pH mayores de 8,50 presentando invariablemente grandes contenidos de sodio, lo cual puede ser atribuido a la acumulación de sales de sodio con hidrolisis alcalina; bicarbonatos y carbonatos (Guerrero, Pla, Camacho, Valera, Ferrer, 2007).

c. Suelos alcalinos.- Los suelos alcalinos son aquellos que contienen cantidades elevadas de metales alcalinotérreos (cationes básicos como Na, Ca, Mg y K, en estos suelos el pH es generalmente mayor de 7,0 (García, 2012). Generalmente el ión monovalente Na^+ es más abundante que los bivalentes Ca^{2+} y Mg^{2+} , que provoca dispersión de las arcillas, complicando la recuperación de estos suelos (Badía, 1992).

d. Suelos calcáreos.- Son suelos que presentan elevados contenidos de carbonatos (principalmente de Ca y Mg), pH siempre superior a 8,4 y fuerte reacción al HClO.1N. En este tipo de suelos se pueden formar carbonatos de muchos metales los cuales imponen límites a la solubilidad de esos iones metálicos y a su disponibilidad para las plantas. Recuperar suelos afectados por sales generalmente resulta antieconómica, pero cuando se lo hace, se aplican prácticas integrales utilizando enmiendas orgánicas e inorgánicas en suelos sódicos y salino-sódicos; mediante lavados para remover sales solubles de la zona radical de los cultivos, después que se cumple el proceso de incubación y cuando se aplican enmiendas a los suelos con problemas de sales (García *et al.*, 2012).

e. Suelos con alta saturación de magnesio.- De acuerdo a García (2012), los suelos con alto contenido de magnesio en el sistema se llaman magnésicos, donde el ion Mg^{2+} actúa con propiedades dispersivas que causan efectos adversos sobre las propiedades físicas del suelo, en forma similar al realizado por el Na^+ intercambiable. Se ha reportado presencia de suelos afectados por alta saturación de Mg^{2+} en el complejo de cambio en algunos lugares del mundo como en el delta del río Nilo en Egipto y Sacramento en California, Estados Unidos o en el valle del Cauca en Colombia. Estos suelos se caracterizan por tener

reacción alcalina, pero con un pH menor que el de los suelos sódicos; además de ser muy plásticos y pegajosos cuando húmedos y muy duros cuando secos. Hay suelos donde el magnesio se acumula en forma de sales inorgánicas tóxicas para las plantas, principalmente sulfato y cloruro de Mg, conociéndoles como Solonetz.

Los Solonetz contienen una delgada y suelta capa de materia orgánica mal descompuesta, que descansa directamente sobre un material negro humificado de 2 a 3 cm de espesor. Posee un horizonte superficial de color pardo, somero y granular, también puede alcanzar y sobrepasar los 25 cm de espesor. Por lo general es fácilmente erosionable. En estos suelos, un horizonte Albico, blanquecino, se puede presentar entre el horizonte superficial y el horizonte natrico, este último se clasifica con la profundidad en el subsuelo masivo. Los suelos Solonetz poseen un horizonte subsuperficial arcilloso, denso, fuertemente estructurado, que contienen una proporción alta de iones de Na y Mg adsorbidos. Los Solonetz que contienen Na_2CO_3 libre son fuertemente alcalinos con pH de campo $> 8,50$ (Ibáñez y Manríquez, 2014).

2.2.2. Efectos sobre la fisiología y rendimiento de las plantas

En suelos con problemas de salinización se observan cultivos de arroz con parches de plantas que dejan de crecer y tienen hojas con puntas blancas y algunas hojas presentan clorosis, detiene el crecimiento y a su vez el macollamiento, apareciendo estos síntomas en las primeras hojas luego en la segunda y finalmente en la hoja en desarrollo. Este cultivo es más tolerante en la etapa de germinación, pero sufren efectos al trasplantarse, y en la etapa de floración se incrementa la esterilidad de las espigas reduciendo el peso y el contenido total en el grano, afectando los rendimientos (Dobermann y Fairhurst, 2012). En trabajos de investigación realizados en Costa Rica, usando macetas de 300 ml de capacidad, mezclando suelos salino y no salino y sembrando dos variedades de arroz (R1113 Y CR1821), el pH inicial del suelo salino fue de 7,90 y del no salino 6,60, la capacidad de intercambio catiónica (CICE) 7 dS m^{-1} y en no salino $0,10 \text{ dS m}^{-1}$ al comparar el valor de CE con un valor crítico de 2 dS m^{-1} para el cultivo de arroz. Se observó que en la producción de materia seca en el suelo no salino ($1,80 \text{ g maceta}^{-1}$), bajó bruscamente en 50% cuando se mezclaron en iguales proporciones con el no salino, con una CE que se estimó en $3,50 \text{ dS m}^{-1}$. Pero cuando las plantas crecieron en el suelo salino con CE de $7,00 \text{ dS m}^{-1}$, los rendimientos fueron cercanos

a cero. Representando un nivel crítico establecido para el cultivo de arroz (Cabalseta y Cordero, 1991).

Los niveles de sales que van desde 4,00 a 8,00 mmho cm^{-1} , en suelos húmedos pueden permitir una normal germinación en plantas de arroz, pero podrían provocar la pérdida del cultivo antes del macollamiento (Noborski, 2000).

Las plantas en condiciones salinas toman el cloro a través de canales de aniones. Una vez que entra el cloro por medio de la raíz vía simpática llega al xilema, aumentando la concentración en las hojas más viejas, llegando a un nivel de toxicidad en concentraciones de 4 a 7 y 15 a 40 mg g^{-1} del peso seco para las plantas sensibles y tolerantes, respectivamente. Si sobrepasan los 80,00 mg g^{-1} en tejidos húmedos tienden a alterar la morfología de la planta (Lamz y González, 2013).

En el cultivo de tomate el aumento de concentraciones salinas de las soluciones nutritivas de 12,00 mm l^{-1} a 150,00 mm l^{-1} , tuvieron reducciones del rendimiento en masa seca del 61%, en hojas 71%, en tallos y 63% en raíces. Mientras que en el cultivo de pepino con aumentos de 5,00 hasta 50,00 mm l^{-1} de sales, tuvieron ascensos del 55% para el área foliar, 52% para los tallos y 60% para las raíces, resultando letales las concentraciones mayores de 100,00 mm l^{-1} , esto se debe a la reacción provocada en el crecimiento de diversos cultivos por el aumento del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), bajo condiciones no salinas, siendo estas medidas en grados de tolerancia (Martínez y Cerda, 1988, citados por Flores, 1991).

En un cultivo de tomate larga vida, al sureste de España, se realizaron varios ensayos en efecto de niveles crecientes de salinidad. El valor de la CE aplicada siempre estuvo por debajo de 10,00 dS m^{-1} . En un suelo bajo condiciones de salinidad moderada se mejoró la calidad del tomate, pero no se compensa en términos económicos la reducción que se obtuvo en el calibre y en la producción; por esta razón el valor de la conductividad eléctrica de la solución está por debajo de 3,50 dS m^{-1} , a partir de este valor hay un descenso en la producción. La pendiente de descenso varió entre un 8,8% por cada incremento de unidad de CE; este estudio se realizó en condiciones de salinidad moderada (Magan, Gallardo y Lorenzo, 2013).

En varios tratamientos se realizaron comparaciones con salinidad creciente, con una solución nutritiva del tratamiento control de $2,50 \text{ dS m}^{-1}$ la concentración más baja de sodio y cloruros, pero en el resto de los tratamientos el aumento de la CE fue de 1,0% y 11,8%. Como resultado se observó que las variedades elegidas tuvieron una ligera influencia sobre este parámetro ya que con la variedad Daniela, se situó en $3,80 \text{ dS m}^{-1}$ y con la variedad Boludo a $3,20 \text{ dS m}^{-1}$, observando como síntoma necrosis apical en el fruto (Magan, Gallardo y Lorenzo, 2013).

En esta investigación la variedad Boludo mostró ser más susceptible que Daniela ya que presentó un umbral menor de $3,50 \text{ dS m}^{-1}$ frente a $4,80 \text{ dS m}^{-1}$ con mayores pendientes aumentando el porcentaje de necrosis apical por encima del umbral (Magan, Gallardo y Lorenzo, 2013).

El cultivo de nogal pecanero, también es afectado por problemas de salinidad; así en estudio cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la salinidad del suelo y agua en la producción de nuez en la Comarca Lagunera, realizado recopilando datos de 17 huertas de nogal de la variedad cv western, se evaluó la producción de nuez durante tres años, tomando datos de suelo y agua de todas las huertas seleccionadas. Los resultados obtenidos demostraron que las huertas, cuyo rendimiento de nuez en kg árbol^{-1} tienden a reducir cuando la CE del agua fue de $1,00 \text{ dS m}^{-1}$ a $2,50 \text{ dS m}^{-1}$; CE del suelo $> 2,00 \text{ dS m}^{-1}$; PSI del suelo 3,00%. Localizándose en un distrito de riego, con un área de $83,93 \text{ ha}^{-1}$, la salinidad del agua fue de CE $2,50 \text{ dS m}^{-1}$, por tal razón, se estima que este cultivo reduce su rendimiento hasta un 76%, en donde se deben realizar prácticas de prevención y control salinidad y sodicidad de estos suelos (Santamaría y Medina, 2005).

2.2.3. Principales enmiendas minerales

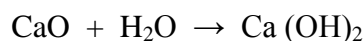
Las enmiendas químicas más comúnmente utilizadas en los suelos afectados por sodio, son el azufre y el yeso, por ser de menor costo. El yeso es de acción más rápida que el azufre y es usado en suelos carentes de carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de Magnesio (MgCO_3). Hay enmiendas orgánicas que también se utilizan para estos propósitos como los estiércoles, abonos verdes, cachaza y melaza (Zerega y Adams, 2011).

2.2.3.1. Cal viva

Es piedra caliza calcinada o quemada en hornos, conocido también como óxido de calcio (CaO) que contiene alrededor del 70% de calcio; para aplicaciones al suelo se asperja y se recomienda mezclar bien (incorporar) (Blanco, 2002).

2.2.3.2. Cal apagada

Llamada como Cal hidratada (Ca(OH)₂), se obtiene al tratar la cal viva con agua, es menos fuerte que la anterior, y de difícil manipulación. Es un polvo blanco, con 50% de calcio y que reacciona muy rápido, por eso se debe incorporar al suelo mínimo de 20 a 30 días antes de la siembra (Blanco, 2002; Molina, 2014).



2.2.3.3. Cal agrícola

Se encuentra en forma natural como carbonato de calcio (CaCO₃) con una concentración de 40% de calcio (Blanco, 2002).

El uso apropiado de esta enmienda, es un factor de mucha importancia para una exitosa producción de los cultivos, pudiendo mejorar los rendimientos y productividad de los suelos, al mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos; mejora la fijación simbiótica del nitrógeno (N) en las leguminosas; además, reduce la toxicidad de algunos elementos minerales que se encuentran retenidos en el suelo, mejorando la disponibilidad de los nutrientes en las plantas; mejora la capacidad tampón que es una medida de resistencia a los cambios de pH. La cantidad de cal necesaria para ajustar el pH a un nivel requerido dependerá de la textura, CIC, materia orgánica y origen del suelo (Lazcano, sf).

2.2.3.4. Sulfato de calcio

Conocido en el comercio como yeso (CaSO₄·2H₂O), de origen natural o sintético utilizado como enmienda para mejorar los suelos, teniendo diversas reacciones en los suelos. Provee calcio y azufre a las plantas aumentando la lixiviación de cationes del subsuelo, mejorando su estructura, reduciendo la salinidad en suelos con problemas de sodio. Incrementa el contenido de calcio y magnesio en las capas más profundas del suelo reduciendo así la

saturación de aluminio en suelos ácidos, favoreciendo el crecimiento normal de las raíces de forma vertical en el perfil del suelo (Molina, 1999).

El yeso es una enmienda que se agrega al suelo sea como fuente de nutriente o para mejorar propiedades del suelo, es soluble en agua y es 100 veces más soluble que la piedra caliza en pH neutro. Cuando se adiciona al suelo existen factores que dependen mucho de su solubilidad incluyendo el tamaño de las partículas, la humedad del suelo y las propiedades edáficas. La disolución del yeso en el agua libera Ca^{2+} y SO_4^{2-} , sin tener significativamente impacto directo en el pH del suelo. En suelos con exceso de sodio (Na), el Ca que se libera del yeso tiende a unirse con mayor afinidad que el sodio en los sitios de intercambio, liberando el sodio que se lixivia de la zona radicular, cuando se utiliza para la recuperación de suelos con alto contenido de sales (IPNI, 2014).

2.2.3.5. Ácido monosilícico

El efecto de la fertilización a base de silicio es beneficioso, y positivo en las plantas, por elevar la fertilidad de los suelos, aumentando la productividad de los cultivos y la calidad de los mismos; protege a las plantas de ataques de insectos y enfermedades, reduce la tasa de aplicaciones de riego de hasta 40% a 50%, se rehabilitan los suelos afectados por salinidad y previene la salinidad secundaria, optimiza la absorción de fósforo, aumentando la eficiencia de fertilizantes fosfatados (Matichenkov, 2008).

De acuerdo a Quero (2008), el silicio incrementa la resistencia del suelo a la erosión hídrica e eólica elevando la estabilidad de agregados coloidales; además de restaurar su estructura, incrementando la capacidad de retención de agua de 30% a 100% y la CIC sobre todo en pH mayor a 7,00.

El silicio aumenta la masa radicular de la planta en un 50 hasta 200%, estimulando el macollamiento por tal razón aumenta el número de tallos por semilla. La fertilización con silicio ayuda a completar la rehabilitación de suelos afectados por sales, compactación y bajos niveles de pH (Quero, 2008).

A inicios del año 1884 varios laboratorios han realizado experimentos a nivel de invernadero y de campo demostrando beneficios de la fertilización con silicio, creando incrementos en aplicaciones sobre cultivos como el arroz (15-100%), maíz (15-35%), trigo

(10-30%), cebada (10-40%), caña de azúcar (10-55%) y demás cultivos, creando una agricultura sostenible y fértil (Quero, 2008).

2.2.3.6. Zeolita

Las zeolitas son aluminosilicatos con estructuras tridimensionales tetraédricas compuestos de Si y Al, lo que le da la forma de cavernas, canales, poros y cavidades (Matichenkov, 2008), tienen enlaces muy rígidos por todas direcciones, por tal razón cuando se sumergen en agua no se hinchan y los tamaños de los canales son de mucha importancia, porque su intercambio iónico se efectúa a través de ellos; hay reportes de su uso en la agricultura en cultivos como arroz, cebada, maíz, frijol, sorgo forrajero y hortalizas, siendo estos cultivados en suelos arenosos, limosos, arcillosos, francos, franco arenosos y franco arcillosos (Gonzales, *et al.*, 2012).

El potencial de la clinoptilolita (tipo de zeolita) cumple la función de mejorador y fertilizante de lenta liberación, por su alta CIC y su afinidad por K^+ y NH_4^+ , permitiéndole capturar el NH_4^+ en los canales que forman su estructura, evitando la oxidación del nitrato por bacterias nitrificantes, reduciendo perdidas por lixiviación, también actúan como reservorios de amonio, disminuyendo su toxicidad cuando se hacen excesivas aplicaciones de urea. La afinidad que tienen las zeolitas por el amonio ha hecho que países de Latinoamérica y el Caribe puedan elevar sus rendimientos en cultivos como papa y tomate (Gonzales, *et al.*, 2012).

2.2.4. Efectos de las aplicaciones de las enmiendas

En regiones donde el sulfato de calcio es de baja disponibilidad, otra alternativa es utilizar carbonato de calcio, enmienda que previene la dispersión de las arcillas y estabiliza los agregados en los suelos con porcentajes de sodio intercambiable (PSI) menor a 20, provocando un aumento en la concentración de electrolitos al disolverse. Cuando los valores de PSI son altos en la solución del suelo, la calcita no proporciona suficientes electrolitos como para contrarrestar los efectos dispersantes del sodio, reduciéndolo considerablemente (Barriga, 2003).

En suelo sódico a profundidad de 1,20 m su recuperación sin restricción de lavado requiere $93 \text{ t ha}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de CaSO_4 , $53 \text{ t ha}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de ácido sulfúrico, $17 \text{ t ha}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de azufre lo cual sería anti económico; generalmente se acostumbra a mejorar cada año de cultivo espesores de 30

cm y los rendimientos siguen siendo pésimos, indicando que las enmiendas no sirven, cuando en realidad es que la dosis es insuficiente (Funprover, sf).

En trabajo realizado con aplicaciones de CaSO_4 en dos suelos de Brasil, suelo de Condado con pH de 9,20; CE 8,35 dS m^{-1} ; PSI 47,03% y para el suelo de San Gonzalo con pH de 8,10; CE 17,10 dS m^{-1} ; PSI 52,85%, se evaluó los efectos de la aplicación de yeso que contenía de 25 a 27% de Ca y 14 a 17% de S. Las dosis de yeso fueron incorporadas en 2,20 kg de suelo acondicionadas en recipientes plásticos, cada unidad experimental fue irrigada durante los primeros 30 días, cada 4 días con 100 ml de agua salina. Los lavados y lixiviados se efectuaron a los 30, 60, 90 y 120 días, después de la aplicación del yeso, con un volumen de agua salina equivalente a dos veces la porosidad total de cada suelo. Como resultado se encontró que para el suelo de Condado fue disminuida la CE, PSI y pH a $< 2,00 \text{ dS m}^{-1}$; $< 5,00\%$ y $< 7,50$; y en el suelo de San Gonzalo a $< 4,50 \text{ dS m}^{-1}$; $< 5,00\%$ y 8,50, respectivamente (Leite *et al.*, 2007).

Trabajando con aplicaciones al follaje de Ácido monosilícico, se evaluó la altura de plantas en cultivo de arroz a los 45 días después de la aplicación, se encontró que con dosis de 0,10 y 0,40 l ha^{-1} se consiguieron plantas de 65,68 cm y 61,80 cm, respectivamente y superaron al tratamiento testigo que alcanzó una altura de 53,28 cm; también este efecto se vio reflejado en el número de macollos, siendo los mejores tratamientos con dosis de 0,20 y 0,50 l ha^{-1} con 21,78 y 21,23 macollos, respectivamente superando al tratamiento testigo que fue el más bajo con 19,18 macollos (Orejuela, 2010).

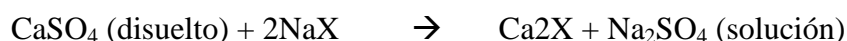
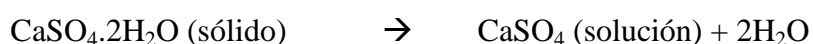
El silicio aumenta la resistencia de la planta sobre la salinidad, una fertilización con silicio puede aliviar el estrés causado por el sodio en las plantas cultivadas, aunque existen pocas hipótesis del efecto del silicio sobre el estrés salino. El silicio tiene acción sinérgica con el Ca, Mg, Fe, Zn y Mo. Optimizando el desarrollo y producción de los cultivos, esto indudablemente ocurrirá en suelos con más de 700 t ha^{-1} de silicio elemental y con pH mayor a 7,50 y con una alta CIC (Quero, 2008).

De acuerdo a Kass (2007), el carbonato de calcio (CaCO_3) en disolución acuosa se disuelve e hidroliza para formar iones hidroxilo u OH^- , con base en la siguiente reacción:



La reacción final de un encalado, significa la presencia de iones de calcio y magnesio intercambiables en la superficie de las arcillas.

La enmienda más utilizada para rehabilitar suelos sódicos y salinos es el yeso o sulfato de calcio ($\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Esto se debe a la disponibilidad y bajo costo, además del aporte de calcio y electrolitos para recuperar suelos sódicos y evitar modificaciones en suelos salinos. La respuesta inicial del yeso es resultado de la concentración electrolítica, que flocula al suelo ya dispersado o evita que se disperse si aún no lo está. A medida que mejora la penetración del agua en el suelo, cobra importancia el intercambio del Na^+ por el Ca^{2+} . La solubilidad del yeso depende mucho de la composición de la solución del suelo y de la composición de la fase de intercambio. Según Lavado y Taboada (2009) la reacción puede sintetizarse en:



Las aplicaciones de hidróxido de calcio al suelo tienen una reacción que pasa a formas de carbonatos solubles, estas dan como resultado una reacción de la cal con el CO_2 encontrándose en estado físico por el cual tienden a disolverse más fácilmente que las partículas de cal, siendo esta la reacción química del carbonato de calcio en el suelo.



Cuando reacciona con el agua del suelo, resultan iones de calcio disponibles y bicarbonatos, que al unirse con el hidróxido son altamente lixiviados al unirse con el sodio, esta reacción contribuye a la disminución de sodio solubles en la solución del suelo, dando como resultado la disminución de la CE (FEUCHTER, 2010 citado por Suarez, 2010).

El ácido monosilícico afecta a mucha de las propiedades químicas y físico-químicas del suelo. Existen bastantes hipótesis que explican el efecto del silicio activo sobre la resistencia de la planta a la salinidad, mejorando la actividad fotosintética, incrementando la actividad enzimática, aumentando el rango de relación K/Na, incrementa la concentración de sustancias solubles en el xilema, provocando una reducción de la absorción del sodio por los vegetales (Matichenkov, 2008).

Las zeolitas juegan un papel muy importante como acondicionadores de suelos erosionados, salinizados y ácidos, mejorando el pH; la propensión de la zeolita por el ion sodio (Na^+) mejora los suelos con alto contenido de sales, mediante un intercambio iónico con el calcio (Casals, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio de estudio

Esta investigación se desarrolló en el invernadero y laboratorio del Departamento de Suelos de la Estación Experimental Litoral Sur (EELS) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en el km 26 de la vía Duran-Tambo, parroquia Virgen de Fátima.

Las características climáticas de las zonas donde se desarrolló la investigación y colectaron los suelos para el estudio, se presentan en la Tabla 3,1.

3.1.1. Características edáficas

La determinación de las características químicas de los suelos efecto de estudio se presentan en la Tabla 3.2 y fueron realizados en el laboratorio del Departamento de Suelos de la EELS. La determinación de pH fue con relación suelo: agua de 1:2,5, N, P y B por colorimetría, S turbidimetría y los cationes leídos en absorción atómica, usando como extractante Olsen modificado y para B y S fosfato de calcio monobásico. La salinidad fue realizada usando el extracto de pasta saturada, donde se contabilizaron los cationes y aniones intercambiables, CE y RAS, clasificándolos como suelos salinos. La textura por el método de Bouyoucus y la densidad del suelo por el método del terrón parafinado (Tabla 3.3).

Tabla 3.1. Características climáticas del sitio del trabajo y las zonas de origen de los suelos

Variables Climáticas	EELS*	Daule*	Yaguachi**	Arenillas**
Altura (msnm)	17,00	7,00	13,00	26,00
Temperatura (°C)	26,30	26,60	25,70	25,00
Precipitación anual (mm)	10002,70	1177,10	1369,50	1161,50
Humedad relativa (%)	82,00	87,00	79,00	84,00
Heliofanía (horas luz año⁻¹)	726,20	1118,80	973,40	992,00

* INAMHI, 2010; **INAMHI, 2009; EELS= Estación Experimental Litoral Sur (INIAP)

Tabla 3.2. Propiedades químicas de los suelos efecto de estudio, según su localidad

Identificación de suelos	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
La Cuca	6,5 LAC	26,0	47,0	0,8	11,1	7,1	334,0	3,7	2,7	30,0	124,0	2,1
El Pan	7,8 LAI	30,0	10,0	0,3	15,5	12,9	216,0	1,4	15,9	6,0	55,0	0,2
Petrillo	7,0 N	36,0	6,0	0,5	16,0	12,2	606,0	3,8	5,8	5,0	44,0	1,1

LAC, ligeramente ácido; LAI, ligeramente alcalino; N, neutro.

Tabla 3.3. Análisis químico de salinidad en extracto de pasta saturada en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo

Lote	pH	CE	Na	K	Ca	Mg	Suma	CO ₃ H	CO ₃	SO ₄	Cl	RAS	PSI
La Cuca	7,8	17,48	1038	104,1	1264	856,4	3262	2	ND	32	148	6	6
El Pan	8,3	3,33	298	7,2	207	129	640,4	5,2	0,8	7	22	4	4
Petrillo	8,0	6,89	667	22,8	380	270	1339	6,6	0,2	21	44	6	8

Tabla 3.4. Características físicas y químicas de los suelos

Identificación	M.O.	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	Densidad aparente
La Cuca	3	49	43	8	Arcilloso	1,1
El Pan	3,2	13	35	52	Franco	1,2
Petrillo	4,7	13	31	56	Arcilloso	1,4

M.O. Materia Orgánica del suelo

3.1.1.1. Petrillo, cantón Daule

Los suelos de esta localidad según Vallejo (1997) son Verticos arcillosos con 35% arcilla muy plástica y pegajosa y 50% de la fracción de arcilla expandible (2:1) con severo agrietamiento e hinchamiento del suelo, reacción calcárea con presencia de carbonato de calcio libre dentro de los 50 cm (efervescencia con HCl) o pH 7,3.

3.1.1.2. El Pan, cantón Yaguachi

Los suelos de esta localidad son Vertisoles arcillosos Gley con $> 35\%$ arcilla, muy plástica y pegajosa y $> 50\%$ de la fracción de arcilla expandible (2:1) con severo agrietamiento e hinchamiento del suelo; mal drenados, saturado con agua por más de 60 días la mayoría de los años, además, presenta moteados con cromas < 2 en los primeros 60 cm y debajo de los horizontes AB (Vallejo, 1997).

3.1.1.3. La Cuca, cantón Arenillas

Los suelos de esta localidad son francos 35% arcilla excepto lugares con arenas y arenas francas semi modificadas, sobre arcilla, seco, con características vérticas, calcáreas. Subsuelo franco: igual que el tipo: arcillo gravilloso. Suelo seco por más de 60 días consecutivos, con profundidad de 20 a 60 cm. Calcáreo, carbonato de calcio libre dentro de los 50 cm (efervescencia con HCl), $\text{pH} > 7,30$ (Vallejo, 1997).

3.2. Técnicas, procedimientos, instrumentos y recursos

En invernadero fueron usados equipos portátiles de medición de pH y conductividad eléctrica (marca Hanna); en tanto que para los análisis de suelos y tejidos se utilizaron los equipos disponibles en el laboratorio del Departamento de Suelos y Aguas de la EELS como espectrofotómetro de absorción atómica, balanzas analíticas, destilador de agua, deionizador de agua, pipetas automáticas entre otros.

Esta investigación se desarrolló en dos fases. La primera donde se evaluaron los cambios en las características químicas del suelo por efecto de la aplicación de enmiendas minerales y la segunda, donde se observaron los efectos de estas enmiendas sobre el desarrollo y nutrición de plantas de arroz.

3.3. Diseño experimental, factores y variables de estudio

3.3.1. Diseño experimental

En las dos fases, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 5 x 5 + 3 (tres suelos, cinco enmiendas, cinco dosis, más tres tratamientos testigo), con tres replicas, cuyo ADEVA se presenta en la Tabla 3.5

Tabla 3.5. ADEVA utilizado en los análisis estadísticos de los datos obtenidos en las variables estudiadas

Fuentes de variación	GI
Modelo.	77
Tratamientos	77
Suelo	2
Enmienda	4
Dosis	4
Suelo*Enmienda	8
Suelo*Dosis	8
Enmienda*Dosis	16
Suelo*Enmienda*Dosis	32
La Cuca (T78 vs T51 a T75)	1
El Pan (T76 vs T1 A T25)	1
Petrillo (T77 vs T26 a T50)	1
Error experimental	156
Total	233

Los valores medios de las variables colectadas, excepto los resultados del análisis químico de suelos (macro y micronutrientes), fueron comparados usando la prueba de rango múltiple de Duncan con el 5% de probabilidad. Además, se realizaron regresiones con las dosis de enmiendas evaluadas, correlaciones entre variables dependientes.

3.3.2. Factores en estudio

Se evaluaron tres suelos salinos (factor A), colectados en zonas arroceras de Yaguachi, Petrillo y La Cuca, donde fueron aplicadas cinco enmiendas minerales (CaCO_3 , Ca(OH)_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, zeolita y CaSiO_4) (factor B), cuyos resultados de análisis se presenta en el Tabla 3.6. en cinco dosis (factor C).

Los tratamientos que resultaron de la combinación de estos factores se observan en la Tabla 3.6, además, constan tres tratamientos adicionales que son testigos, los mismos que corresponderán a cada suelo, sin recibir tratamiento con enmiendas.

Tabla 3.6. Características químicas de las enmiendas

Enmiendas	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	
		dag kg⁻¹						mg kg⁻¹				
Carbonato de calcio	0,06	0,19	0,03	25,10	0,20	Nd	22	4360	93	30	Nd	
Sulfato de calcio	0,09	0,16	0,12	8,94	0,40	6,7	235	13648	2108	40	Nd	
Hidróxido de calcio	0,08	0,17	0,02	30,20	0,32	Nd	52	3215	84	75	Nd	
Ácido Monosilícico	Nd	Nd	Nd	1,00	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	3,18	
Zeolita	0,13	0,16	0,12	8,94	0,40	1,50	235	13648	2108	40	Nd	

Nd = No determinado

Tabla 3.7. Tratamientos aplicados para corregir la salinidad de tres suelos del Litoral ecuatoriano, dedicados al cultivo de arroz

N°	Suelo	Enmienda	Dosis t ha ⁻¹	N°	Suelo	Enmienda	Dosis t ha ⁻¹	N°	Suelo	Enmienda	Dosis t ha ⁻¹
1	Yaguachi	CaCO ₃	1,5	26	Petrillo	CaCO ₃	1,5	51	La Cuca	CaCO ₃	1,5
2	Yaguachi	CaCO ₃	3,0	27	Petrillo	CaCO ₃	3,0	52	La Cuca	CaOO ₃	3,0
3	Yaguachi	CaCO ₃	4,5	28	Petrillo	CaCO ₃	4,5	53	La Cuca	CaCO ₃	4,5
4	Yaguachi	CaCO ₃	6,0	29	Petrillo	CaCO ₃	6,0	54	La Cuca	CaCO ₃	6,0
5	Yaguachi	CaCO ₃	7,5	30	Petrillo	CaCO ₃	7,5	55	La Cuca	CaCO ₃	7,5
6	Yaguachi	Ca(OH) ₂	1,5	31	Petrillo	Ca(OH) ₂	1,5	56	La Cuca	Ca(OH) ₂	1,5
7	Yaguachi	Ca(OH) ₂	3,0	32	Petrillo	Ca(OH) ₂	3,0	57	La Cuca	Ca(OH) ₂	3,0
8	Yaguachi	Ca(OH) ₂	4,5	33	Petrillo	Ca(OH) ₂	4,5	58	La Cuca	Ca(OH) ₂	4,5
9	Yaguachi	Ca(OH) ₂	6,0	34	Petrillo	Ca(OH) ₂	6,0	59	La Cuca	Ca(OH) ₂	6,0
10	Yaguachi	Ca(OH) ₂	7,5	35	Petrillo	Ca(OH) ₂	7,5	60	La Cuca	Ca(OH) ₂	7,5
11	Yaguachi	CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,5	36	Petrillo	CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,5	61	La Cuca	CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,5
12	Yaguachi	CaSO ₄ ·2H ₂ O	3,0	37	Petrillo	CaSO ₄ ·2H ₂ O	3,0	62	La Cuca	CaSO ₄ ·2H ₂ O	3,0
13	Yaguachi	CaSO ₄ ·2H ₂ O	4,5	38	Petrillo	CaSO ₄ ·2H ₂ O	4,5	63	La Cuca	CaSO ₄ ·2H ₂ O	4,5
14	Yaguachi	CaSO ₄ ·2H ₂ O	6,0	39	Petrillo	CaSO ₄ ·2H ₂ O	6,0	64	La Cuca	CaSO ₄ ·2H ₂ O	6,0
15	Yaguachi	CaSO ₄ ·2H ₂ O	7,5	40	Petrillo	CaSO ₄ ·2H ₂ O	7,5	65	La Cuca	CaSO ₄ ·2H ₂ O	7,5
16	Yaguachi	zeolita	1,5	41	Petrillo	zeolita	1,5	66	La Cuca	zeolita	1,5
17	Yaguachi	zeolita	3,0	42	Petrillo	zeolita	3,0	67	La Cuca	zeolita	3,0
18	Yaguachi	zeolita	4,5	43	Petrillo	zeolita	4,5	68	La Cuca	zeolita	4,5
19	Yaguachi	zeolita	6,0	44	Petrillo	zeolita	6,0	69	La Cuca	zeolita	6,0
20	Yaguachi	zeolita	7,5	45	Petrillo	zeolita	7,5	70	La Cuca	zeolita	7,5
			1 ha⁻¹				1 ha⁻¹				1 ha⁻¹
21	Yaguachi	SiO ₄	1,5	46	Petrillo	SiO ₄	1,5	71	La Cuca	SiO ₄	1,5
22	Yaguachi	SiO ₄	3,0	47	Petrillo	SiO ₄	3,0	72	La Cuca	SiO ₄	3,0
23	Yaguachi	SiO ₄	4,5	48	Petrillo	SiO ₄	4,5	73	La Cuca	SiO ₄	4,5
24	Yaguachi	SiO ₄	6,0	49	Petrillo	SiO ₄	6,0	74	La Cuca	SiO ₄	6,0
25	Yaguachi	SiO ₄	7,5	50	Petrillo	SiO ₄	7,5	75	La Cuca	SiO ₄	7,5
76	Yaguachi		0	77	Petrillo		0	78	La Cuca		0

3.3.3. Variables en estudio

Este estudio se realizó a nivel de invernadero en dos fases: la primera consiste en la aplicación de enmiendas en diferentes dosis a suelos provenientes de distintas localidades, para observar los efectos sobre las variables de salinidad como conductividad eléctrica, pH y fertilidad del suelo (macro y micronutrientes).

La segunda fase consistió en la siembra de semillas de arroz en los suelos de la fase uno, en cuyas plantas se determinaron las variaciones en las características fisiológicas, rendimiento y nutrición, así como sus respectivas relaciones entre elementos presentes en los tejidos.

Primera fase

3.3.3.1. Conductividad eléctrica (CE)

Esta variable se registró desde la instalación del experimento hasta los 60 días (0,15, 30, 45, 60 días después de la aplicación), a partir de los 15 DDA, en cada uno de estos tiempos se eliminó el agua y se repuso el agua. Para el efecto, en la parte central del suelo de cada maceta, se realizó un orificio, con un diámetro aproximado de 2 cm, donde se acumuló la solución del suelo y sirvió para drenarla. En esta agua drenada, se introdujo el electrodo del equipo portátil, previamente calibrado en el laboratorio, y se registró la CE de cada tratamiento en dS m^{-1} .

3.3.3.2. pH

En la misma solución y tiempos de la variable anterior y con el mismo equipo portátil, se registró el pH de la solución del suelo.

3.3.3.3. Fertilidad del suelo

Transcurridos 60 días de tratamiento de los suelos, fueron secados al ambiente, molidos, tamizados, para posteriormente recolectar sub muestras de 150 g de cada una de las macetas, usando las tres repeticiones, se formó una muestra compuesta para ser enviada al laboratorio del Departamento de Suelos de la EELS, donde se analizó y se determinó la disponibilidad de nutrientes, CE, el pH, aniones y cationes y el RAS.

Segunda fase

3.3.3.4. Altura de planta

A los 90 días después de la siembra se tomó esta variable con ayuda de una regla graduada en centímetros, considerando la altura desde el cuello de la planta hasta la punta de la hoja más sobresaliente.

3.3.3.5. Área foliar a la floración

A los 75 días de la siembra, se procedió a medir el área foliar, se escogió de cada planta la segunda hoja de arriba hacia abajo, para lo cual se utilizó una regla graduada. De tal manera se midió el largo de la hoja (desde el ápice hasta la inserción del peciolo de la hoja); y el ancho de la misma hoja (de la parte central de la hoja, del extremo del limbo al otro extremo), midiendo como mínimo 5 hojas y como máximo 10 hojas.

3.3.3.6. Número de macollos

Luego del corte de las plantas cosechadas, se contabilizaron los macollos presentes en cada maceta, producto de las cinco semillas sembradas inicialmente. Este valor se dividió para las cinco semillas y obtener el promedio de número de macollos por planta.

3.3.3.7. Contenido de clorofila (Índice Spad)

Con ayuda de un medidor de clorofila (SPAD), se midió los contenidos de clorofila a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra.

3.3.3.8. Peso de materia seca de panca (PMSP)

Se determinó el peso total de panca húmeda (PHP), seguidamente fue colectada una sub muestra (PHPsubm) que fue colocada por 48 h en estufa con circulación forzada de aire a 65 °C y se determinó el peso seco de panca (PPSsubm) y con ayuda de la ecuación 3, se determinó la producción de materia seca de panca por maceta (PMSP).

$$PMSP = ((PHP \times PPS_{subm}) / PHP_{subm}) \quad (\text{Ecuación 3})$$

3.3.3.9. Absorción de macro y micronutrientes (AN)

La materia seca de la panca obtenida, se llevó al laboratorio para determinar la concentración de macro (CNma) y micronutrientes más Cl y Na (CNmi). Cada muestra estuvo compuesta de tres sub muestras, una por cada repetición.

Con los datos de concentración de nutrientes en los tejidos y la producción de materia seca (PMSt), se determinó la absorción de nutrientes por las plantas (AN), con ayuda de la ecuación 4 y 5 para macro y micronutrientes respectivamente.

$$AN_{ma} \text{ (g maceta}^{-1}\text{)} = ((PMSt \text{ (g)} \times CN_{ma} \text{ (dag kg}^{-1}\text{))}/100) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$AN_{mi} \text{ (mg maceta}^{-1}\text{)} = ((PMSt \text{ (g)} \times CN_{mi} \text{ (mg kg}^{-1}\text{))}/1000) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

3.3.3.10. Relaciones iónicas de los nutrientes en los tejidos

Con los datos de concentración de elementos en los tejidos, se determinaron correlaciones y las variaciones de las relaciones Na/K, Na/Ca, Na/Mg, Ca/Mg, K/Mg, Cl/P y Cl/B en los tejidos de las plantas.

3.4. Manejo del experimento

3.4.1. Primera fase

Consistió en la aplicación de las enmiendas del suelo en diferentes dosis, para observar los efectos sobre las variables de salinidad como conductividad eléctrica, pH y fertilidad del suelo (macro y micronutrientes).

Se recolectó suelo de la capa superficial (0-20 cm), en las tres zonas arroceras con problemas de salinidad (previa determinación de CE), lo suficiente como para obtener 200 kg de suelo seco, molido y tamizado por malla de 2 mm. Este suelo fue colocado en peso de 1 kg en macetas plásticas, previa mezcla en seco con las dosis de las respectivas enmiendas. Las dosis de enmiendas fueron calculadas considerando una hectárea de suelo, a 20 cm de profundidad y según la densidad del suelo respectiva.

Para colocar la misma cantidad de agua en cada suelo, en una maceta extra se determinó la cantidad de agua necesaria para alcanzar la saturación y una lámina de 2 cm sobre la superficie del suelo; la cantidad conseguida se aplicó en cada maceta según el origen del

suelo. El agua usada para el riego fue de tubería, la que fue analizada para conocer los contenidos de sales y sus resultados se exponen en la Tabla 3.8. La reposición del agua del suelo se la realizó por dos y hasta tres veces a la semana como mínimo, esto dependió de las condiciones de temperatura dentro del invernadero. Esta pérdida de agua de evaporación, fue contabilizada en las macetas extras y la reposición fue de acuerdo al peso perdido en maceta según la localidad.

Tabla 3.8. Características químicas el agua usada en la investigación

Identificación Muestra	CE	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	pH	RAS	PSI	Na	Clase
	dS m ⁻¹	mg l ⁻¹				meq l ⁻¹							%	
Agua EELS	0,379	27,0	3,5	62,6	1,2	0,8	1,4	0,8	1,0	8,3	3,0	3,0	62,0	C2SI

EELS. Estación Experimental Litoral Sur

3.4.2. Segunda fase

Semillas de arroz variedad INIAP-15 fueron colocadas a pre-germinar, dejando un día en remojo y dos días secando en la obscuridad, posteriormente fueron colocadas en bandejas de plástico con arena, para completar su germinación por espacio de 18 días.

Usando el suelo resultante de la fase anterior que fue molido y tamizado, para luego pesar 800 g y colocarlos en las macetas plásticas usadas anteriormente, previa limpieza. En este suelo se trasplantaron cinco plantulas de arroz (las plantas tuvieron 18 días en el semillero y en esa fecha se procedió a transplantarlas). Durante el desarrollo del experimento, se suministró riego para mantener siempre una lámina de 2 cm de agua arriba de la superficie del suelo.

Durante el período de desarrollo en semillero y macetas, las plantas fueron irrigadas, conservando una lámina de agua de 2 cm arriba de la superficie del suelo, manteniéndolas por un período de 90 días. Durante este tiempo se realizó una fertilización básica en todas las macetas con dosis de N-165 kg ha⁻¹, P₂O₅-46 kg ha⁻¹, S-42 kg ha⁻¹ para el suelo de La Cuca; N-160 kg ha⁻¹, P₂O₅-69 kg ha⁻¹, K₂O-45 kg ha⁻¹ para suelo de El Pan y N-162 kg ha⁻¹, K₂O-44 kg ha⁻¹, S-45 kg ha⁻¹ para el suelo de Petrillo, usando para el efecto sulfato de amonio, fosfato diamónico y sulfato de potasio. A los 15 DDT se realizó la primera fertilización, efectuando dos aplicaciones más con intervalos de 15 días entre fertilizada.

Para la cosecha, las plantas fueron colectadas, lavadas en agua corriente, determinadas las variables respectivas y llevadas al laboratorio para su análisis químico usando la metodología de mineralización nítrica: perclórico (3:1).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Primera fase

4.1.1. Conductividad eléctrica (CE)

Inmediatamente de la aplicación de las enmiendas fue determinada la CE de la solución del suelo, encontrando variaciones estadísticamente significativas (Anexo 1) como era de esperarse, mayormente en el suelo de La Cuca por su elevada salinidad (Figura 4.1).

La salinidad observada en la solución del suelo de los tratamientos testigos en este muestreo fue de 1,52; 0,92 y 0,85 dS m⁻¹, para La Cuca, El Pan y Petrillo, respectivamente. Con la aplicación de las enmiendas, inmediatamente se observó que la aplicación de CaCO₃ con 1,69 dS m⁻¹ en el suelo de La Cuca; Ac Monos y zeolita en el suelo de El Pan, con valores mayores de 0,95 dS m⁻¹, actuaron elevando la CE, por efecto de sus propias sales o por liberación de los cationes retenidos en la superficie de las arcillas hacia la solución del suelo, o por los dos juntos, provocando el efecto que es requerido para realizar el lavado de las sales. En el suelo de Petrillo, no hubo efecto inmediato de la aplicación de todas las enmiendas.

En la medición de la conductividad eléctrica de la solución del suelo realizada con frecuencia de 15 días después de la aplicación (DDA) de las enmiendas, se observó que hubo diferencias estadísticas significativas para la interacción suelo-enmienda a los 0 DDA, para suelo 30 y 45 DDA y para la interacción suelo-enmienda-dosis, a los 15 y 60 DDA (Anexo 1).

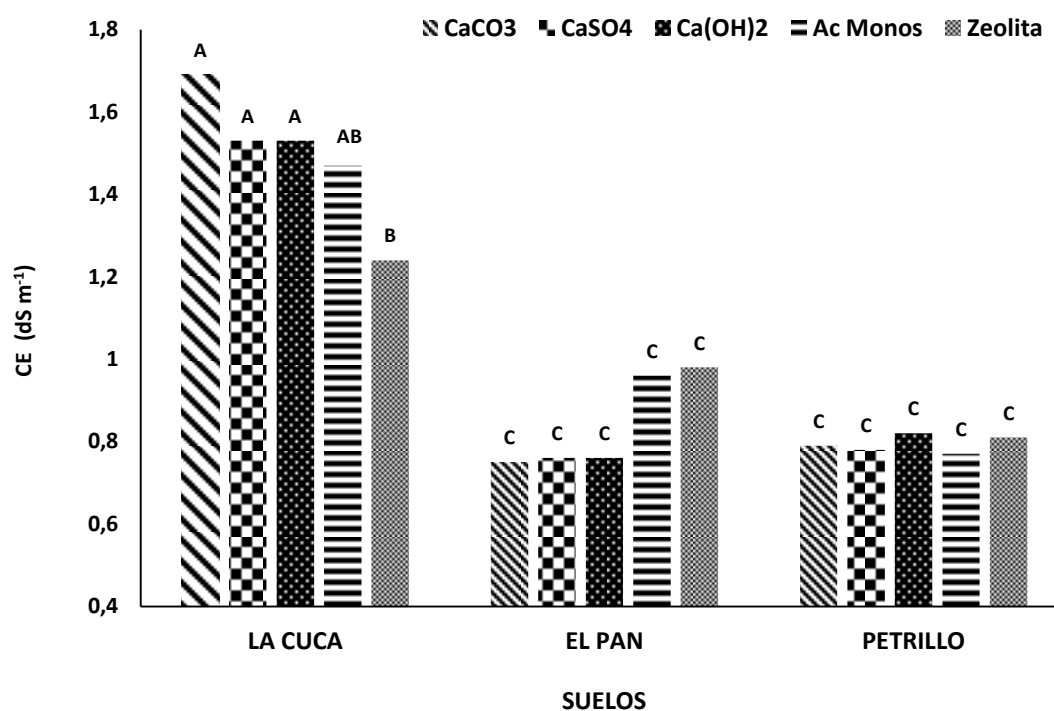


Figura 4.1. Respuesta de la aplicación de cinco enmiendas del suelo sobre la salinidad de la solución en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, a los cero días después de la aplicación.

A los 60 DDA, el comportamiento de los suelos de El Pan y Petrillo fue similar, debido a la menor salinidad inicial (3,33 y 6,89 dS m^{-1}) respecto al suelo de La Cuca que tuvo CE de 17,48 dS m^{-1} (Figura 4.2).

La mayor CE de la solución muestreada (4,84 dS m^{-1}) a los 60 DDA, se observó en el suelo de La Cuca con el uso de 4,5 y 7,5 t ha^{-1} de CaCO_3 y zeolita, respectivamente; en este mismo suelo, la aplicación de Ca(OH)_2 disminuyó la salinidad de la solución. Para los suelos de El Pan y Petrillo, la mayor CE de la solución se registra con 6,0 t ha^{-1} de Ca(OH)_2 y 3,0 t ha^{-1} de CaCO_3 , respectivamente.

Comparando con la CE de la solución del suelo del tratamiento testigo de La Cuca (4,42 dS m^{-1}), se observa que con la dosis de 3,0, 1,5 y 4,5 t ha^{-1} de CaCO_3 , CaSO_4 y zeolita, respectivamente, disminuyeron la CE de la solución a valores cercanos a 3,00 dS m^{-1} , correspondiendo aproximadamente a 32%, indicativo de que durante los anteriores lavados quincenales realizados, hubo mayor extracción de sales con estos productos y dosis.

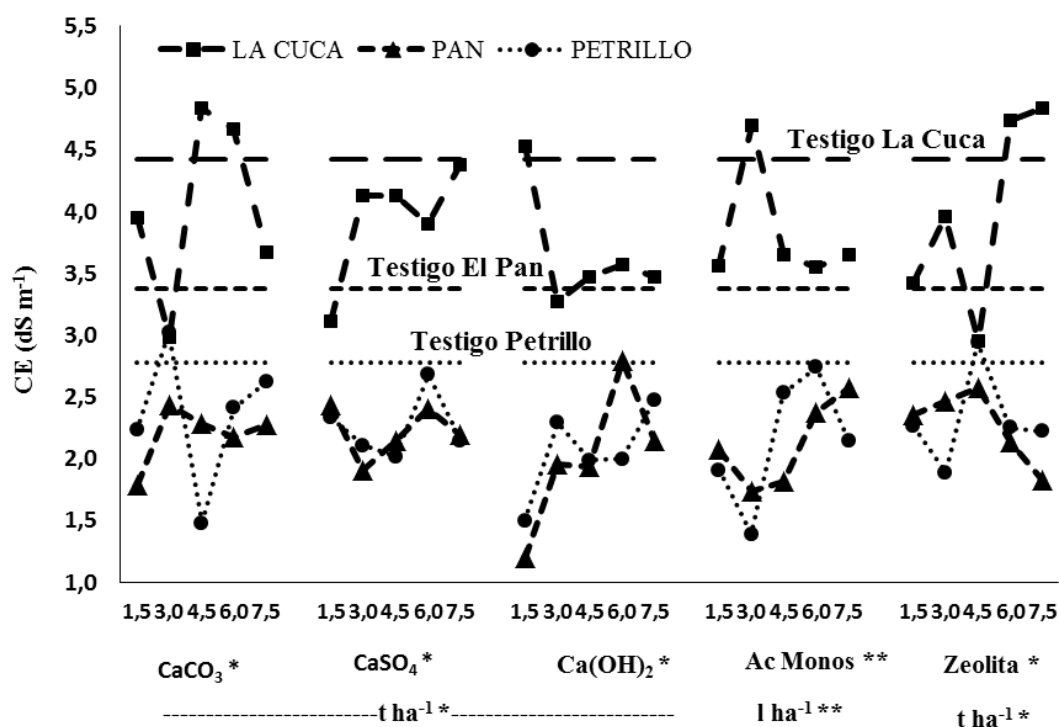


Figura 4.2. Respuesta del uso de enmiendas en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, sobre la salinidad de la solución del suelo a los 60 días después de la aplicación.

La acción realizada por el Ca(OH)_2 , es importante en vista de que las dosis usadas prácticamente no elevan la CE de la solución como observado con los restantes enmiendas evaluadas, funcionando mejor con dosis de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$.

En el suelo de El Pan, todas las enmiendas evaluadas, disminuyeron la CE de la solución del suelo, sobresaliendo el uso de Ca(OH)_2 , que con dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ disminuyó la CE de la solución a $1,20 \text{ dS m}^{-1}$ que corresponde al 65% del tratamiento testigo que fue de $3,38 \text{ dS m}^{-1}$.

Al igual que en El Pan, el suelo de Petrillo, respondió mejor a la aplicación de Ca(OH)_2 , en dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$, además de CaCO_3 y Ac Monos en dosis de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$, que llegaron a valores de alrededor de $1,50 \text{ dS m}^{-1}$, provocando una disminución del 46% de la CE en la solución del suelo.

Los diferentes efectos sobre la CE de la solución del suelo, provocados por las enmiendas evaluadas, se deben a los contenidos variables de elementos constituyentes y características físicas de las mismas y químicas y físicas de los suelos; además, la zeolita podría haber provocado

adsorción de los iones de Na^+ en sus paredes, por efecto de desprendimiento e intercambio con los iones Ca^{2+} del mineral como indicado por Casals (2014); en tanto que el CaCO_3 , CaSO_4 y Ca(OH)_2 , por desprendimiento del Na^+ de los sitios de intercambio, elevando la CE inicial, para posteriormente precipitar con los aniones CO_3 , SO_4 e $(\text{OH})_2$, (FEUCHTER, 2010, citado por Suarez, 2010, Lavado y Taboada, 2009, Kass, 2007; Sierra, Lancelloti, Vidal, 2007), facilitando la salida del sistema en el proceso de lavado.

4.1.2 pH (solución)

Observando la Figura 4.3. Se encuentra que con el transcurrir del tiempo, el pH de las soluciones del suelo fue elevándose por acción de la aplicación de las enmiendas, partiendo de 7,46 y 7,77 para el suelo de La Cuca y Petrillo y alcanzando los 8,58 y 9,15, respectivamente.

Se observaron modificaciones en el pH de la solución del suelo solamente por efectos simples de los suelos, enmienda y dosis, en el tiempo 0 DDA (Anexo 2), donde el menor pH 7,46 correspondió al suelo de La Cuca que resultó estadísticamente diferente a los otros suelos que tuvieron pH superiores a 7,70; la misma tendencia presentó en las evaluaciones realizadas a los 30, 45 y 60 DDA.

La tendencia de los valores de pH de los suelos, no variaron en el tiempo, siempre el pH del suelo de la Cuca, resultó ser el más bajo, esto debido al pH inicial de cada suelo. Al final de esta fase, se encontró que hubo modificación del pH del suelo que varió de 1,12 en el suelo de La Cuca hasta 1,38 que fue el mayor en el suelo de Petrillo.

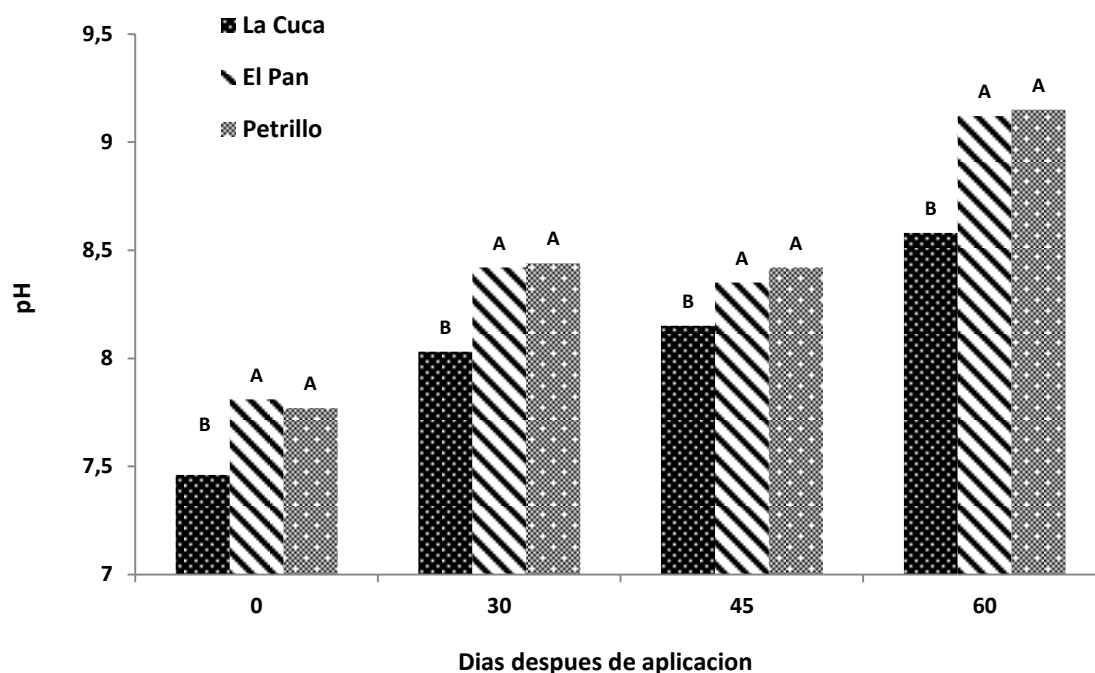


Figura 4.3. Cambios en el pH del suelo a los 0, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de enmiendas en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en el pH de las solución del suelo a los 0 DDA por efecto de las enmiendas evaluadas (Anexo 2), y en la Figura 4.4. se observa que por efecto del uso de CaCO_3 , CaSO_4 y zeolita, el pH estuvo alrededor de 7,40 y resultó estadísticamente diferente a los pH registrados con el uso de Ca(OH)_2 y Ac Monos que presentaron valores mayores de 7,8.

A los 0 DDA se encontró diferencias estadísticas significativas en el pH de la solución del suelo por acción de las dosis de enmienda usadas (Anexo 2), observando una tendencia de elevar el pH a manera que se incrementa la dosis aplicada (Figura 4.5). Este efecto era de esperarse, en vista que estos productos también son usados para realizar corrección de acidez y además aportan OH^- a la solución del suelo.

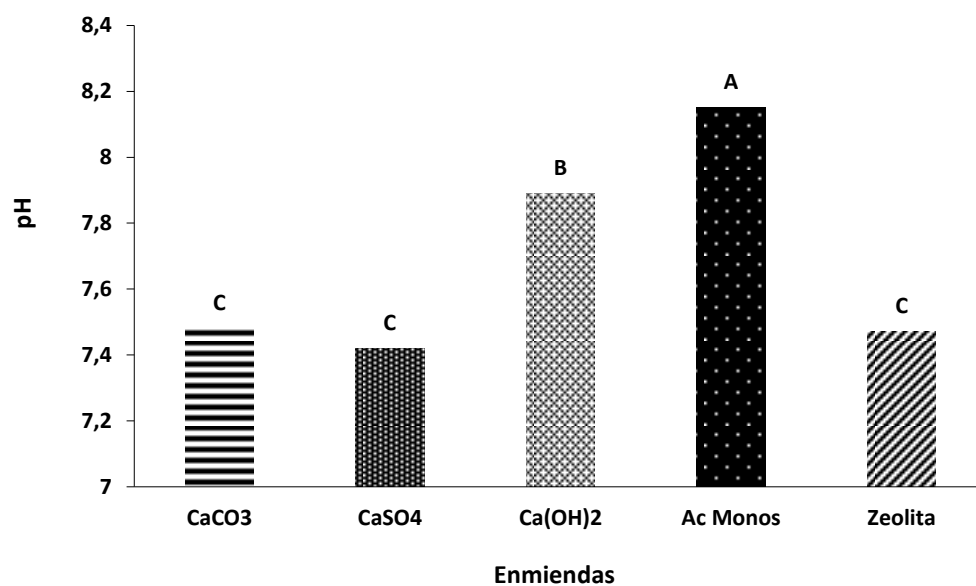


Figura 4.4. Variación en el pH de la solución del suelo de suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, a los 0 DDA, por efecto de la aplicación de cinco enmiendas del suelo.

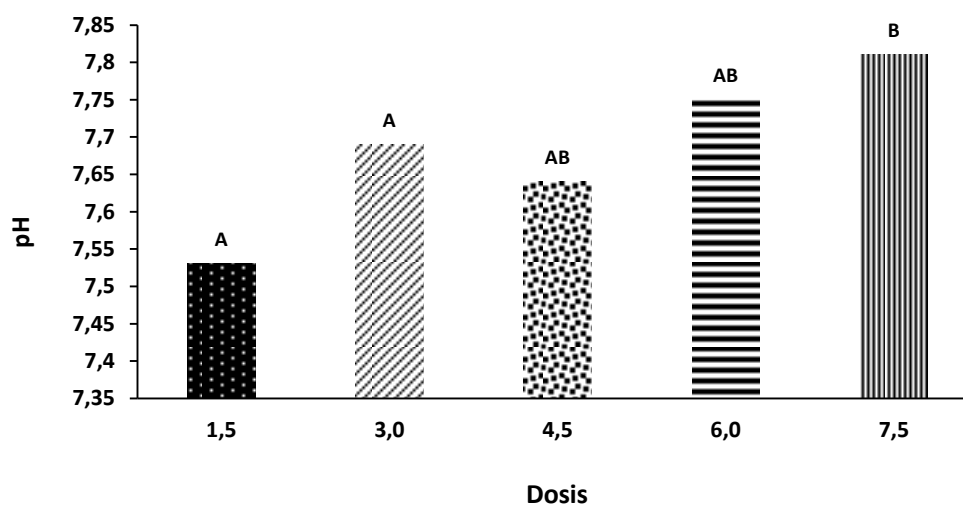


Figura 4.5. Variación en el pH de la solución del suelo de suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, por efecto de dosis de enmiendas del suelo aplicadas.

Todas las enmiendas llevan el ion calcio como base, que trabaja en el sitio de intercambio de las arcillas desplazando iones salinos como el Na^+ y Mg^{2+} hacia la solución del suelo,

elevando en este caso el pH de la solución. Aquí es que se aprovecha para que en presencia de aniones, estas bases precipiten y según la movilidad de estos extraer de los suelos cultivados con el agua de riego en exceso (lavado).

Generalmente las dosis utilizadas provocan variación en el pH de la solución, encontrando un pH de 7,53 con la aplicación, de dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$, según corresponda que resultó la menor y estadísticamente diferente a lo conseguido con las dosis de $6,0$ y $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ cuyos pH fueron 7,75 y 7,81, respectivamente.

4.1.3. Salinidad del suelo

Los resultados de análisis de salinidad de los suelos realizados al final de la incubación, indican que para la localidad de La Cuca, todas las enmiendas disminuyeron los contenidos de sales de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ y del anión Cl^- así como también en el RAS y PSI (Tabla 4.1).

La salinidad del suelo, en arroz de riego está determinada, en la solución del suelo o en el extracto de saturación. Así, la CE es el mejor indicativo y se observa que en el tratamiento testigo, presenta un valor de $5,19 \text{ dS m}^{-1}$, que según García (2010) podría provocar reducción del 20 al 50% del rendimiento; la aplicación de CaSO_4 y zeolita en dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$, independientemente disminuyeron la CE alcanzando valores menores a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ que según este mismo autor, reduciría el rendimiento del 10 al 15%.

Para este suelo altamente salino las enmiendas que mayormente redujeron las sales respecto al testigo, fueron el CaSO_4 y zeolita que en dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ disminuyeron en $125,8$ y $86,7 \text{ meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ de Ca^{2+} ; $90,5$ y $59,8 \text{ meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ de Mg^{2+} ; $146,1$ y $181,4 \text{ meq } 100 \text{ mL}^{-1}$ de Na^+ y $17,6$ y $15,2 \text{ meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ de Cl^- , respectivamente.

La acción del CaSO_4 en la reducción de la salinidad en el suelo se atribuye al intercambio catiónico del Ca^{2+} por el Na^+ , Mg^{2+} , que en la solución del suelo, son precipitados por el anión SO_4 , y debido a su gran movilidad, puede ser sacado del sistema. Este efecto fue observado en Chile, por Sierra, Lancelloti, Vidal (2007), quienes aplicando azufre elemental en suelos con contenidos altos de CO_3 , observaron reducción del pH y elevación de la CE de la solución del suelo, por efecto del incremento de las sales solubles en el suelo.

Tabla 4.1. Variaciones en las cantidades de cationes y aniones, RAS y PSI, en suelo salino de La Cuca, por efecto de incubación por 60 días con cinco enmiendas del suelo en cinco dosis

ENMIENDA	Dosis	CE	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	meq l ⁻¹					RAS	PSI
							CO ₃ ⁻	CO ₃ H	SO ₄ ⁻	Cl ⁻			
Testigo	0,0	5,2	44,9	289,0	170,7	484,8	1,6	5,2	4,0	40,0	6,0	7,0	
CaCO ₃	1,5	4,9	38,8	374,6	145,5	421,3	0,8	4,0	9,1	36,0	5,0	5,0	
CaCO ₃	3	4,3	37,6	401,6	133,0	382,5	1,0	4,2	13,4	30,0	4,0	5,0	
CaCO ₃	4,5	5,8	41,0	309,8	192,1	465,9	1,1	4,1	11,3	36,0	5,0	6,0	
CaCO ₃	6	5,6	37,2	319,1	178,5	491,7	1,1	4,8	13,0	34,0	5,0	6,0	
CaCO ₃	7,5	6,0	44,4	306,6	188,9	540,3	1,1	4,2	29,0	20,4	6,0	7,0	
CaSO ₄	1,5	2,5	18,9	163,2	80,2	338,7	1,4	5,0	1,2	22,4	5,0	6,0	
CaSO ₄	3	5,9	43,3	318,1	191,3	518,1	1,2	4,0	4,0	46,0	6,0	7,0	
CaSO ₄	4,5	4,7	37,2	295,8	157,4	418,7	1,1	4,9	7,0	35,0	5,0	6,0	
CaSO ₄	6	7,0	48,7	385,8	265,0	576,8	0,8	4,4	4,5	57,6	6,0	6,0	
CaSO ₄	7,5	6,6	42,5	388,6	241,8	548,1	0,8	4,0	9,3	50,0	5,0	6,0	
Ca(OH) ₂	1,5	6,4	49,1	335,9	227,2	571,6	1,0	4,4	2,1	54,0	6,0	7,0	
Ca(OH) ₂	3	5,1	35,4	339,5	168,6	444,0	1,0	4,4	4,6	41,0	5,0	6,0	
Ca(OH) ₂	4,5	4,5	36,6	283,8	133,8	373,8	0,9	4,8	3,4	33,2	5,0	5,0	
Ca(OH) ₂	6	5,2	39,5	298,3	163,0	430,1	1,1	4,2	2,6	40,0	5,0	6,0	
Ca(OH) ₂	7,5	4,3	35,5	248,9	129,7	365,9	1,3	4,3	1,3	33,0	5,0	5,0	
Ac Mon Sil	1,5	3,9	34,2	209,5	116,3	379,5	1,4	4,6	4,0	28,0	5,0	6,0	
Ac Mon Sil	3	4,9	39,2	233,0	149,9	414,3	1,4	4,4	6,0	32,0	5,0	6,0	
Ac Mon Sil	4,5	4,7	35,8	239,0	136,2	425,5	1,1	5,2	5,0	33,0	5,0	6,0	
Ac Mon Sil	6	3,5	33,6	221,2	101,5	348,9	1,1	4,9	5,0	23,6	5,0	6,0	
Ac Mon Sil	7,5	4,7	37,2	239,6	131,6	539,7	1,2	5,0	5,0	34,0	7,0	8,0	
Zeolita	1,5	3,6	34,3	202,3	110,9	303,4	1,0	4,9	3,0	24,8	4,0	5,0	
Zeolita	3	4,4	38,4	262,9	137,2	371,4	1,0	4,8	3,0	33,0	5,0	5,0	
Zeolita	4,5	3,3	30,8	201,8	102,4	370,5	0,6	4,9	6,0	23,0	5,0	6,0	
Zeolita	6	6,7	54,3	343,6	242,1	588,4	1,2	4,7	4,0	54,0	6,0	7,0	
Zeolita	7,5	6,7	51,4	361,6	239,2	584,4	1,1	4,8	4,0	55,0	6,0	7,0	

La aplicación de CaCO₃ e Ca(OH)₂ provocaron incrementos en la cantidad de Ca⁺⁺ del suelo, distinto a lo sucedido con las otras enmiendas, debido al mayor contenido de esta base (>25 dag kg⁻¹), como se puede observar en la Tabla 3.5. La aplicación de CaCO₃, provocó elevación en los niveles de SO₄ del suelo, contrario a lo sucedido con las restantes enmiendas que disminuyeron su valor respecto al testigo.

Los valores de PSI, en todos los tratamientos se encontraron menores al 20%, que según Dobermann y Fairhurst (2012) no producen reducción significativa en los rendimientos del arroz. De igual manera, la relación de adsorción de sodio es baja en este suelo, con valores <15, límite que para los autores anteriores, es indicativo de presentar problemas de sodificación y dispersión de las arcillas.

De acuerdo a los resultados de análisis de salinidad de los suelos de El Pan realizados al final de la incubación, indican que todas las enmiendas disminuyeron las cantidades de sales de Na^+ y elevaron las de Mg^{2+} y Ca^{2+} y de los aniones SO_4^- y Cl^- así como también en el RAS y PSI (Tabla 4.2). La reducción de la salinidad en este suelo fue menor que la registrada en el suelo de La Cuca, probablemente debido al mayor tamponamiento ocasionado por la mayor proporción de arcilla y valores de CO_3 y CO_3H (Tabla 4.3).

La aplicación de CaCO_3 específicamente provoca incremento en la cantidad de Ca^{++} , teniendo que las enmiendas que mayormente redujeron las cantidades de sales fueron CaSO_4 y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que con dosis de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ redujeron $20,40$ y $26,30 \text{ meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ de Mg^{2+} ; $100,90$ y $85,70 \text{ meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ de Na^+ y $5,00$ y $3,00 \text{ meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ de Cl^- respectivamente.

Diferente a lo sucedido en el suelo de La Cuca, en general los valores de SO_4^- y Cl^- se elevaron con la aplicación de todas las enmiendas, en tanto que hubo reducción de las cantidades de CO_3 y CO_3H . Los valores de RAS y PSI se incrementan con la aplicación de las enmiendas, siendo mayor con uso de Ac Monos y zeolitas. Sin embargo, no superan el valor de riesgo de 20% y 15, respectivamente, indicado por Dobermann y Fairhurst (2012).

En la localidad de Petrillo, los efectos de las aplicaciones de enmiendas provocaron en general disminuciones leves en los contenidos de sales, así como también el RAS y PSI, se observa un pequeño incremento en CO_3H (Tabla 4.4).

Para este suelo salino, la enmiendas que mayormente redujo las cantidades de sales fue con aplicación de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$, donde se consiguió reducir en $13,0 \text{ meq l}^{-1}$ de Mg^{2+} ; $176,0 \text{ meq l}^{-1}$ de Na^+ y $4,8 \text{ meq l}^{-1}$ de Cl^- , respectivamente.

Nuevamente se observa que características como la presencia de arcilla, MO, CO₃ y CO₃H, determinan la acción de las enmiendas. Este suelo que posee mayores valores que el de El Pan y La Cuca, muestra menores efectos en disminución de la salinidad.

Tabla 4.2. Variaciones en las cantidades de cationes y aniones, RAS y PSI, presentes en suelo salino de El Pan, por efecto de aplicaciones de cinco enmiendas del suelo en cinco dosis

ENMIENDA	Dosis	CE	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	meq l ⁻¹					RAS	PSI
							CO ₃ ⁻	CO ₃ H	SO ₄ ⁻	Cl ⁻			
Testigo	0,0	3,2	9,1	125,5	85,3	384,6	1,5	7,0	7,0	15,0	6,0	8,0	
CaCO ₃	1,5	3,4	9,5	239,5	89,2	375,8	1,3	5,6	9,0	20,0	5,0	6,0	
CaCO ₃	3	3,4	10,5	228,6	95,9	411,2	1,1	5,0	11,3	20,0	6,0	7,0	
CaCO ₃	4,5	4,1	13,9	196,4	118,1	545,8	1,0	5,8	12,8	24,0	8,0	9,0	
CaCO ₃	6	3,2	14,3	156,7	90,3	372,6	1,1	5,0	9,7	16,0	6,0	7,0	
CaCO ₃	7,5	3,2	8,0	181,5	84,1	399,2	1,5	5,0	11,0	16,0	6,0	7,0	
CaSO ₄	1,5	3,7	31,0	248,4	123,6	312,5	1,0	4,8	13,0	18,0	4,0	4,0	
CaSO ₄	3	2,3	5,7	136,3	64,9	283,7	1,0	5,2	8,4	10,0	5,0	6,0	
CaSO ₄	4,5	3,8	9,7	187,1	107,0	446,2	1,4	5,6	12,0	19,0	6,0	8,0	
CaSO ₄	6	3,0	7,7	199,2	98,7	352,3	1,0	5,0	13,0	15,0	5,0	6,0	
CaSO ₄	7,5	4,7	14,0	246,0	135,2	572,7	1,2	5,0	17,0	26,0	7,0	9,0	
Ca(OH) ₂	1,5	3,0	6,0	177,8	85,2	378,7	1,1	5,2	10,1	16,0	6,0	7,0	
Ca(OH) ₂	3	2,3	4,8	123,8	59,0	298,9	1,6	5,2	5,3	12,0	6,0	6,0	
Ca(OH) ₂	4,5	3,3	8,3	177,2	94,3	408,3	1,5	5,0	12,0	16,0	6,0	7,0	
Ca(OH) ₂	6	4,4	12,1	211,4	127,2	548,1	1,4	5,4	14,3	24,0	7,0	9,0	
Ca(OH) ₂	7,5	3,2	7,5	159,4	87,4	406,6	1,4	5,6	8,0	18,0	6,0	8,0	
Ac Mon Sil	1,5	3,8	9,8	159,8	94,4	513,0	1,4	4,8	10,0	22,0	8,0	9,0	
Ac Mon Sil	3	3,7	9,8	143,8	94,3	523,3	1,2	5,4	10,0	22,0	8,0	10,0	
Ac Mon Sil	4,5	4,0	11,2	159,8	99,8	546,6	1,4	4,8	11,0	24,0	8,0	10,0	
Ac Mon Sil	6	2,9	5,8	135,2	75,2	396,3	1,8	5,8	7,0	18,0	7,0	8,0	
Ac Mon Sil	7,5	4,6	13,4	119,2	116,0	629,3	1,2	5,4	12,0	26,0	10,0	12,0	
Zeolita	1,5	4,0	11,3	146,5	107,5	546,0	0,9	5,0	11,0	24,0	8,0	10,0	
Zeolita	3	2,6	5,7	107,5	71,0	338,3	0,8	4,6	7,0	14,0	6,0	7,0	
Zeolita	4,5	3,9	11,5	159,1	101,3	518,6	1,3	5,6	11,0	22,0	8,0	9,0	
Zeolita	6	4,0	11,6	158,7	105,4	572,7	1,1	5,2	12,0	24,0	9,0	10,0	
Zeolita	7,5	3,8	8,8	151,7	104,1	494,5	1,2	5,6	9,0	22,0	8,0	9,0	

Entre los iones más comúnmente asociados con la salinidad en la solución del suelo están los aniones: Cl⁻, HCO₃⁻, y en casos el NO₃⁻, Cationes: Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, y a veces el K⁺. Las sales de estos iones tienden a producir proporciones y concentraciones muy variables. Los suelos con alta saturación de sodio pueden ser tratados mediante la aplicación de una fuente de calcio soluble, sustituyendo al sodio que se encuentra en el suelo. Es decir el calcio puede ser disponible a través de la aplicación de yeso en el suelo, el calcio en el agua de riego (cloruro de calcio), siendo útiles por la permeabilidad del suelo que es baja por causa de la salinidad (exceso de sodio, o altas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos) (Movagro, 2011).

Tabla 4.3. Variaciones en las cantidades de cationes y aniones, RAS y PSI, presentes en suelo salino de Petrillo, por efecto de aplicaciones de cinco enmiendas del suelo en cinco dosis

ENMIENDA	Dosis	CE	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	aniones				RAS	PSI
							CO ₃ ⁻	CO ₃ H	SO ₄ ⁻	Cl ⁻		
		dS m ⁻¹	mg l ⁻¹				meq l ⁻¹					
Testigo	0,0	3,5	15,5	142,9	77,9	552	1,2	5,64	7,0	24,0	9,0	11,0
CaCO ₃	1,5	3,6	10,9	117,2	87,1	453,8	0,8	6,4	4,0	22,4	8,0	9,0
CaCO ₃	3	4,1	14,5	122,9	94,5	562,0	0,6	5,4	6,0	27,2	9,0	11,0
CaCO ₃	4,5	3,2	8,2	133,7	86,8	427,2	1,5	7,0	6,0	18,0	7,0	8,0
CaCO ₃	6	4,2	14,2	125,9	101,7	552,4	1,1	7,0	5,0	26,0	9,0	11,0
CaCO ₃	7,5	3,2	8,0	118,3	83,0	413,6	1,4	6,0	6,0	18,0	7,0	8,0
CaSO ₄	1,5	3,7	10,5	123,1	96,8	488,1	2,0	6,8	5,2	21,0	8,0	10,0
CaSO ₄	3	3,1	10,8	100,2	77,8	424,8	1,2	6,0	4,9	18,0	8,0	9,0
CaSO ₄	4,5	2,8	7,2	115,1	69,1	328,2	1,1	6,8	4,3	13,6	6,0	7,0
CaSO ₄	6	2,9	7,6	124,1	72,8	325,8	1,0	6,4	5,1	14,0	6,0	7,0
CaSO ₄	7,5	3,7	13,7	116,4	86,1	438,3	0,9	6,4	2,6	22,4	7,0	9,0
Ca(OH) ₂	1,5	3,2	13,5	136,6	64,9	376,0	1,4	5,4	2,8	19,2	7,0	8,0
Ca(OH) ₂	3	3,5	11,4	135,2	87,3	400,8	1,3	6,4	4,7	19,2	7,0	8,0
Ca(OH) ₂	4,5	3,5	13,3	158,4	76,8	400,4	1,1	6,5	4,7	19,6	7,0	8,0
Ca(OH) ₂	6	4,0	11,3	138,6	104,6	496,3	0,9	6,3	6,2	24,0	8,0	9,0
Ca(OH) ₂	7,5	3,8	11,7	125,5	90,1	476,9	1,3	6,8	4,2	22,4	8,0	9,0
Ac Mon Sil	1,5	2,8	6,7	109,9	74,4	370,3	1,5	6,6	4,0	15,6	7,0	8,0
Ac Mon Sil	3	2,9	7,0	100,3	71,2	389,4	1,4	6,5	4,0	16,0	7,0	9,0
Ac Mon Sil	4,5	4,4	11,9	140,8	107,7	561,7	1,4	6,7	4,0	28,4	9,0	10,0
Ac Mon Sil	6	4,4	11,7	110,3	108,1	563,0	1,5	6,2	5,0	26,8	9,0	11,0
Ac Mon Sil	7,5	2,9	7,3	132,6	60,7	367,8	1,4	6,0	3,0	17,2	7,0	8,0
Zeolita	1,5	3,6	8,3	184,4	110,8	442,3	1,3	5,2	7,0	24,0	6,0	7,0
Zeolita	3	2,9	6,3	125,9	84,0	370,5	1,4	5,2	6,0	17,0	6,0	7,0
Zeolita	4,5	4,78	15,0	175,8	137,9	629,4	1,2	5,0	11,0	30,0	9,0	10,0
Zeolita	6	3,8	10,2	129,6	90,4	535,6	1,4	4,8	9,0	22,0	9,0	11,0
Zeolita	7,5	4,27	10,7	172,0	121,6	539,8	1,9	4,8	8,0	28,0	8,0	9,0

4.1.4. Fertilidad del suelo

Los efectos de la aplicación de las enmiendas en el suelo de La Cuca, provocaron en general elevación de los valores de Ca, Mg, S y P, especialmente con aplicación de CaSO₄; además con esta enmienda, se observó que el B, experimentó la reducción de 0,1 mg kg⁻¹ en su disponibilidad. La aplicación de Ca(OH)₂, contrario a las otras enmiendas, redujo la disponibilidad de S y elevó la del B.

El Mg²⁺ puede también afectar la proporción del carbonato por la interacción con la fase sólida. Reportando el aumento de la solubilidad del CaCO₃ precipitado, a partir de soluciones sobresaturadas en presencia de iones como Mg²⁺ y SO₄²⁻. De tal forma que el aumento de la solubilidad del carbonato se basa en la absorción ligera de los iones Mg²⁺ y SO₄²⁻, y los iones constitutivos de CaCO₃ sobre la superficie del agua (Valenzuela, 2012).

Tabla. 4.4. Fertilidad de suelos de La Cuca, 60 días después de haber sido corregido su salinidad con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas

ENMIENDA	N	P	K	Ca	Mg	SB	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
	mg kg ⁻¹			meq 100 mL ⁻¹				mg kg ⁻¹				
Testigo	20,0	67,0	0,6	12,1	5,8	18,5	80,0	3,5	6,0	131,0	373,5	0,9
CaCO ₃	27,7	75,6	0,6	13,6	6,7	21,0	82,6	3,7	6,4	154,6	468,5	0,9
CaSO ₄	19,6	88,2	0,6	15,5	8,1	24,2	130,8	3,6	6,6	107,8	456,5	0,8
Ca(OH) ₂	17,6	78,4	0,6	14,3	5,8	20,7	72,8	3,5	6,3	132,2	464,4	1,0
Ac Monos	16,2	81,0	0,6	14,2	6,2	20,9	80,6	3,8	6,4	172,8	539,6	1,0
Zeolita	19,0	71,6	0,6	13,3	6,1	20,0	86,6	3,6	6,3	147,4	423,0	1,0

En el suelo de El Pan (Tabla 4.5), se observa que en general los valores de P, S, Ca y Mg se elevan por efecto de la aplicación de las enmiendas, esto mayormente se aprecia en el Zn y B, donde el tratamiento testigo tenía un valor de 1,0 y 0,1 mg kg⁻¹, considerados bajos, elevando a 2,3 y 0,4 mg kg⁻¹, respectivamente, con uso de Ca(OH)₂ y mayores con las restantes enmiendas, siendo valores considerados adecuados para la nutrición de los cultivos.

El exceso de sales en la solución del suelo pueden causar problemas en la fertilidad de los suelos: causando un efecto negativo en el potencial osmótico del agua del suelo dificultando su absorción y de los iones que se encuentran disueltos en ella: También causan toxicidades a las plantas por los excesos de iones como Na, Cl, Mg, SO₄, B: los excesos de sales promueven la inducción de desbalances nutricionales: todas estas causas en combinación afectan indudablemente a los cultivos. Los suelos alcalinos y sódicos en particular, se consideran de baja fertilidad debido a que varios nutrientes son esenciales para las plantas afectando su disponibilidad en condiciones de alcalinidad (García, 2012).

Tabla. 4.5. Fertilidad de suelos de El Pan, 60 días después de haber sido corregido su salinidad con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas

ENMIENDA	N	P	K	Ca	Mg	SB	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
	mg kg ⁻¹			meq 100 mL ⁻¹				mg kg ⁻¹				
Testigo	26,0	8,0	0,3	17,1	13,7	31,1	96,0	1,0	22,2	17,0	70,2	0,1
CaCO ₃	33,2	7,6	0,4	18,6	15,1	34,1	187,8	2,5	17,2	25,0	32,2	0,7
CaSO ₄	32,8	7,4	0,4	16,9	13,8	31,2	169,6	2,2	16,8	48,4	116,4	0,5
Ca(OH) ₂	32,0	8,8	0,4	19,3	14,1	33,8	158,2	2,3	17,8	26,0	36,3	0,4
Ac Monos	33,8	6,8	0,4	21,0	14,3	35,7	191,8	3,0	13,8	23,2	38,8	0,6
Zeolita	33,0	7,2	0,4	21,0	13,4	34,8	175,4	2,8	14,3	20,6	34,4	0,5

El comportamiento del suelo de Petrillo, fue diferente a los anteriores, encontrando que con la aplicación de las enmiendas, se redujo la disponibilidad de P, S y Zn, hallando una pequeña elevación del Ca y Mg, que se refleja en la SB; y el B no registra cambio alguno (Tabla 4.6). Nutricionalmente la mejor enmienda para este suelo resulta la aplicación de zeolita, donde se registra la menor disminución de la disponibilidad de P, elemento importante para el desarrollo de las raíces, elevación mínima de Ca y Mg, con una SB de 34, además de conseguir el mayor aumento en la disponibilidad de S y Zn.

Tabla. 4.6. Fertilidad de suelos de Petrillo, 60 días después de haber sido corregido su salinidad con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas.

ENMIENDA	N	P	K	Ca	Mg	SB	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
	mg kg ⁻¹			meq 100 mL ⁻¹			mg kg ⁻¹					
Testigo	32,0	7,0	0,5	17,5	13,1	31,1	180,0	3,7	9,6	12,0	34,2	0,6
CaCO₃	28,2	5,0	0,4	17,6	13,7	31,8	165,8	2,5	12,7	10,8	27,2	0,6
CaSO₄	31,2	5,0	0,4	20,6	14,6	35,6	185,6	2,3	13,5	10,4	29,4	0,6
Ca(OH)₂	32,8	6,2	0,4	18,8	14,4	33,6	161,6	1,9	15,1	10,4	24,5	0,6
Ac Monos	30,4	6,4	0,3	17,8	15,3	33,4	160,8	1,5	18,3	10,6	25,2	0,6
Zeolita	36,8	6,8	0,4	19,7	13,9	34,0	217,8	2,6	14,9	16,4	33,9	0,6

Existen suelos no lixiviados, delimitados en regiones de baja pluviosidad, con altos contenidos de Ca y valores de pH próximos a 8,5. La presencia de Na intercambiable incrementa el pH a valores muy altos como 10,00. Suelos en donde el crecimiento radicular de las plantas se oprime considerablemente y mueren. Plantas como las halófitas son capaces de soportar elevadas concentraciones de sales y valores altos de pH. En suelos alcalinos o básicos reduciendo la solubilidad de ciertos micronutrientes como Fe, Zn, Cu y Mn. Excepto el Cl y Mo y se delimita la disponibilidad del P para las plantas debido a que puede ser fijado y precipitado en la solución del suelo por Ca y Mg (Blanco, 2002).

4.2. Segunda fase

4.2.1. Altura de planta

A los 75 días después de la siembra de las plantas de arroz se encontraron diferencias significativas, en altura de plantas en suelos de La Cuca, El Pan y Petrillo (Anexo 3), efecto provocado por los altos contenidos de sodio en estos suelos (Figura 4.6.).

Era de esperarse que en el suelo de La Cuca se observaría mayor efecto por la elevada salinidad (CE de 17,00 dS m⁻¹) en la solución del suelo, consiguiendo un valor de 58,63 cm

planta⁻¹, valor que resultó estadísticamente diferente a los conseguidos en los suelos de El Pan y Petrillo (CE >7,00 dS m⁻¹) con alturas 60,23 y 61,13 cm planta⁻¹; este efecto coincide con lo encontrado por Clavero y Razz, (2002) en plantas de *Gliricidia sepium* sometidas a CE de 0, 3,00 6.00 y 9,00 dS m⁻¹, aplicadas con el agua de riego, donde encontró relación indirecta entre el crecimiento de la planta y la CE de la solución del suelo, reduciendo 21 cm planta⁻¹ al comparar los 127 cm planta⁻¹ del tratamiento con 0 dS m⁻¹ con los 106 cm planta⁻¹ del tratamiento con 9,00 dS m⁻¹.

4.2.2. Área foliar

A los 80 DDT, se observó diferencias altamente significativas en el área foliar del arroz (Anexo 3), por efecto de suelos y sus respectivas concentraciones de sales (Figura 4.7.).

El suelo con plantas de mayor área foliar se presentó en El Pan con 94,14 cm² que resultó estadísticamente igual al de Petrillo con 89,92 cm², pero estos dos diferentes a los 61,55 cm² observados en el suelo de La Cuca, habiendo una reducción del 34,6% y 31,6%, respectivamente. Efecto similar fue observado por Pares y Basso (2012) trabajando con plantas de papaya en etapa de vivero, creciendo en suelo con CE de 8,00 dS m⁻¹, redujo la acumulación de biomasa aérea en 33,5% en comparación al tratamiento con CE de 0,001 dS m⁻¹.

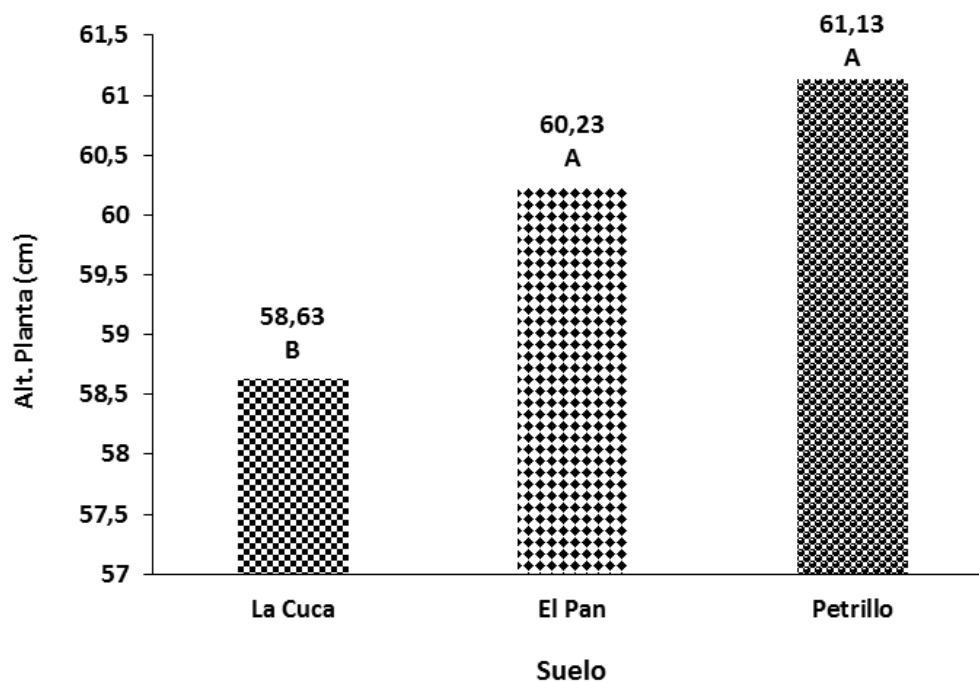


Figura 4.6. Promedios de altura de plantas de arroz sembrado en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.

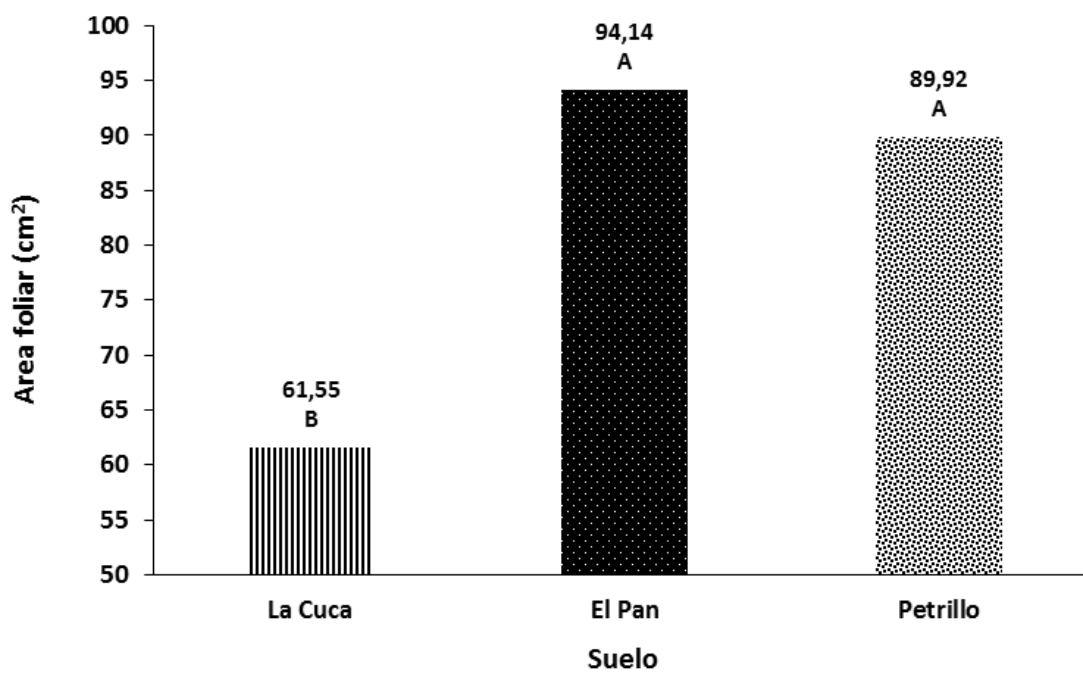


Figura 4.7. Área foliar de plantas de arroz por efecto de suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.

Por otro lado García (2012) trabajando con cebolla, observó reducciones del área foliar del 30% respecto al control cuando fue sometida a CE de $6,00 \text{ dS m}^{-1}$. Este comportamiento de las plantas de reducción del área foliar podría ser una estrategia morfológica de las plantas para disminuir las pérdidas de agua por transpiración.

4.2.3. Peso húmedo

Diferencias estadísticas significativas se encontraron por efecto de los suelos evaluados (Anexo 3) y en la Figura 4.2.3. Se observa que el comportamiento de los suelos es básicamente de acuerdo al grado de salinidad de la solución del suelo, efecto que repercute en las plantas y de hecho en la materia húmeda de los tejidos vegetales.

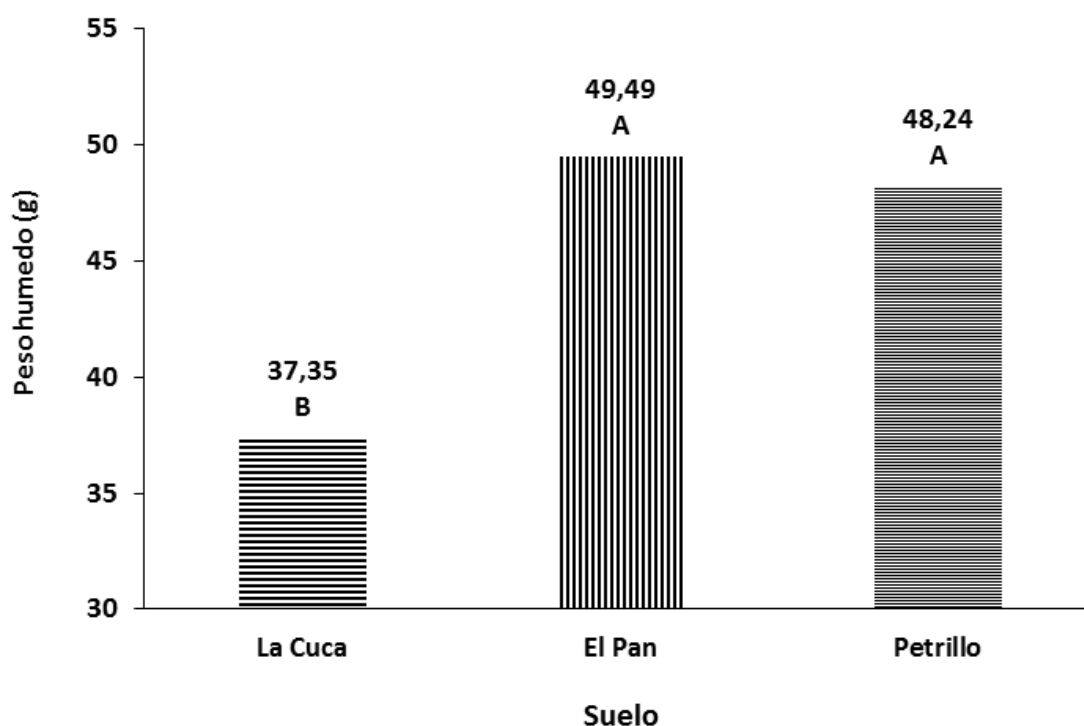


Figura 4.8. Efecto de suelo sobre el Peso húmedo de plantas cosechadas de arroz por consecuencia de salinidad, de La Cuca, El Pan y Petrillo.

Como se aprecia en la Figura 4.8. Se encontraron diferencias estadísticas significativas y los suelos de El Pan y Petrillo con 49,49 y 48,24 g maceta⁻¹, respectivamente fueron estadísticamente iguales, más presentaron diferencias con los 37,35 g maceta⁻¹ encontrados en La Cuca, que corresponde a disminuciones del 24,5% y 22,6%, respectivamente. Este efecto es reacción directa de las plantas a la CE de la solución del suelo, donde la planta tiende a perder succulencia por disminución del potencial osmótico de la solución del suelo y por ende la disponibilidad de agua para la planta (osmosis inversa).

4.2.4. Peso seco

Como se observa en el Anexo 3, se encontraron diferencias estadísticas significativas para la interacción entre suelo, enmienda y dosis y en la Figura 4.2.4 se aprecia que la mayor producción de materia seca (17,95 g maceta⁻¹) se consiguió con el tratamiento 7,5 t ha⁻¹ de Ac Monos en el suelo de El Pan, estadísticamente diferente de este mismo tratamiento en la localidad de La Cuca, donde se obtuvo 7,19 g maceta⁻¹ y también con el tratamiento de CaSO₄ en dosis de 6,0 t ha⁻¹, donde se colectaron 6,01 g maceta⁻¹.

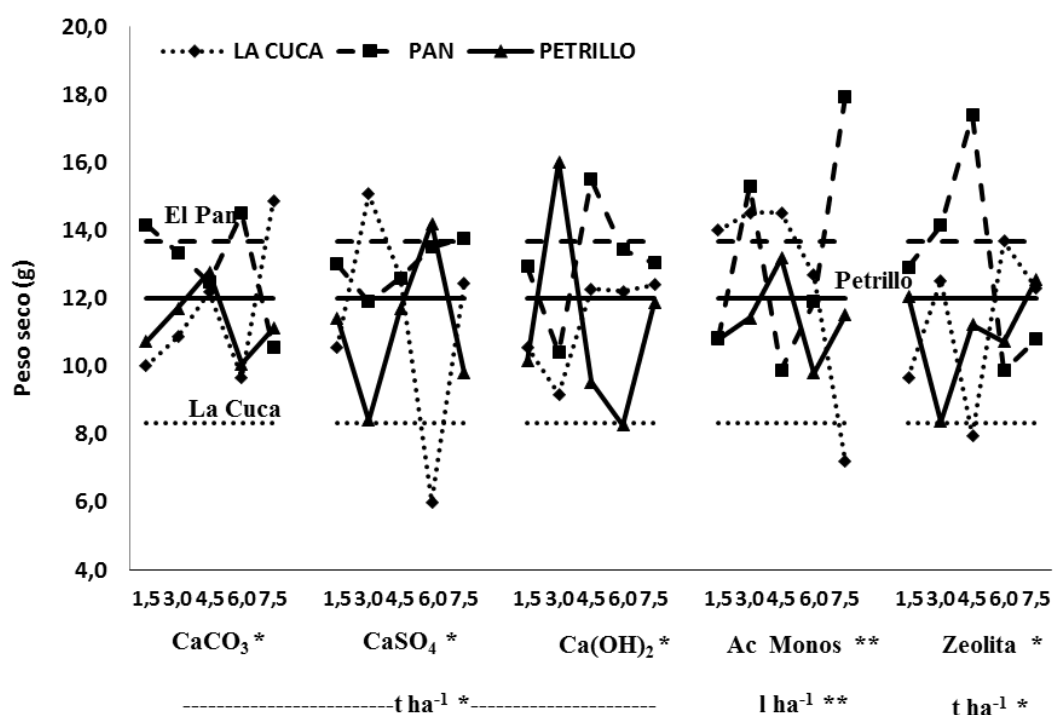


Figura 4.9. Efecto de suelo sobre el peso seco de plantas cosechadas de arroz por consecuencia de salinidad, de La Cuca, El Pan y Petrillo.

Comparado con la producción de materia seca de los respectivos tratamientos testigos, se consiguieron elevar 6,75 g maceta⁻¹ (45%) en el suelo de La Cuca con la aplicación de 3,0 t ha⁻¹ de CaSO₄; 3,73 g maceta⁻¹ (22%) para el suelo de El Pan con aplicación de 4,5 t ha⁻¹ de zeolita y 4,02 g maceta⁻¹ (25%) para el suelo de Petrillo con 3 t ha⁻¹ de Ca(OH)₂.

4.2.5. Macollos

El número de macollos a la cosecha presentó diferencias estadísticas significativas para dosis (Anexo 3), cuyo efecto se observa en las dosis de 4,5 y 7,5 t ha⁻¹ con 8,20 y 8,13 macollos por maceta, resultados que reflejan los mejores tratamientos, observando lo contrario en dosis de 1,5 t ha⁻¹ con 7,22 macollos por maceta⁻¹, que fue el más bajo y estadísticamente diferente a todas las dosis aplicadas (Figura 4.10.). En este tipo de suelos salinos, el usar de 8 a 15 t ha⁻¹ de CaSO₄, dependiendo de las propiedades del suelo, mejora su condición física y química y por lo consiguiente el rendimiento del grano (FAOSTAT, 2013).

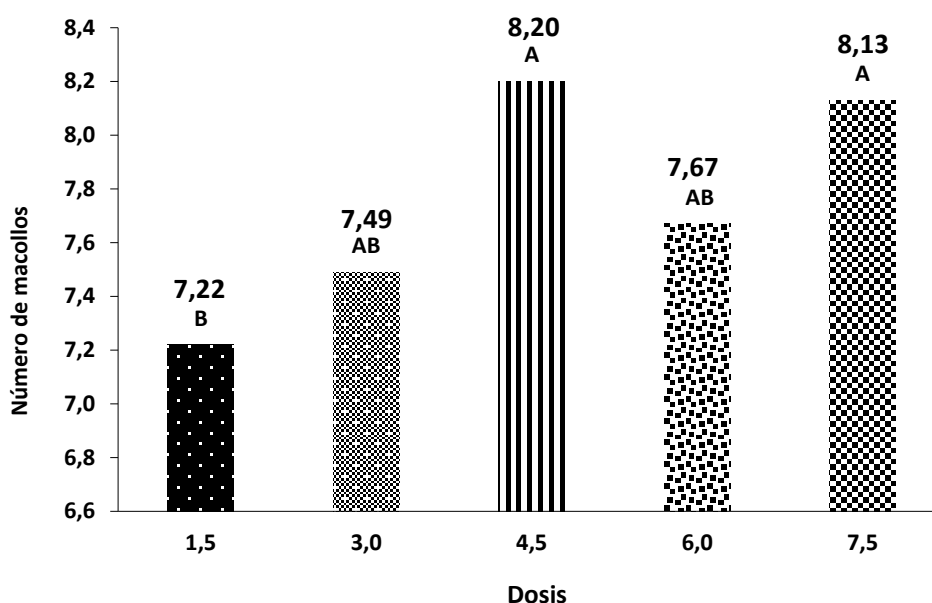


Figura 4.10. Promedio de número de macollos de arroz por maceta, afectados por las dosis de enmiendas aplicadas en tres suelos salinos del Litoral ecuatoriano.

Es conocido que el valor óptimo de CE para cultivo de arroz es <2,00 dS m⁻¹, parámetro para tener altas producciones (Dobermann y Fairhurst, 2012). El desarrollo de los cultivos

se manifiesta según las condiciones del suelo y en los suelos evaluados, el suelo de La Cuca se consiguió 5,95 macollos planta⁻¹, valor estadísticamente inferior a los 8,79 y 8,49 macollos planta⁻¹ de los suelos de El Pan y Petrillo, respectivamente (Figura 4.11.).

Todo esto es consecuencia del alto grado de salinidad del suelo de La Cuca, donde el estrés salino influencia al crecimiento de los cultivos, afectando el potencial osmótico por presencia de sales en la solución del suelo, disminuyendo la cantidad de macollos en las plantas de arroz; este efecto está demostrado también en el trabajo realizado en tres variedades de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) donde disminuyó el macollamiento a manera que incrementó la salinidad de la solución del agua de riego (Ruiz, 2002).

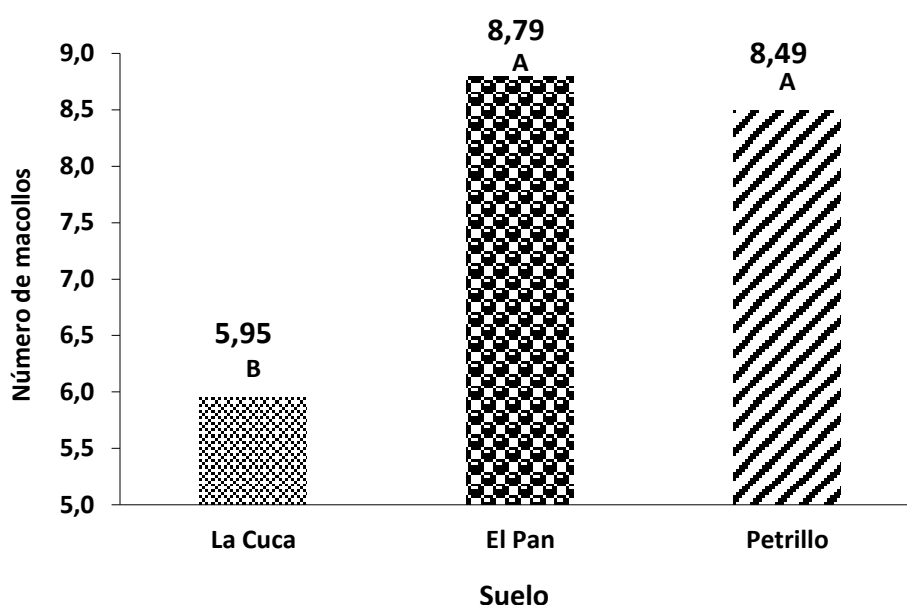


Figura 4.11. Promedio de número de macollos de arroz por maceta, obtenidos en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.

4.2.6 Clorofila

Se encontraron diferencias estadísticas significativas para los valores Spad de clorofila solamente a los 30 DDS en el suelo de Petrillo (Anexo 4). Todas las enmiendas aplicadas provocaron que el valor de clorofila (SPAD) se eleve respecto al tratamiento testigo.

En el caso de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y CaSO_4 se observaron incrementos en el valor de clorofila con la aplicación de 3,0 y 4,5 t ha^{-1} , donde con valor SPAD de 33,53 y 32,94, en su orden, fueron estadísticamente superiores a sus respectivas dosis de 1,5 y 6,0 t ha^{-1} . Cuando comparado con el tratamiento testigo, estos incrementos fueron de 5,90 y 5,31 para $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y CaSO_4 , respectivamente; valores inferiores a 27,63 (Tratamiento testigo) correspondieron a los tratamientos con 1,5 t ha^{-1} de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y 3,0 t ha^{-1} de zeolita.

De acuerdo a los parámetros de medición de clorofila del (SPAD), Dobermann y Fairhurst (2012) indican que rendimientos máximos en plantas de arroz, es reflejado en la concentración de N en la hoja más joven, donde debe mantenerse totalmente extendida o superar los 1,4 g m^2 de N. Los contenidos críticos que se presentan en las hojas tienen un valor SPAD de 35, en cualquier estadio de desarrollo del cultivo, siendo útil en arroz de transplante en temporada de verano en variedades índicas semi enanas. Comparando con los resultados obtenidos en la investigación, se tiene que con la aplicación del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y CaSO_4 , se mejoró sustancialmente la actividad de la clorofila y por ende la concentración de N en los tejidos del arroz, consiguiendo un valor SPAD mayor de 32 (Figura 4.12).

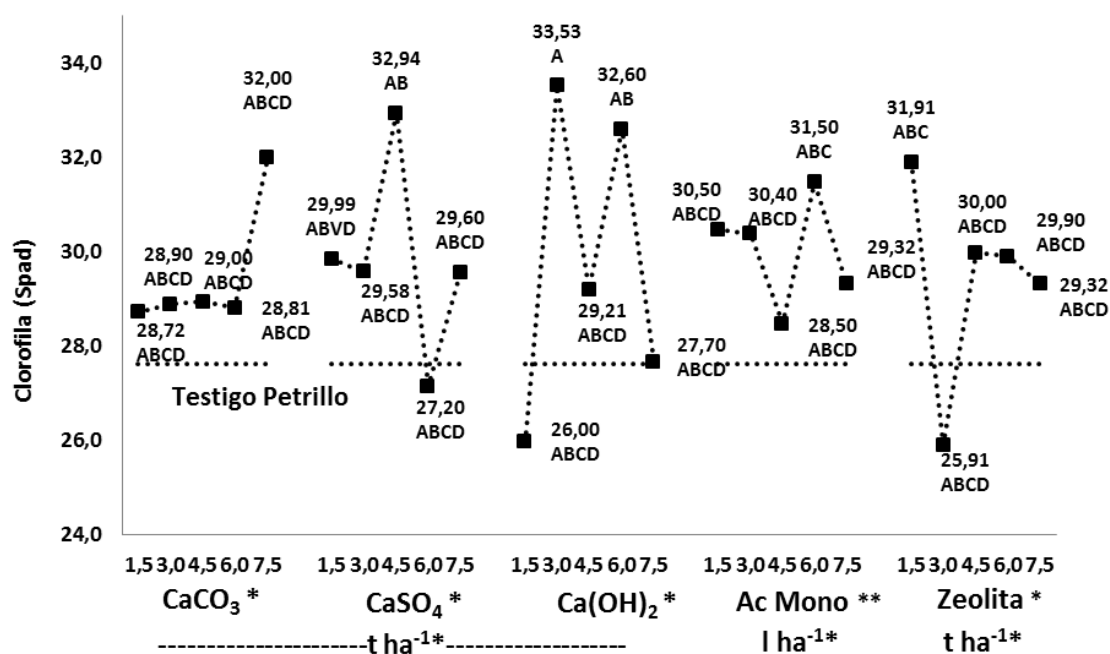


Figura 4.12. Valores de clorofila (30 DDS) afectados por las aplicaciones de distintas dosis de enmiendas de suelos en suelo salino de Petrillo.

4.2.7. Absorción de nutrientes

Los principales elementos químicos en suelos salinos que afectan el normal desarrollo de las plantas son los cloruros y sulfatos de Na, Ca, Mg y K, así, se interpretarán estos resultados, considerando estos elementos absorbidos por las plantas de arroz.

Los contenidos de nutrientes conseguidos en los diferentes tratamientos para corrección de la salinidad del suelo de La Cuca, presentados en la Tabla 4.7, indican que enmiendas como CaSO_4 en dosis de $6,0 \text{ t ha}^{-1}$, Ac Monos en dosis de $7,5 \text{ l ha}^{-1}$ y zeolita en dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$, fueron los tratamientos con los que se consiguió disminuir la absorción de Na y Cl, elementos tóxicos para las plantas; sin embargo, también se registró disminuciones en la absorción de los restantes nutrientes, que son esenciales para el normal desarrollo de las plantas, hecho que no hace deseable en un cultivo.

En aplicaciones realizadas con CaCO_3 como enmienda en ambientes de altos valores de Na permitió bajar significativamente los niveles de PSI, Na y Mg, evaluados a los seis meses desde su aplicación. Se observó una tendencia al descenso de pH y CIC. El uso de CaCO_3 no modificó significativamente las variables: K, M.O y Ca (Pollak, 2011).

Por otro lado, el uso de CaCO_3 en dosis de 3 t ha^{-1} , respecto al tratamiento testigo provocó incrementos en el orden de 74%, 91% y 180% para N, P y K, macronutrientes esenciales y afectados por la salinidad de los suelos; sin embargo, también presentan elevación en los contenidos de 100% y 85% de Cl y Na, respectivamente.

Lo observado en las plantas de arroz sembradas en suelos enmendados con CaCO_3 , puede deberse a que estas al encontrarse mejor nutridas, producen mayor cantidad de materia seca con concentraciones elevadas de nutrientes, que diluyen el Na y Cl, considerados como tóxicos; esto se explicaría con lo expuesto por Láynez, Méndez y Mayz, (2008), quienes indican que la presencia de iones salinos como Na y Cl, consiguen disminuir la absorción de otros nutrientes especialmente K, por competencia iónicas que alteran la pared celular de las raíces; y en el caso de esta investigación la absorción del K fue incrementado en 180%, respecto al testigo, sabiendo también que este elemento funciona como regulador de la ósmosis en la planta (Doberman y Faihurst, 2012), disminuyendo otro efecto deletéreo de la salinidad de los suelos.

Para el suelo de El Pan (Tabla 4.8), se aprecia que con la aplicación de 3,0 y 4,5 t ha⁻¹ de Ca(OH)₂ y Ac Monos, se consiguió reducir en 70,8% y 62,5% la absorción de Na, respectivamente; sin embargo, este efecto implicó también la elevación del 188,4% y 350,0% en la absorción del Cl, en su orden. También se verificó que con la aplicación del Ca(CO)₂ se redujo la absorción de los macro y micronutrientes, contrario a al efecto del Ac. Monos donde se elevó la absorción.

Tabla 4.7. Contenidos de nutrientes registrados en plantas de arroz sembradas en suelos salinos de La Cuca, corregidos con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas.

Enmienda	Dosis	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Cl	Na
mg maceta ⁻¹														
CaCO ₃	1,5	7,8	1,6	9,7	1,9	2,1	1,1	280,0	50,0	4690,0	5230,0	80,0	6,5	6,1
CaCO ₃	3	13,4	2,3	14,3	2,7	3,0	1,4	390,0	75,0	6600,0	7920,0	90,0	9,6	9,8
CaCO ₃	4,5	11,1	2,2	11,7	3,5	3,1	1,5	410,7	88,0	9269,3	8550,7	117,3	10,3	9,8
CaCO ₃	6	8,4	1,6	7,4	2,6	2,3	1,2	290,0	50,0	5860,0	5520,0	70,0	7,5	6,9
CaCO ₃	7,5	9,7	2,1	9,7	3,5	2,8	1,4	413,3	93,3	7440,0	8360,0	120,0	7,7	8,0
CaSO ₄	1,5	11,2	2,2	10,5	3,7	2,9	1,8	426,7	106,7	10053,3	9360,0	80,0	7,5	8,4
CaSO ₄	3	10,3	2,3	9,2	4,7	3,4	2,3	528,0	146,7	12466,7	11953,3	117,3	10,0	10,4
CaSO ₄	4,5	10,6	2,2	8,1	3,3	2,7	1,7	329,3	88,7	11716,7	10969,3	114,0	4,1	8,5
CaSO ₄	6	4,5	0,9	3,9	1,3	1,3	1,0	165,3	32,0	4586,7	3637,3	37,3	3,1	3,9
CaSO ₄	7,5	11,4	0,9	9,2	2,9	2,9	1,6	283,3	56,7	7128,7	7627,3	68,0	6,3	7,6
Ca(OH) ₂	1,5	10,3	1,7	9,6	2,9	2,7	1,4	380,0	88,7	8220,7	7220,0	76,0	6,8	9,1
Ca(OH) ₂	3	9,2	1,7	9,1	2,8	2,7	1,1	328,7	56,7	6324,0	5802,7	90,7	7,7	7,6
Ca(OH) ₂	4,5	11,3	1,7	13,0	3,1	2,5	1,6	380,0	76,0	7726,7	8144,7	76,0	4,7	8,1
Ca(OH) ₂	6	10,7	2,0	12,2	3,4	2,9	1,7	382,7	68,3	8200,0	9211,3	109,3	7,0	9,7
Ca(OH) ₂	7,5	8,4	1,3	7,6	2,9	2,2	1,0	260,0	70,0	6910,0	7280,0	70,0	7,0	6,9
Ac Monos	1,5	11,8	1,8	9,8	3,7	3,1	1,5	406,0	112,0	11480,0	12194,0	126,0	2,9	11,1
Ac Monos	3	11,1	1,7	7,8	3,3	2,8	1,1	256,7	58,3	10325,0	7280,0	128,3	11,4	9,3
Ac Monos	4,5	11,9	1,9	9,0	2,7	2,9	1,4	410,0	68,3	8678,3	7926,7	109,3	9,3	11,8
Ac Monos	6	8,9	1,5	9,1	2,2	2,2	0,9	280,3	67,7	4350,0	5384,3	58,0	7,4	6,7
Ac Monos	7,5	6,0	1,0	5,8	1,4	1,4	0,6	186,7	33,3	2453,3	3526,7	46,7	4,2	4,5
zeolita	1,5	6,6	1,0	4,7	1,7	1,6	0,7	220,0	51,3	7040,0	5639,3	66,0	4,6	4,8
zeolita	3	9,0	1,5	9,3	2,1	2,4	1,1	320,0	64,0	9098,7	6837,3	85,3	6,2	6,1
zeolita	4,5	7,8	1,1	5,8	1,6	1,7	0,9	234,0	52,0	5234,7	6326,7	78,0	5,0	6,1
zeolita	6	7,7	1,3	5,8	2,4	2,0	0,8	241,7	50,0	5350,0	6166,7	83,3	7,3	6,3
zeolita	7,5	11,4	2,0	11,9	3,0	2,8	1,3	378,0	84,0	9828,0	4158,0	112,0	9,4	9,2
Testigo		7,7	1,2	5,1	2,4	1,8	1,2	291,7	75,0	6400,0	6000,0	41,7	4,8	5,3

Tabla 4.8. Contenidos de nutrientes registrados en plantas de arroz sembradas en suelos salinos de El Pan, corregidos con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas

Enmienda	Dosis	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Cl	Na
mg maceta⁻¹														
CaCO ₃	1,5	11,3	1,8	10,1	2,5	2,7	1,0	377,0	65,0	6296,1	6162,0	143,0	8,6	7,5
CaCO ₃	3	12,4	2,1	11,5	2,7	2,8	1,1	387,0	71,7	6022,6	8141,3	100,3	6,8	10,0
CaCO ₃	4,5	14,2	2,4	12,0	3,0	3,2	1,2	337,3	76,7	6302,0	8402,7	138,0	8,3	9,5
CaCO ₃	6	11,2	2,0	12,6	3,3	3,1	1,6	286,7	78,8	7037,7	7224,0	143,3	11,0	7,7
CaCO ₃	7,5	5,6	1,0	4,9	2,4	1,8	0,8	199,3	46,0	4569,3	2123,7	69,0	4,8	5,8
CaSO ₄	1,5	10,6	1,7	9,8	4,4	3,3	1,7	434,0	98,0	8680,0	4340,0	112,0	9,1	11,9
CaSO ₄	3	7,2	1,1	8,2	2,0	1,6	1,1	250,0	50,0	3730,2	2783,3	75,0	5,5	6,2
CaSO ₄	4,5	9,5	1,6	9,4	3,0	2,7	1,4	351,0	91,0	7540,0	3317,5	130,0	9,8	9,5
CaSO ₄	6	9,3	1,7	9,3	3,1	2,7	1,4	302,5	86,3	7617,6	3576,7	135,7	7,1	8,3
CaSO ₄	7,5	8,3	1,5	8,7	2,4	2,3	1,2	225,0	68,0	7135,1	3264,2	68,0	9,7	6,8
Ca(OH) ₂	1,5	10,4	1,6	9,3	3,1	2,7	1,8	320,7	74,0	7481,4	4020,7	98,7	7,1	4,5
Ca(OH) ₂	3	8,4	1,3	7,9	2,1	2,0	1,1	250,0	60,0	6274,4	2732,1	110,0	7,5	2,8
Ca(OH) ₂	4,5	14,0	2,2	12,8	4,3	3,4	2,0	347,7	100,0	8491,6	4666,7	150,0	7,6	7,1
Ca(OH) ₂	6	11,8	2,1	12,9	3,3	3,0	1,3	306,7	90,0	9150,0	4765,2	180,0	8,1	4,7
Ca(OH) ₂	7,5	9,5	1,4	9,7	2,4	2,2	1,3	234,8	66,0	4752,0	3033,1	88,0	7,5	3,5
Ac Monos	1,5	10,2	1,5	8,6	2,8	2,4	1,5	206,4	68,0	5816,0	3031,5	79,3	7,1	3,2
Ac Monos	3	14,0	2,3	13,8	3,2	3,4	1,8	366,7	100,0	11197,1	4113,6	133,3	11,7	3,6
Ac Monos	4,5	9,8	1,6	9,3	2,6	2,5	1,4	245,0	70,0	4785,2	2378,1	105,0	7,6	3,8
Ac Monos	6	8,1	1,4	8,3	2,5	2,2	1,4	212,6	64,0	3933,3	2473,0	106,7	8,8	4,2
Ac Monos	7,5	15,4	2,2	14,9	3,9	4,2	2,1	406,5	110,0	6003,8	4363,5	201,7	16,4	6,5
zeolita	1,5	9,7	1,7	14,6	2,9	2,7	1,2	283,9	74,0	8818,3	3786,3	148,0	6,3	4,8
zeolita	3	9,2	1,9	12,3	3,2	2,9	1,6	291,3	76,0	8214,0	4142,0	114,0	7,8	4,8
zeolita	4,5	16,6	3,3	16,9	6,2	5,3	3,5	528,0	132,0	14784,0	5786,0	220,0	18,5	9,5
zeolita	6	6,0	1,0	5,7	1,3	1,5	1,0	141,5	33,3	4278,2	1775,5	66,7	6,2	2,1
zeolita	7,5	11,1	2,1	12,6	3,4	3,1	1,9	337,3	88,0	6380,4	4356,0	117,3	11,0	4,3
Testigo		12,6	2,0	11,1	2,5	3,2	1,1	410,0	68,3	6997,1	7844,7	109,3	2,6	9,6

Otra alternativa viable para este suelo es el uso de zeolita en dosis de 4,5 t ha⁻¹, donde no se modifica prácticamente la absorción de Na, eleva en cerca de 600% la absorción de Cl, más provoca elevación en la absorción de elementos como N, P, K, Ca, que son problema en suelos salinos. La aplicación de la zeolita, mejora la producción de materia seca y eleva los contenidos de N en la planta, por disminución de la salinidad del suelo, efecto que según Dobermann y Fairhurst (2012) sería el resultado de mayor actividad de la nitrato reductasa, elevando los porcentajes de clorofila y fotosíntesis e aumentando la tasa de respiración y los valores de nitrógeno en la planta. Los contenidos de K y Ca en la planta decrecen.

En el suelo de Petrillo, la mejor alternativa registrada fue con el uso de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en dosis de 3 t ha^{-1} , con el que se consiguió reducir en 18,2% la absorción de Na, respecto el tratamiento testigo (Tabla 4.9); sin embargo, se verifica el incremento en 16,6% en la absorción de Cl, elemento que también podría causar toxicidad en las plantas de arroz. Este incremento fue el menor registrado comparado con los tres suelos evaluados.

La aplicación de esta enmienda, involucra también mejoramiento en la nutrición de las plantas con cantidades mayores de macro y micronutrientes absorbidos.

Tabla 4.9. Contenidos de nutrientes registrados en plantas de arroz sembradas en suelos salinos de Petrillo, corregidos con aplicaciones de cinco enmiendas cálcicas

Enmienda	Dosis	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Cl	Na
mg maceta ⁻¹														
CaCO ₃	1,5	6,8	1,1	8,0	1,6	1,6	1,0	169,0	52,0	4030,0	1839,0	86,7	7,3	3,3
CaCO ₃	3	10,8	1,4	14,2	2,5	2,5	1,4	324,0	72,0	5427,1	3163,9	108,0	8,0	3,5
CaCO ₃	4,5	8,7	1,3	9,6	1,8	2,0	1,2	210,0	50,0	5107,3	1566,1	100,0	8,8	3,0
CaCO ₃	6	10,8	1,5	12,0	1,8	2,5	1,3	252,0	60,0	5988,0	1838,5	84,0	9,9	2,6
CaCO ₃	7,5	8,4	1,2	8,8	1,9	2,2	1,2	214,7	46,7	4396,3	2706,7	65,3	7,5	2,6
CaSO ₄	1,5	12,6	2,0	12,6	2,9	3,3	1,5	330,0	75,0	9316,2	3900,0	105,0	8,4	4,9
CaSO ₄	3	5,9	0,9	4,8	1,5	1,6	0,9	161,0	35,0	2909,8	2030,0	56,0	4,3	1,8
CaSO ₄	4,5	7,3	1,2	9,3	2,1	1,9	1,2	202,7	46,7	5662,6	2678,7	84,0	5,2	3,1
CaSO ₄	6	13,6	2,2	14,8	3,2	4,1	1,9	504,0	90,0	12546,9	5112,0	213,0	10,1	5,3
CaSO ₃	7,5	9,5	1,4	7,9	2,5	2,4	1,5	362,7	68,0	7706,7	2946,7	123,4	9,7	3,5
Ca(OH) ₂	1,5	9,1	1,4	9,4	1,8	1,9	1,3	241,7	56,0	6710,7	2240,0	92,0	6,4	3,1
Ca(OH) ₂	3	13,0	2,3	15,0	2,4	2,8	2,0	322,3	90,0	9217,5	4155,0	165,0	10,5	3,6
Ca(OH) ₂	4,5	4,5	0,7	5,6	0,9	1,2	0,7	170,7	26,7	4426,7	1690,7	64,0	2,9	1,2
Ca(OH) ₂	6	9,4	1,7	12,2	2,3	2,3	1,6	241,7	72,0	6804,0	3120,0	147,7	7,4	3,3
Ca(OH) ₂	7,5	9,2	1,2	13,3	2,1	2,9	1,2	319,0	55,0	6974,0	2816,0	160,6	9,4	2,8
Ac Monos	1,5	8,9	1,6	8,5	2,1	2,2	1,2	216,4	55,0	8103,2	2728,0	172,5	6,2	3,0
Ac Monos	3	10,1	1,7	10,3	1,9	2,7	1,3	236,3	60,0	7662,4	3324,0	163,2	11,3	3,3
Ac Monos	4,5	8,6	1,2	7,0	2,0	2,0	1,3	256,4	56,0	7130,2	2439,9	164,4	5,1	2,3
Ac Monos	6	9,2	1,7	9,6	2,2	2,5	1,7	283,3	66,0	6941,0	2530,0	165,0	9,2	3,4
Ac Monos	7,5	10,9	2,1	12,2	2,5	2,8	2,0	338,0	78,0	6717,9	3445,0	248,0	13,4	3,9
zeolita	1,5	8,8	1,7	8,1	2,1	2,3	1,3	245,0	58,3	6605,2	2906,4	258,7	9,0	3,3
zeolita	3	5,2	0,9	6,6	1,3	1,5	1,1	194,8	40,0	4520,0	1800,0	131,8	5,1	2,3
zeolita	4,5	7,8	1,5	8,4	2,4	2,3	1,8	320,0	74,7	6506,7	2863,3	175,9	8,2	2,9
zeolita	6	8,6	1,4	9,8	2,6	2,5	1,7	286,0	66,0	7799,0	2838,0	220,8	10,4	4,3
zeolita	7,5	12,6	2,3	16,4	4,2	3,6	2,7	468,0	126,0	15642,0	4194,0	264,0	10,7	6,7
Testigo		9,1	1,6	10,0	2,3	2,4	1,6	275,5	72,0	6381,0	2401,2	84,0	9,0	4,4

En trabajo realizado por Morales-Bautista et al., (2011), contaminando un suelo arcilloso, usando agua “congénita” (residuo de la producción de hidrocarburos) con 140 dS m^{-1} , a la que aplicaron $\text{Ca}(\text{OH})_2$, consiguieron reducir la salinidad de 14 a 4 dS m^{-1} , por acción

del intercambio catiónico provocado, indicando que esta enmienda podría ser usada para reducir la salinidad o sodicidad de los suelos, permitiendo un mayor desarrollo vegetal.

4.2.8. Relaciones iónicas en tejidos

Las relaciones de concentraciones de elementos en los tejidos del arroz, se observan en la Tabla 4.10, donde para el suelo de La Cuca, la aplicación de CaCO_3 y Ca(OH)_2 , provocan las mejores relaciones en cuanto a la absorción de los iones Na y Mg que al parecer son los que provocan toxicidad en las plantas; sobresale la disminución de 1,03 en la relación Na/K del tratamiento testigo para 0,78 y 0,82 y elevando la relación K/Mg de 2,90 del testigo para 3,97 y 3,98 respectivamente, esto debido al equilibrio iónico provocado por el Ca, disminuyendo la relación Na/Ca que permite mayor absorción de K por las raíces, disminuyendo la toxicidad causada por el Na (Hernández, 2000).

Con el Ca(OH)_2 se elevó la relación B/Cl en 0,1, por el contrario con la aplicación de CaCO_3 , bajó en 0,1 esta relación. Se observa también que todas las enmiendas empleadas, elevaron la relación B/Cl, indicativo de reducción de absorción de cloro y elevación del ion boro.

Para el suelo de El Pan, la opción de usar CaSO_4 es descartada por provocar incrementos en la relación Na/K y Na/Ca, indicativo de mayor absorción del sodio en relación a los nutrientes K y Mg. Como alternativa de correctivo de la salinidad del suelo, surge el Ca(OH)_2 que mayormente disminuye las relaciones Na/Ca y eleva K/Mg y Ca/Mg, índices que demuestran mejor nutrición de las plantas de arroz. Igualmente la zeolita, a más de disminuir las concentraciones de Na en relación al K y Mg, elevó también la relación del K respecto al Mg. Sobresale en este suelo los valores de B y P que se redujeron respecto al ion Cl, disminuyendo las relaciones P/Cl y B/Cl en más de 61% y 67%, respectivamente en relación al tratamiento testigo.

Tabla 4.10. Relaciones Na/K, Na/Ca, Na/Mg, K/Mg, Ca/Mg, P/Cl y B/Cl en tejidos de arroz, creciendo en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, corregidos con enmiendas cálcicas

Enmienda	Na/K	Na/Ca	Na/Mg	K/Mg	Ca/Mg	P/Cl	B/Cl
La Cuca							
CaCO ₃	0,78	2,91	3,04	3,97	1,06	0,24	11,59
CaSO ₄	0,96	2,51	2,96	3,13	1,19	0,30	14,68
Ca(OH) ₂	0,82	2,75	3,20	3,98	1,17	0,26	12,96
Ac Monos	1,03	3,30	3,43	3,44	1,05	0,28	16,95
Zeolita	0,92	3,02	3,13	3,49	1,04	0,22	13,38
Testigo	1,03	2,17	3,00	2,90	1,38	0,25	8,77
El Pan							
CaCO ₃	0,84	2,92	3,02	3,68	1,05	0,24	15,04
CaSO ₄	0,93	2,90	3,43	3,79	1,18	0,19	13,03
Ca(OH) ₂	0,42	1,46	1,66	3,96	1,13	0,23	16,42
Ac Monos	0,39	1,42	1,46	3,73	1,03	0,18	12,18
Zeolita	0,40	1,52	1,62	4,19	1,07	0,21	14,33
Testigo	0,87	3,92	3,06	3,51	0,78	0,74	41,56
Petrillo							
CaCO ₃	0,30	1,60	1,42	4,80	0,88	0,16	10,81
CaSO ₄	0,38	1,48	1,38	3,70	0,94	0,21	16,09
Ca(OH) ₂	0,25	1,47	1,26	4,98	0,85	0,21	17,88
Ac Monos	0,34	1,49	1,32	3,91	0,90	0,20	22,24
Zeolita	0,39	1,57	1,56	3,99	0,99	0,18	24,35
Testigo	0,44	1,92	1,86	4,20	0,96	0,18	9,30

En el suelo de Petrillo, queda descartada la opción de uso de CaCO₃, por presentar los menores efectos positivos sobre las relaciones aniónicas entre P, B y Cl; sin embargo, la mejor alternativa resulta ser con Ca(OH)₂, que disminuye las concentraciones de Na en los tejidos de arroz en relación a los de K, Ca y Mg; así mismo, eleva la relación del K/Mg, hecho que es apropiado para este suelo. Otro efecto positivo, es que se encontró mayor absorción de P y B respecto al Cl; sin embargo, hubo una leve disminución en la relación Ca/Mg. García (1991) manifiesta que existen desbalances en el complejo de cambio, debido a la relación inversa Ca/Mg (contenido de Mg > Ca), siendo una condición especial de suelos salinos que presentan altas saturaciones de Mg en el complejo de cambio. Suelos similares al del actual estudio se han encontrado en suelos del Valle del Cauca, que están siendo afectadas por una alta saturación de Mg⁺² intercambiable en Vertizoles y Mollisoles, donde a más de los efectos químicos, las altas concentraciones Mg con relación al Ca, originan deterioro en la estructura y propiedades físicas dando origen a suelos pesados impermeables, con conductividades hidráulicas reducidas ya que el ion Mg provoca dispersión de las arcillas.

Resultados encontrados por Morales et al. (2000), en suelos con CE de 0,28 a 0,66 dS m⁻¹, con relación Ca/Na en su mayoría < 10,00, representa altos niveles de Na intercambiable, son suficientes para desplazar el Ca del complejo de intercambio, siendo un peligro inminente para el desarrollo y crecimiento de las plantas de arroz.

4.2.9. Correlaciones

Para conocer el grado de relación entre las variables del suelo y la clorofila y producción de materia seca del arroz, se realizó la correlación lineal de Pearson (Tabla 4.11.), que indica que la presencia de CO₃H mostró correlación estadísticamente significativa y negativa (> 0,50) con la CE, K, Ca, Mg y SB, indicando que a mayor presencia de CO₃H, menores serán los valores de estas variables de salinidad del suelo; contrario a esto se encuentra con el RAS y PSI cuya relación es directamente proporcional a la del CO₃H.

También se encontraron correlaciones significativas al nivel del 1% entre el pH y los cationes K, Ca²⁺ y Mg²⁺ con valores de -0,54, -0,67 y -0,59, respectivamente, hecho que no era esperado, sin embargo, este mismo efecto observó Aguiar et al. (2007), en suelos salinos del estado de Sergipe, Brasil.

La correlación altamente significativa y positiva de 0,65, 0,82, 0,79 y 0,96 entre la CE y las cantidades de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ intercambiables, respectivamente, son indicativos de que todos estos cationes son responsables de la salinidad que se encuentra en el suelo.

Tabla 4.11. Correlación lineal de Pearson entre variables químicas del suelo y de rendimiento de materia seca del cultivo de arroz, sembrado en invernadero sobre suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo

	pH	CE	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CO ₃ H	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	RAS	PSI	Clorofila	M. seca	
		dS m ⁻¹	mg l ⁻¹				meq l ⁻¹							g maceta ⁻¹		
pH																
CE	-0,52**															
Na ⁺	-0,13	0,65**														
K ⁺	-0,54**	0,82**	0,19													
Ca ²⁺	-0,67**	0,79**	0,19	0,80**												
Mg ²⁺	-0,59**	0,96**	0,49**	0,86**	0,87**											
SB	-0,55**	0,97**	0,70**	0,78**	0,82**	0,94**										
CO ₃ H	0,77**	-0,51**	-0,09	-0,64**	-0,73**	-0,6**	-0,56**									
CO ₃ ²⁻	0,37**	-0,25*	0,02	-0,34**	-0,35**	-0,28*	-0,25*	0,29*								
SO ₄ ²⁻	-0,42**	0,11	0,27*	-0,10	0,14	0,08	0,20	-0,26*	-0,05							
Cl ⁻	-0,44**	0,92**	0,52**	0,85**	0,80**	0,92**	0,91**	-0,53**	-0,27*	-0,21						
RAS	0,52**	-0,06	0,36**	-0,30*	-0,46**	-0,21	-0,10	0,54**	0,18	-0,23*	-0,09					
PSI	0,51**	-0,07	0,37**	-0,31*	-0,48**	-0,22	-0,11	0,57**	0,20	-0,21	-0,11	0,97**				
Clorofila	-0,05	0,10	0,02	-0,04	0,02	0,12	0,05	0,05	0,08	-0,11	0,11	0,01	0,00			
M.seca	-0,04	0,03	0,19	-0,13	-0,09	-0,03	0,03	0,05	0,19	0,19	-0,06	0,02	0,07	0,07		

*, **; Significativo al 0,05 y 0,01%, respectivamente

La presencia de una correlación positiva y estadísticamente significativa entre el Cl y las variables de salinidad del suelo y negativa con la de CO_3H , nos hacen suponer que las bases se encuentran principalmente asociadas a los iones cloro, formando compuestos tipo NaCl, KCl, CaCl y MgCl; más aún si se observa que con las otras opciones de enlaces como SO_4^{2-} y CO_3^{2-} , no presentó ningún grado de afinidad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Según los resultados obtenidos en este trabajo, se llegó a concluir que:

Al final de la incubación de los suelos todas las enmiendas provocaron disminución en la CE de la solución del suelo, sobresaliendo el CaCO_3 , CaSO_4 y zeolitas en dosis de 3,0, 1,5 y $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ para el suelo de La Cuca y CaCO_3 y Ca(OH)_2 en dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ para suelos de Petrillo y El Pan.

Se consiguió disminuir la salinidad de la solución del suelo en 32, 62, y 46% en los suelos de La Cuca, El Pan, y Petrillo con las aplicaciones de enmiendas.

Los valores de CO_3 , CO_3H , MO y arcilla que hacen parte de la capacidad tampón de los suelos, influyen en la respuesta de los suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo a las aplicaciones de enmiendas.

Se consiguió disminuir la presencia de elementos que causaban salinidad del suelo como Mg^{2+} , Na^+ y Cl^- con el uso de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de CaSO_4 o zeolita par el suelo de La Cuca, $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ de Ca(OH)_2 para el suelo de El Pan y $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de Ca(OH)_2 para el suelo de Petrillo.

La mejor respuesta sobre la salinidad de los tres suelos, fue conseguida con la aplicación de enmiendas al elevar las concentraciones de K en los tejidos del arroz en relación al Na y Mg y del P y B respecto al Cl para los suelos de La Cuca y Petrillo; por el contrario, en el suelo de El Pan, todas las enmiendas redujeron las concentraciones de P y B, afectando negativamente su relación con el Cl. La salinidad presente en los suelos, es causada por los altos contenidos de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} que se encuentran enlazados especialmente al Cl, formando compuestos solubles.

5.2. Recomendaciones

Con base en los resultados encontrados en esta investigación, se recomienda:

Continuar con los trabajos de investigación a nivel de campo, utilizando las enmiendas que mejor resultado presentaron en cada suelo.

Determinar los efectos de la enmienda sobre la concentración y tipo de cationes presentes en la zona de intercambio y su proporción.

Realizar pruebas de dosis crecientes de enmiendas, para determinar las cantidades adecuadas y económicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, N. A. de O., Santana, G. C. C., Valois, L. C. C., Cunha, B. A., Magno, de S. C., Favaro, B. F. (2007). Características químicas e salino-sodicidade dos solos do perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. Noviembre-Diciembre. *Ciência Rural*. 37(6):1640-1645.
- Álvarez, C., Bagnato, R., Noellemeyer, E. (2012). Productividad de trigo y cebada en ambientes con presencia de sales. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 2012.
- Badia, D. (1992). Suelos afectados por sales. Revisado el 8 de Diciembre, 2014. Disponible en: <http://publicacions.Iec.cat/repository/pdf/00000120%5C0000090>
- Bandera, R. (2004). Rehabilitación de suelos salinos-sódicos: Evaluación de enmiendas y de especies forrajeras. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina.
- Barriga, S. (2003). Diagnóstico de la salinidad de los suelos cultivados de las principales áreas bajo riego en el Ecuador, Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Blanco, J. O. (2002). Acondicionadores y mejoradores del suelo. Ministerio de agricultura y desarrollo rural programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria-Pronatta-ICA. 23 pp.
- Cabalseta, G., Cordero, A., (1991). Efectos de salinidad en arroz bajo riego en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 167-68 pp.
- Casals, C. (2014). Las zeolitas minerales del siglo 20. Revisado el 17 de Abril, 2014. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/las-zeolitas/las-zeolitas.pdf>
- Clavero, T., Razz, R. (2002). Efecto de la salinidad de (*Gliricidia sepium*). *Revista científica*. 12(2); 517-518 pp.

- Dobermann, A., Fairhurst, T. (2012). Arroz: desordenes nutricionales y manejo de nutrientes. IPNI. 1(2); 155-156 pp.
- Espinoza, J. M. (1999). ACIDEZ Y ENCALADO DE LOS SUELOS. IPNI *International Plant Nutrition Institute, (1)*.
- FAO. (1996). Degradación del suelo debido a actividades humana. Cumbre Mundial sobre la alimentación. Consultado el 20 de Enero. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612smap12-s.pdf>
- FAO. (1999). RICE: Post-harvest operations. INPHO-POST harvest Compendium. Consultado el 20 de Enero, 2015. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendium_-_RICE.pdf
- FAO. (2015). Información sobre operaciones pos-cosecha. Consultado el 20 de Enero. Disponible en: <http://www.fao.org/inpho/inpho-post-harvest-compendium/cereales-y-granos/es/>
- FAOSTAT. (2013). Food and agriculture organization of the United Nations. Consultado el 30 de Noviembre, 2013. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>
- Flores, A. (1991). Suelos Salinos y Sódicos. Consultado el 7 de Marzo, 2015. Disponible en: http://www.academia.edu/2770265/Suelos_salinos_y_s%C3%B3dicos
- Funprover, (sf). XII salinidad de los suelos agrícolas. Consultado el 2 de Abril, 2015. Disponible en; <http://www.funprover.org/formatos/manualTomate/Salinidad%20de%20los%20suelos%20agricolas.pdf>
- García, A. (2012). Manejo de Suelos con acumulación de Sales. VIII Congreso Ecuatoriano de Ciencia del suelo, 2-3 pp.
- García, A. (2010). Problemática a de salinidad en cultivo de arroz. Consultado el 30 de Marzo, 2015. Disponible en; [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/0/8BDECBA3B42BF11105257C27004F16D4/\\$FILE/3.%20Salinidad%20Alvaro%20Grc%20Ca.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/0/8BDECBA3B42BF11105257C27004F16D4/$FILE/3.%20Salinidad%20Alvaro%20Grc%20Ca.pdf)

- García, G. (2012). Absorción, distribución, de las sales y comportamiento del sistema antioxidante en dos genotipos de cebolla (*Allium cepa* L.) sometidas al estrés salino. Tesis de doctorado. Universidad Central de Venezuela Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 28 pp.
- García, S., Trejo, L., Gómez, F., Caldama, C., Espinoza, D., Herrera, V. (2012). El crecimiento, la actividad fotosintética y el potasio y la concentración de sodio en las plantas de arroz bajo estrés salino. *Acta Scientiarum. Agronomía Maringá*. 34 (3); 317-324.
- González, L. M., A. Zamora y N. Céspedes. (2000). Análisis de la tolerancia a la salinidad en variedades de *Vigna unguiculata* (L.) sobre la base de caracteres agronómicos, la acumulación de iones y el contenido de proteína. *Cultivos Tropicales*, 21(1):47-52 pp.
- Gonzales, M., Gómez, O., Muñiz, J., Valencia, F., Gutiérrez, G., Figueroa, O. (2012). Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizante en el estado de Guerrero. Consultado el 25 de Enero, 2015. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342012000600006&script=sci_arttext
- Guerrero, J., Pla, I., Camacho, R., Valera, A., Ferrer, J. (2007). Génesis de un suelo salino-sódico de Tucupido, estado Guárico-Venezuela. Consultado el 7 de Marzo, 2015. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0002192X2007000300003&script=sci_arttext
- Hernández, O. (2000). Uso de métodos químico-biológicos como mejoradores de conductividad hidráulica de un suelo salino-sódico. Tesis de Doctorado en Ingeniería Agronómica. Universidad de Colima. Tecomán, Colombia, 32 pp.
- Ibáñez, J. (2014). Solonchaks (suelos salinos) en Latinoamérica y Europa. Consultado el 15 de Enero del 2014 Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2014/01/30/144831>
- Ibáñez, J., Manríquez, J. (2014). Solonetz (suelos sódicos). Consultado el 3 de Marzo, 2015. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2014/02/12/144949>

- IPNI. (2014). 4R de la Nutrición de Plantas. Manual para mejorar el manejo de la nutrición de las plantas. XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo. Cuzco-Perú. 3-31 pp.
- INAMHI. (2009). Anuario Meteorológico. 2009. N° 49.
- INAMHI. (2010). Anuario Meteorológico. 2010. N° 50.
- INFOAGRO. (2015). El cultivo del arroz. N° 1. Periodo Enero – Diciembre 2012. Subsecretaria de Comunicación. Consultado el 23 de Noviembre, 2014. Disponible en:http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/Comercialasación/Boletines/arroz/arroz_2012_1.pdf.
- INFOARROZ. (2013). Estadísticas. Arroz Pady – Rendimientos (en toneladas por ha). Consultado el 20 de enero, 2015. Disponible en: http://www.infoarroz.org/portal/uploadfiles/20131210104926_12_cuadro07.htm
- Kass, D. (2007). Fertilidad de los suelos. Costa Rica: EUNED.
- Láynez-Garzabal, J.A.; Méndez-Natera, J.R.; Mayz-Figueroa, J. (2008). Efecto de la salinidad y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. *Rev. Esp. Cienc. Quim. Biol.* 11(1):17-25
- Lamz, P. A.; González, C.M.C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: La mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales.* 34(4):31-42 pp.
- Lavado, R. S., Taboada, M. A. (2009). Alteraciones de la Fertilidad de los Suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones: Buenos Aires. Argentina.
- Lazcano, I. (sf). Cal agrícola: conceptos básicos para la producción de cultivos. Consultado el 25 de Enero, 2015. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webidex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webidex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf)
- Leidi, O., y Pardo, M. (2002). Tolerancia de los cultivos al estrés salino. CSIC. 1.

- Leite, E., Cavalcante, L., Diniz, A., Santos, R. (2007). Correcao da sodicidade de dois solos irrigados em reposta a aplicacao de gesso agricola. Irriga, Botucatu. 12(2): 168-176 pp.
- Magan, J., Gallardo, M., Lorenzo, P. (2013). Respuesta del tomate a la salinidad en cultivo sin suelo recirculante. Revisado el 1 de Febrero, 2015. Disponible en: <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centroexperimentales-las-palmerillas/respuesta-del-tomate-a-la-salinidad.pdf>
- MAGAP. (2012). Informe situacional de la cadena del arroz. N° 1. Periodo Enero – Diciembre 2012. Subsecretaria de comunicaci3n. Revisado el 23 de Noviembre, 2014. Disponible en: http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/Comercializaci3n/Boletines/arroz/arroz_2012_1.pdf.
- Matichenkov, V. (2008).Deficiencia y funcionalidad de s3lice en suelos, cosechas y alimentos. II conferencia internacional sobre eco-biolog3a del suelo y el compost. 26–29 de Noviembre de 2008. Puerto de la Cruz, Tenerife, 8 pp.
- Mart3n, B., Sosa, O., Magra, G., Zerpa, G. y Besson, P. (2012). Emergencia de forrajeras en un suelo salino-alcalino tratado con yeso. Revista Argentina de Producci3n Animal: 2013. N° 2: 158 pp.
- Molina, E. (1999). Manual de suelos y nutrici3n de Pejibaye para palmito. XI Congreso Nacional de Agronom3a. Revisado el 25 de Enero, 2015. Disponible en: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-iii_317.pdf
- Molina, E. (2014). Acidez del suelo y encalado. Revisado el 19 de Abril, 2014. Disponible en:http://anfagal.org/media/Biblioteca_Digital/Agricultura/Neutralizacion_de_Suelos_Acidos/JM-encalado_y_acidez.pdf .
- Morales-Bautista, C.; Dom3nguez-Rodr3guez, V.; y Adams, R.H. (2011). Estudio cin3tico del intercambio cati3nico con Ca(OH)₂ y evaluaci3n de la fertilidad en un suelo arcilloso contaminado con aguas cong3nitas. Bioagro, 23(2):129-134.
- Movagro. (s.f.). Todo acerca de salinidad del suelo. Consultado el 30 de marzo del 2105 y Disponible en: <http://www.movagro.com/ARTICULOS/SALINIDAD.html>.

- Noborski, M. (2000). El exceso de sales y sodio en los suelos de las regiones aridas y semiaridas. Revisado el 15 de Marzo, 2000. Disponible en: <http://es.slideshare.net/UNLU2008/sales-manejo-uba>
- Otero, J., Garcia, C., Sanchez, R. (2002). Zonificación de los procesos de salinización de los suelos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Republica de Colombia Ministerio del medio ambiente. Subdirección de Geomorfología y Suelos. 5 pp.
- Orejuela, J. (2010). Evaluación de la aplicación de varias dosis de ácido Monosilícico en la producción del cultivo de arroz en la producción del Cultivo de Arroz. Var. INIAP 15. Escuela Superior Politécnica del Litoral, tesis de grado. Guayaquil-Ecuador.
- Pares, J., Basso, C. (2012). Efecto del cloruro de sodio sobre el crecimiento y estado nutricional del cultivo de papaya. Consultado 2 de Abril, 2015. Disponible en; [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev25\(2\)/4.MS%201220.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev25(2)/4.MS%201220.pdf).
- Pollak, G. (2011). Agricultura de precisión para la corrección de ambientes con elevado valor de sodio intercambiable. FAUBA. Especialista de la Universidad de Buenos Aires en Fertilidad de suelos y fertilización. Área fertilidad de suelos y fertilización. Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires. 47 p.
- Pozo, W., Hernández, F., Morell I. (2008) Delimitación de la zona de transición costera en el Golfo de Guayaquil - Ecuador. ESPOL. Revista tecnológica. 21(1): 7-15. 8-14 pp.
- Pozo, W., Carrera, G., Sanfeliu, T. (2010). Variabilidad espacial temporal de la salinidad del suelo en los humedales de arroz de la Cuenca baja del río Guayas, Sudamerica. Revista Tecnologica Espol. 23(1): 73-79 pp.
- Quero, E. (2008). Silicio en la producción agrícola. Consultado 25 de Enero, 2015. Disponible en: http://loquequero.com/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=2.
- Román Q., García M, Domínguez M, Oliva H. (2006) Determinación del método de preparación de suelo y siembra para el cultivo del arroz en suelos afectados por

salinidad y sodicidad en áreas del CAI Arrocerero de Holguín. *Revista Electronica Granma Ciencia*. 10(3): 2-3 pp.

Ruiz, M., (2002). Crecimiento, rendimiento y calidad de semillas de tres cv de *Cenchrus ciliaris* bajo condiciones de salinidad. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Tesis de maestría. Buenos Aires, Argentina.

Santamaría, J., Medina, M. (2005). Salinidad del suelo y agua, producción de nuez y aguas de riego en la Comarca Lagunera: Agrofaz. *Publicación semestral de investigación científica*. 5(3): 105-112 pp.

Sierra, C., Lancelloti, A., Vidal, I. (2007). AZUFRE Elemental como Corrector del pH y la Fertilidad de Algunos Suelos de III y IV Región de Chile. Revisado el 7 de Marzo, 2015. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072007000200007&script=sci_arttext

Suarez, M. (2010). Efecto de enmiendas de origen químico y orgánico en condición de salinidad del agua de riego para incrementar el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.). Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Ciencias Agrarias. Libertad, Ecuador. 20-21 pp.

Troyo, E., Maya, Y., Cortes, J., Solís, G., Blanco, F., García, J., Valdez, R., (2012). Modificación a la ecuación del porcentaje de sodio intercambiable y propuesta de un indicador del riesgo de salinización del agua y el suelo. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 2012.

Toth, G., Montanarella, L., Stolbovoy, V., Maté, F., Jones, A., Panagos, P., Van Liedekerke, M. (2008). *Soils of the European Union*. European Comision-Joint Research Centre-Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, 85 pp.

Valenzuela, J.G. (2012) *Análisis cuantitativo*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de <ciencias Básicas tecnológicas e Ingeniería. Programa de Química. 250 p.

Vallejo, L. M. (1997). Mapa general de clasificación por capacidad-fertilidad. Reconocimiento de los suelos del Ecuador en base a su capacidad-fertilidad. 1(1): 4-5-6-7 pp.

Zerega, L., Adams, M. (2011). Efectos de la cachasa y azufre sobre un suelo salino-sódico del Estado de Carabobo bajo condiciones de invernadero. Estacion Experimental Yaracuy. Yaritagua. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay 2101. 9(2): 1-2 pp.

Agro, R. E. (2013), producción, precios y exportación de arroz ecuatoriano. Revisado el 23 de Julio, 2013. Disponible en: [http:// www.revistaelagro.com /2013/07/23/pr oducción-precio-y-exportación-de-arroz-ecuatoriano/](http://www.revistaelagro.com/2013/07/23/producción-precio-y-exportación-de-arroz-ecuatoriano/)

ANEXOS

Anexo1. Cuadrados medios de Conductividad Eléctrica, colectada a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de las enmiendas del suelo

Fuente de variación	GL	CE0	CE15	CE30	CE45	CE60
Total	233					
Suelo	2	11,3 **	297,8 **	126,2 **	91,6 **	71,2 **
Enmienda	4	0,0 ns	1,4 ns	0,6 ns	0,5 ns	0,7 ns
Dosis	4	0,2 ns	2,2 ns	0,4 ns	1,0 ns	1,0 ns
Suelo*Enmienda	8	0,3 *	0,9 ns	0,8 ns	0,4 ns	0,3 ns
Suelo*Dosis	8	0,2 ns	1,7 ns	0,9 ns	0,6 ns	0,6 ns
Enmienda*Dosis	16	0,2 ns	1,4 ns	1,3 ns	1,0 ns	1,2 *
Suelo*Enmienda*Dosis	32	0,2 ns	1,3 *	1,5 ns	1,1 ns	1,2 **
La Cuca (T78 vs T51 a T75)	1	0,0 *	134,1 **	3,7 ns	178,4 **	5,0 *
El Pan (T76 vs T1 a T25)	1	0,8 *	0,3 *	17,9 **	0,1 ns	3,6 *
Petrillo (T77 vs T26 a T50)	1	0,0 ns	0,1 ns	5,1 *	0,1 ns	0,6 ns
Error experimental	156	0,1	0,9	1,2	0,8	0,6

Anexo 2. Cuadrados medios de pH, colectada a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de las enmiendas del suelo

Fuente de variación	GL	pH0	pH15	pH30	pH45	pH60
Total	233					
Suelo	2	2,8 **	0,1 ns	4,0 **	1,5 *	7,7 **
Enmienda	4	4,6 **	0,3 ns	0,2 ns	0,6 ns	0,4 *
Dosis	4	0,5 **	0,1 ns	0,0 ns	0,2 ns	0,1 ns
Suelo*Enmienda	8	0,1 ns	0,1 ns	0,2 ns	0,3 ns	0,3 ns
Suelo*Dosis	8	0,2 ns	0,1 ns	0,1 ns	0,2 ns	0,3 ns
Enmienda*Dosis	16	0,2 ns	0,2 ns	0,2 ns	0,3 ns	0,3 ns
Suelo*Enmienda*Dosis	32	0,2 ns	0,1 ns	0,2 ns	0,2 ns	0,3 ns
La Cuca (T78 vs T51 a T75)	1	0,3 ns	164,8 **	0,6 ns	241,3 **	0,4 ns
El Pan (T76 vs T1 a T25)	1	0,0 ns	4,3 **	0,1 ns	3,8 **	0,0 ns
Petrillo (T77 vs T26 a T50)	1	0,0 ns	0,0 ns	0,3 ns	0,0 ns	0,7 ns
Error experimental	156	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3

Anexo 3. Cuadrados medios de altura de plantas, área foliar, peso húmedo, peso seco, macollos colectada a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de las enmiendas del suelo

Fuente de variación	GL	Altura de planta	Área foliar	Peso húmedo	Peso seco	Macollos
Total	233		23560,			
Suelo	2	120,8 **	5 **	3347,2 **	76,2 *	183,0 **
Enmienda	4	3,4 ns	92,4 ns	74,6 ns	0,8 ns	3,8 ns
Dosis	4	18,6 ns	349,8 ns	151,9 *	7,1 ns	7,9 *
Suelo*Enmienda	8	29,8 ns	213,5 ns	65,0 ns	16,6 ns	3,2 ns
Suelo*Dosis	8	26,5 ns	419,7 ns	47,1 ns	45,5 *	4,4 ns
Enmienda*Dosis	16	18,3 ns	325,9 ns	98,4 ns	33,4 *	2,7 ns
Suelo*Enmienda*Dosis	32	16,3 ns	296,0 ns	65,0 ns	29,2 **	2,3 ns
La Cuca (T78 vs T51 a T75)	1	1,0 *	57,4 ns	76,5 ns	2,5 *	338,9 **
El Pan (T76 vs T1 a T25)	1	32,0 **	1981,4 *	648,0 **	40,5 ns	338,0 **
Petrillo (T77 vs T26 a T50)	1	6,0 *	159,0 ns	96,0 ns	4,2 ns	486,0 **
Error experimental	156	16,1	299,6	67,7	17,9	12,8

Anexo 4. Cuadrados medios de clorofila colectada a los 30, 45, 60, 75 días después de la aplicación de las enmiendas del suelo

Fuente de variación	GL	Clorofila 30	Clorofila 45	Clorofila 60	Clorofila 75
Total	233				
Suelo	2	81,9 **	16,5 ns	21,8 ns	21,8 ns
Enmienda	4	3,1 ns	36,7 *	16,1 ns	38,1 ns
Dosis	4	2,7 ns	15,6 ns	14,3 ns	50,8 **
Suelo*Enmienda	8	15,6 ns	14,6 ns	15,6 ns	11,0 ns
Suelo*Dosis	8	12,2 ns	5,2 ns	6,2 ns	7,2 ns
Enmienda*Dosis	16	20,1 *	12,8 ns	12,9 ns	16,1 ns
Suelo*Enmienda*Dosis	32	23,6 *	19,4 ns	14,0 ns	12,9 ns
La Cuca (T78 vs T51 a T75)	1	0,5 ns	3,8 ns	3,1 ns	10,8 *
El Pan (T76 vs T1 a T25)	1	0,6 ns	17,6 ns	0,8 ns	0,2 ns
Petrillo (T77 vs T26 a T50)	1	9,6 ns	38,5 ns	0,9 ns	17,7 ns
Error experimental	156	14,4	13,9	13,3	13,0