



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



CRECIMIENTO Y CONTENIDO NUTRIMENTAL EN RAÍZ DE CHILE
(*Capsicum annuum* L.) CULTIVADO EN UN SUELO SALINO-SÓDICO
TRATADO CON YESO Y BIOFERTILIZANTE

Por:

María Angélica Escandón Martínez

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Agropecuarias

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Diciembre, 2011



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



CRECIMIENTO Y CONTENIDO NUTRIMENTAL EN RAÍZ DE CHILE
(*Capsicum annuum* L.) CULTIVADO EN UN SUELO SALINO-SÓDICO
TRATADO CON YESO Y BIOFERTILIZANTE

Por:

María Angélica Escandón Martínez

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Agropecuarias

Asesores:

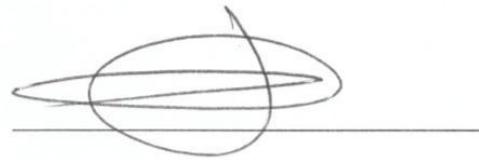
Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Dra. Catarina Loredo Osti

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

El trabajo titulado “**Crecimiento y contenido nutrimental en raíz de chile (*Capsicum annuum* L.) cultivado en un suelo salino-sódico tratado con yeso y biofertilizante**” fue realizado por: María Angélica Escandón Martínez como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias en el área de Sistemas de Producción de Hortalizas, fue revisado a aprobado por el suscrito comité de tesis.

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui
Asesor

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line, positioned above a solid horizontal line.

Dra. Catarina Loredo Osti
Asesor

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Catarina Loredo Osti', positioned above a solid horizontal line.

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz
Asesor

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Carlos Rodríguez Ortiz', positioned above a solid horizontal line.

En el Ejido Palma de la Cruz, municipio de Soledad de Graciano Sánchez S.L.P. a los 7 días del mes de diciembre de 2011.

DEDICATORIA

A mi esposo:

Gerardo

A mi hija:

Jatzí Julieta

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a la Facultad de Agronomía por esa gran oportunidad de formarme en sus aulas.

A la Yesera Monterrey, S. A. por el financiamiento para las actividades de investigación a través del proyecto “Uso Potencial del Yeso Agrícola”.

A mis asesores de tesis la Dra. Catarina Loredo Osti, Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui y al Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz por apoyarme en este trabajo de investigación.

A la M.C. Alejandra Hernández Montoya por su valioso y puntual apoyo en trabajo de laboratorio.

A la Dra. Catarina Loredo Osti por haberme brindado su tiempo, su excelencia, su paciencia, sobre todo su conocimiento y experiencia que hicieron que este trabajo fuera posible. Le estoy inmensamente agradecida.

A mi esposo Gerardo por su paciencia, por su apoyo.

A la Señora Magdalena López de Mandujano, fina persona y amiga que me ayudó a terminar este trabajo.

CONTENIDO

	Pág
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
El cultivo del chile a nivel mundial, nacional y municipal.	4
Distribución de suelos salinos sódicos a nivel mundial, nacional y estatal	5
Características de los suelos salinos y sódicos.....	6
Suelos salinos.....	6
Suelos sódicos.....	7
Suelos salinos- sódicos.....	7
Principales tipos de sales en suelos	8
Formación de suelos salinos.....	9
Efecto de las sales en el suelo	10
Efecto de las sales en las plantas.....	11
Interacción de los elementos a diferentes pH.....	13
Elementos esenciales y sus funciones.....	16
Nitrógeno (N).....	16
Fósforo (P).....	17
Potasio (K).....	18

Calcio (Ca).....	19
Magnesio (Mg).....	20
Azufre (S).....	21
Fierro (Fe)	21
Zinc (Zn).....	22
Manganeso (Mn).....	22
Cobre (Cu).....	23
Boro (B).....	23
Molibdeno (Mo).....	23
Cloro (Cl).....	24
Recuperación de suelos salinos y sódicos.....	24
Las micorrizas y la nutrición mineral.....	28
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
Localización del sitio experimental.....	30
Establecimiento del experimento en el invernadero.....	30
Tratamientos.....	32
Diseño experimental.....	33
Muestras.....	34
Procedimiento para el estudio de raíz de chile en el experimento.....	34
Procedimiento para el análisis nutrimental en raíz de chile.....	35
Procedimiento para el estudio de densidad aparente en el suelo.....	36
Variables en estudio.....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
Crecimiento radical.....	38
Volumen radical.....	38
Biomasa radical.....	40
Longitud de raíz.....	42
Contenido nutrimental de raíces de chile en suelo salino-sódico tratado con yeso.....	46
Contenido de nitrógeno (N).....	47
Contenido de potasio (K)	50

Contenido de Calcio (Ca).....	52
Contenido de Magnesio (Mg).....	54
Contenido de Hierro (Fe).....	57
Contenido de Cobre (Cu).....	59
Contenido de Zinc (Zn).....	61
Contenido de Molibdeno (Mo).....	63
Contenido de Manganeso (Mn).....	66
Contenido de Boro (B).....	69
Contenido de Sodio (N).....	72
Densidad aparente.....	78
CONCLUSIONES.....	82
LITERATURA CITADA	83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Características principales de suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino- sódicos.....	7
2	Principales tipos de sales que afectan los suelos salinos.....	8
3	Clasificación de suelos y efecto en los cultivos de acuerdo a la conductividad eléctrica presente.....	13
4	Respuesta de los cultivos de acuerdo al PSI presente.....	14
5	Efectos esperados a distintos pH en suelo y planta.....	15
6	Macronutrientes y micronutrientes esenciales para la planta.....	16
7	Factores estudiados respecto a la contenido nutrimental en raíces de chile.....	33
8	Análisis de varianza de la variable Volumen radical (VR) para los factores fecha de corte, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.	39
9	Análisis de varianza de la variable Biomasa radical (PR) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.	41
10	Análisis de varianza para la variable Longitud de raíz (Lo) para los factores Fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	43
11	Niveles de suficiencia de nutrientes en hojas de plantas de chile.....	46
12	Análisis de varianza respecto al contenido de nitrógeno radical (N) para los factores fecha de muestreo (FC), aplicaciones de yeso (Do) y biofertilizante (Bi) en plantas de chile.....	47
13	Análisis de varianza respecto al contenido de Potasio (K) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	51
14	Análisis de varianza respecto al contenido de Calcio (Ca) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en	

	plantas de chile.....	53
15	Análisis de varianza respecto al contenido de Magnesio (Mg) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	55
16	Análisis de varianza respecto al contenido de Fierro (Fe) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	58
17	Análisis de varianza respecto al contenido de Cobre (Cu) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	60
18	Análisis de varianza respecto al contenido de Zinc (Zn) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.	62
19	Análisis de varianza respecto al contenido de Molibdeno (Mo) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	64
20	Análisis de varianza respecto al contenido de Manganeseo (Mn) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	67
21	Análisis de varianza respecto al contenido de Boro (B) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	70
22	Análisis de varianza respecto al contenido de Sodio (Na) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.....	73
23	Análisis de varianza respecto a densidad aparente en suelo con plantas de chile para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág
1	Características fisicoquímicas del suelo utilizado en el experimento....	31
2	Establecimiento del experimento en el invernadero.....	32
3	Procedimiento para el estudio de raíz de chile en el experimento.....	35
4	Determinación de N por el método la digestión Kjeldahl.....	36
5	Procedimiento para el estudio de densidad aparente experimento.....	37
6	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) de la variable volumen de raíz en plantas de chile a partir de tres fechas de muestreo, cuatro dosis de yeso y dos tratamientos de biofertilizante.....	40
7	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) de la variable biomasa radical en plantas de chile a partir de 3 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y dos tratamientos de biofertilizante.....	42
8	Prueba de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) de la variable longitud de raíz en plantas de chile a partir de tres fechas de muestreo, cuatro dosis de yeso y dos tratamientos de biofertilizante	44
9	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Nitrógeno (N) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	48
10	Contenido de Nitrógeno (N) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso.....	49
11	Contenido de Nitrógeno (N) en relación a la aplicación de biofertilizante con 4 tratamientos con yeso.....	50
12	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Potasio (K) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	51
13	Contenido de Potasio (K) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso.....	52

14	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Calcio (Ca) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	54
15	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Magnesio (Mg) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	56
16	Contenido de Magnesio (Mg) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso.....	56
17	Contenido de Magnesio (Mg) en relación a 4 tratamientos con yeso.....	57
18	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Hierro (Fe) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	59
19	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Cobre (Cu) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	60
20	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Zinc (Zn) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	63
21	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Molibdeno (Mo) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	65
22	Contenido de Molibdeno (Mo) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso.....	66
23	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Molibdeno (Mo) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	68
24	Contenido de Manganeso (Mn) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso.....	69
25	Prueba de medias Tukey ($\alpha 0.05$) respecto al contenido de Boro (B) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	71

26	Contenido de Boro (B) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso.....	72
27	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Sodio (Na) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	74
28	Contenido de Sodio (Na) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso.....	75
29	Contenido de Sodio (Na) en relación a 4 tratamientos con yeso.....	76
30	Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto a la densidad aparente en suelos con plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.....	80
31	Densidad aparente con respecto a dosis de yeso en suelos con plantas de chile.....	81

RESUMEN

Uno de los problemas a los que se enfrentan los productores de hortalizas del altiplano potosino es la presencia de suelos afectados por salinidad y sodicidad. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el crecimiento y contenido de nutrimental en raíces de chile cultivado en un suelo salino-sódico tratado con yeso y biofertilizante, así como también evaluar la densidad aparente del suelo. Se consideraron tres factores de prueba: fechas de corte (FC), dosis de yeso (Do), aplicación de biofertilizante (Bi), así como las interacciones FC* Do, Do*Bi y FC*Do*Bi. Se utilizó un diseño factorial completamente al azar, en arreglo 3x4x2; se realizaron 3 repeticiones por tratamiento, la unidad experimental consistió en dos plantas por maceta. Se utilizó el Sistema SAS para el análisis estadístico. Respecto a fechas de muestreo se observan diferencias altamente significativas mostrando mayor desarrollo tanto en peso, longitud y volumen en el segundo muestreo. En cuanto a crecimiento radical el yeso tuvo efecto en longitud de raíz, esta se incrementó conforme se incremento la dosis de yeso en todos los tratamientos con respecto al testigo, en biomasa y volumen radical no afectó las dosis de yeso. En cuanto a la aplicación de biofertilizante no se observaron diferencias entre tratamientos aún cuando la parte aérea si tuvo un incremento en el rendimiento de 47.9% a causa de la aplicación de biofertilizante con respecto al testigo. La aplicación de yeso afecto el contenido de Mg en el suelo, siendo más alto en el testigo y con mayor evidencia en plantas jóvenes que en adultas. El N, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mo, Mn, y B no se vieron afectados por la aplicación de yeso y por la aplicación de biofertilizantes. El contenido de sodio en raíces se vio afectado por la aplicación de yeso; en comparación con el testigo disminuyó la concentración en 97%, 64% y 63% para 3, 6 y 9 ton ha⁻¹. La densidad aparente fue afectada significativamente por la adición de yeso, siendo más alta en el tratamiento de 6 ton ha⁻¹ en comparación con el testigo.

SUMMARY

One of the problems of the vegetable farmers in the Altiplano Potosino, Mexico, is the presence of sodium and salt affected soils. The aim of this research was to evaluate the development and nutrient content in roots of chile cultivated in saline-sodic soil, which was treated with gypsum and, biofertilizer as well as evaluate the soil bulk density. Three test factors were considered: harvest dates (FC), gypsum dose (Do), biofertilizer application (Bi) and interactions FC * C, C * Bi and Bi*FC*Do. A completely randomized factorial was used in 3x4x2 arrangement, with 3 replicates per treatment; the experimental unit consisted of two plants per pot. SAS System was used for statistical analysis. Highly significant differences were observed; being more vigorous both in weight, length and volume in the second sampling. As regards the plaster took root growth effect in root length, this increment is increased as the dose of gypsum in all treatments compared to the control, root biomass and volume dose did not affect the gypsum. Regarding the application of biofertilizer this resulted in greater length, volume and root biomass than the control, however this was not significantly more likely by the method used to extract roots as in the study of the shoot there was an increase in performance of 47.9% due to the application of biofertilizer compared with the control. The application of gypsum affection Mg content in the soil, being highest in the control and more evidence that adult young plants. The N, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mo, Mn, and B were not affected by the application of gypsum and the application of biofertilizers. The sodium content was affected by the application of gypsum, compared with the control decreased concentration chile roots by 97%, 64% and 63% for 3, 6 and 9 ton ha⁻¹ respectively, indicating the cast moves sodium ions in the exchange complex. The bulk density was significantly affected by the addition of gypsum, being highest in the treatment of 6 ton ha⁻¹ compared with the control.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas a los que se enfrentan los productores del altiplano potosino con relación a la fertilidad de suelos para fines agrícolas es la salinidad y sodicidad presentes de manera natural o de carácter antropogénico, debido al uso aguas salinas con presencia de sodio que interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de las plantas. Cuando se incrementa el sodio en el suelo se forman carbonatos y bicarbonatos de sodio aumentando el pH por consiguiente haciendo difícil la disponibilidad de los nutrientes para la planta como P, Mn, Fe, Zn creando con ello serias deficiencias a la planta manifestadas por quemaduras en las hojas, pobre crecimiento, escasa producción, en muchas veces la disminución del rendimiento hasta del 100% (Villanueva y Hernández, 2001). Para amortiguar el problema de sodio en suelo, es necesario realizar aplicaciones de mejoradores agrícolas que remplacen el sodio en el complejo de intercambio por otro catión en este caso se habla de las sales solubles de calcio como el sulfato de calcio (Flassbender y Bornemisza, 1987). El yeso agrícola ha demostrado ser un adecuado mejorador para suelos salino- sódicos y sus efectos son entre otros: la mejor en general de la estructura del suelo, participa en el proceso de floculación de las arcillas, baja el pH del suelo, además de mejorar la disponibilidad de nutrimentos esenciales para la planta.

Del mismo modo también se hace necesario promover e incrementar los microorganismos presentes a fin de que se pueda establecer una sinergia con el cultivo para el beneficio mutuo y a un costo relativamente bajo, dato que muchos productores desconocen. Los microorganismos benéficos para la agricultura son diversos y sus funciones se desarrollan bajo la influencia del sistema radicular de las plantas. De los microorganismos micorrizicos *Glomus* es el género más abundante, al respecto, existen diversos trabajos donde se estudia su comportamiento (Aguirre *et al.*, 2009).

El cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.) es una de las hortalizas de trascendencia a nivel nacional, tanto por su importancia cultural, como por su superficie sembrada, que al 2009 se calculaba en 140,424 hectáreas (SIAP, 2010). En el estado de San Luis Potosí, la superficie del Altiplano Potosino Occidental abarca alrededor de 26,675 km²

(Fortanelli, 1999); dentro de esta región se localiza la zona de riego “El Barril” que comprende los municipios de Santo Domingo y Villa de Ramos e incluye las localidades de El Barril, Dulce Grande, Los Hernández y La Concepción. Esta zona es reconocida por la producción de cultivos como chile seco que genera una derrama económica importante para los habitantes de estas localidades. La superficie cosechada se calcula en 4880 ha, con rendimientos promedio de 1.5 ton ha^{-1} de chile seco. (SAGARPA, 2009). El chile es moderadamente sensible a la sales; su calidad y rendimiento se ven afectados en gran manera a causa de este factor (Nuez et al., 1996), por lo que su crecimiento y rendimiento se reducen en 14% por cada unidad de conductividad eléctrica en el extracto de saturación a partir de 1.5 dSm^{-1} (Mass, 1996).

Gran cantidad de estudios en plantas de chile realzan la importancia respecto a la concentración de nutrimentos en la parte aérea de la planta (hojas, tallos y frutos) pero hay pocos estudios en donde se traten estos factores en el sistema radical por lo que se hace necesario el conocimiento respecto a esta parte tan importante y fundamental para la planta como lo es la raíz ya que de la adecuada nutrición y manejo de esta, dependerá el resto de la planta por lo que aunado a lo anterior se procedió a formular los siguientes objetivos.

Objetivo general

Evaluar el crecimiento y contenido nutrimental en raíz de chile cultivado en un suelo salino-sódico tratado con yeso y biofertilizante.

Objetivos específicos

1. Evaluar el crecimiento radical en plantas de chile ancho en suelo tratado con yeso y biofertilizante *Glomus intraradices*.
2. Evaluar el contenido nutrimental en raíces de chile ancho en respuesta a la aplicación de yeso y biofertilizante *Glomus intraradices*.
3. Evaluar la densidad aparente del suelo en respuesta a la aplicación de yeso.

Hipótesis

1. El crecimiento radical de plantas de chile se ve afectado favorablemente con aplicaciones de yeso y biofertilizante.
2. El contenido nutrimental en el sistema radical de plantas de chile se ve afectada positivamente por la aplicación de yeso y biofertilizante *Glomus intraradices*.
3. La aplicación de yeso afecta la densidad aparente del suelo.

REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo del chile a nivel mundial, nacional y municipal

El cultivo del chile (*Capsicum annuum* L) se registra en 97 países donde los principales productores son China y México con un 25% del total mundial. Este cultivo se produce prácticamente en todo el territorio nacional, así mismo, es donde se cultiva la mayor parte de variedades siendo de 22 grupos de verdes y 12 de secos. En promedio al 2009, el consumo de chile *per capita* fue de 15 kg (SIAP, 2010). La producción de chile en México, verdes y secos corresponde al 50% del total cultivado. Los principales estados productores son Sinaloa, Chihuahua, Guanajuato, Sonora, Zacatecas y San Luis Potosí. El 40% de los chiles que se cultivan corresponden a chiles secos entre los que destacan: ancho en sus dos tipos: (rojo y mulato), mirasol, puya y de árbol (Galindo y Cabañas, 2006).

En el 2002, el volumen de producción se ubicó en 81,541 ton lo que corresponde a Zacatecas 53%, San Luis Potosí 21%, Chihuahua 13%, Durango 6%, Jalisco 3%, Querétaro y Nayarit 2%. El valor de la producción para chile es de 1'669,018 pesos, en la cual la participación de los estados es de 55% para Zacatecas, 20% para San Luis Potosí, 10% Chihuahua, 6% Durango, 5% Querétaro y 3% Jalisco. Respecto a chiles secos, la superficie sembrada en 2002 fue de 51,601 ha, donde los estados que encabezaron esta cantidad fueron: Zacatecas con 54%, San Luis Potosí 21%, Chihuahua 8%, Durango 4% y Jalisco 2%.

En el Estado de San Luis Potosí, existen dos zonas productoras de chiles secos a decir, altiplano centro y norte con volúmenes de producción de 1,441 y 16,392 ton respectivamente. Los municipios corresponden a Villa de Ramos, Villa de Arista, Salinas, San Luis Potosí, Villa de Reyes, Venado, Moctezuma, Santo Domingo, Matehuala entre otros con cantidades de 387'492,414 miles de pesos para altiplano norte y 34'256,286 miles de pesos para altiplano centro. Los principales tipos de secos son anchos, guajillo, pasilla y puya (SAGARPA, 2011). La superficie cosechada para 1997 fue de 9,382 ha siendo en 84% para el altiplano norte y 16% de zona centro. Los rendimientos reportados para estas áreas comprenden de 2 ton ha⁻¹ hasta 3.2 ton ha⁻¹.

Uno de los principales problemas en el altiplano son las de sales y el sodio (Fortanelli, 2009) presentes en el suelo y/o en el agua lo cual limita en gran medida el potencial de rendimiento de los cultivos del altiplano, como el de frijol de 15 a 67%, 2 a 22% para maíz y alfalfa y de chile de 5 a 44% de disminución (Villanueva y Hernández 2001).

Distribución de suelos salinos sódicos a nivel mundial, nacional y estatal

La FAO estima que de las 237 millones de hectáreas actualmente regadas, 30 millones están gravemente afectadas por la salinidad a nivel mundial y otras 60 a 80 millones lo están en cierta medida, de este total el 11% en la India, el 21% en el Pakistán, 23% en China, 28% en los Estados Unidos y 10% corresponde a México (FAO, 2010).

En México, la superficie agrícola es aproximadamente de 5 millones de hectáreas, de estas, 10% están afectadas por las sales, los estados con mayor problema son: Baja California Norte, Tamaulipas, San Luis Potosí, Nuevo León, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Estado de México, Puebla, Michoacán y Colima (López, 1994).

La Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales indica que no existe un dato preciso de zonas afectadas por sales sobre todo aquellas que no son agrícolas, menciona que aproximadamente 3.5 millones de hectáreas están afectadas en zonas áridas y semiáridas; 1 millón en otras zonas no agrícolas 800 mil en zonas costeras, 1 millón en áreas agrícolas de temporal 500 mil en áreas agrícolas de riego lo cual da un total de 6.8 millones de hectáreas afectadas por sales en todo el país.

En el Noreste del país en los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit, B.C. Norte y B.C. Sur se pueden encontrar hasta 200 dS m^{-1} de CE. En el Norte de Sonora y B. C. Norte, los suelos salinos principalmente el desierto de Altar y el Vizcaíno encontrados en depresiones con mantos freáticos elevados y salobres domina el cloruro y sulfato de sodio. En el noreste del país, en los estados de Tamaulipas y Veracruz abunda el cloruro de sodio pero los niveles de acumulación de sales es menor ya que las precipitaciones favorecen el lavado de sales. Por otro lado, las regiones que corresponden a las sierras oriental y occidental se encuentran la mayor cantidad de zonas áridas y semiáridas, en

los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Coahuila, la conductividad del suelo alcanza valores de hasta 80 dS m^{-1} de CE (SEMARNAT, 2009)

En el estado de San Luis Potosí, las áreas con problemas de sales lo conforman 27 municipios y partes de otros. El Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática menciona que los suelos que tienen problemas de salinidad abarcan 4467.96 km^2 y de la superficie total sembrada en el estado solamente el 15% ($52, 739.17 \text{ ha}$) están bajo riego (INEGI, 1985). En el altiplano potosino, la zona productora mas importante de chiles secos se encuentra en Villa de Ramos este municipio es el principal productor de chile seco con el 66.33% total de la producción. Uno de los problemas a los que se enfrenta esta zona regadío del Altiplano Potosino a menudo son los problemas de sales y sodio (Villanueva y Hernández, 2001).

Características de los suelos salinos y sódicos

Los suelos salinos y sódicos en general se encuentran principalmente en las zonas de clima árido y semiárido; debido a la escasa precipitación, las sales no se lavan ni se transportan muy lejos. Además estos suelos debido a la elevada evaporación tienden a concentrar las sales en los suelos y en aguas superficiales (Porta *et al.*, 2003).

Suelos salinos

Son los suelos en los que se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso suficiente para interferir el crecimiento en la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas; corresponden a los solonchak de la FAO (1990).

Los suelos salinos se manejan con lavado (Castellanos *et al.*, 2000). La salinidad del suelo se mide a través de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación a 25°C , y las unidades son dS m^{-1} .

Los suelos salinos contienen cantidades elevadas de sales más solubles que el yeso por lo general cloruros de sodio y magnesio lo que provoca una concentración elevada en la fase líquida del suelo que da como resultado la interferencia del crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos y las plantas sensibles (Porta *et al.*, 2003).

Suelos sódicos

Portal *et al.* (2003), definen los suelos sódicos como: aquellos que contienen suficiente sodio intercambiable para que afecte adversamente la producción de los cultivos y la estructura de la mayoría de los suelos, corresponden a los solonetz de la FAO (1990).

Aguilera y Martínez (1996) mencionan que el grado de sodificación se mide a partir de RAS y además está correlacionado con el PSI (porcentaje de sodio intercambiable) que tendrá en suelo una vez que se equilibre con el agua; las fórmulas son las siguientes:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

$$PSI = \frac{100(-0.0126 + 0.01475RAS)}{1 + (0.0126 + 0.01475RAS)}$$

Suelos salinos- sódicos

Los suelos salinos sódicos se definen como aquellos que tienen más sales solubles que el yeso y el sodio intercambiable Porta *et al.* (2003).

El siguiente cuadro, resume las características principales de los suelos salinos y sódicos.

Cuadro 1. Características principales de suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino-sódicos.

Suelo	CE (dS/m ⁻¹) 25°C	pH	PSI
Salino	>4	<8.5	<15
Sódico	<4	>8.5	>15
Salino-sódico	>4	<8.5	>15

Richards (1974).

Principales tipos de sales en suelos

Porta *et al.* (1994), exponen el siguiente cuadro donde muestra los principales tipos de sales que afectan a los suelos salinos:

Cuadro 2. Principales tipos de sales que afectan los suelos salinos

Clase	Presencia en los suelos salinos	Solubilidad gl^{-1}	Toxicidad para las plantas
<i>Cloruros</i>			
Sódicos	Común	264	+++
Magnésico	Común	353	++++
Cálcico	Raro	400-500	++
Potásico	Baja	Elevada	+
<i>Sulfatos</i>			
Sódico	Común	Variable	++
Magnésico	Común	262	++++
Potásico	Baja	Elevada	+
<i>Carbonato sódico</i>	Suelos sódicos	178	+++++
<i>Bicarbonato sódico</i>	Suelos sódicos	262	++++

(Porta *et al.*, 1994)

El cloruro sódico es la sal más frecuente en suelos salinos, el cloruro magnésico es una sal extremadamente tóxica para las plantas que se puede formar si el suelo recibe iones ricos en Na^+ y Cl^- con intercambio de Mg^{2+} .

El sulfato sódico está frecuente en suelos salinos y su composición molecular varia de acuerdo a la humedad; el sulfato magnésico es soluble y altamente tóxico presentando un lavado difícil.

Por su parte el carbonato y bicarbonato sódico indican alcalinización presentan pH superiores a 9 resultando hasta 12, en la mayoría de las plantas se hace difícil su establecimiento y rendimiento (Porta *et al.*, 1994).

Richards (1974), menciona que las sales solubles del suelo están formadas por los cationes sodio, calcio y magnesio y aniones como cloruro y sulfato; así mismo la fuente

original son los minerales primarios presentes en las rocas expuestas a la corteza terrestre es en el proceso de intemperización química que comprende la hidrólisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación, los componentes son liberados paulatinamente hasta hacerse más solubles. Los iones bicarbonato por su parte se forman de la solución del CO₂ en agua siendo este de origen atmosférico y/o biológico. Los suelos salinos se encuentran en áreas que reciben sales de otros lugares siendo el acarreo el más frecuente, también el océano puede aportar gran cantidad de sales estos es posible cuando hay suelos en los que el material original están constituidos por depósitos marinos que a través del tiempo han emergido; o bien la salinización también se da por la brisa marina.

Formación de suelos salinos

Porta *et al.* (1994), mencionan los factores por la cual se desarrollan los suelos salinos son: litológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, antrópicos, así mismo describen los ciclos de salinización que son: Ciclos continentales, ciclos marinos, ciclos deltáicos, ciclos artesianos, ciclos antropogénicos.

Los ciclos continentales se deben principalmente a la movilización, redistribución y acumulación de cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonato sódico condicionados por clima, el régimen de humedad en el suelo, la posición geomorfológica y un deficiente drenaje. Dentro de este ciclo se observan la acumulación primaria y secundaria de sales. La acumulación primaria ocurre por la meteorización de las rocas “in situ” acumulándose en un solo lugar; y la acumulación secundaria ocurre por la movilización y redistribución de sales a cierta distancia de su lugar de origen.

Los ciclos marinos ocurren en suelos de llanuras a lo largo de las costas, bahías y marismas acumulando principalmente cloruro sódico.

Los ciclos deltáicos se benefician de entarquinados que se derivan de inundaciones.

Los ciclos artesianos se dan en determinadas área geográficas donde se supone hay agua freática profunda y estas al ascender pueden atravesar materiales que den origen a la salinización.

Los ciclos antropogénicos debido a la acción del hombre. Fortanelli, (1999) menciona que si bien el suelo ha sufrido cambios propios del resultado evolutivo natural; la agricultura como parte de las actividades humanas ha contribuido significativamente a la alteración de los ciclos naturales y equilibrio dinámico entre el suelo, flora y fauna silvestre por una parte para contribuir a la producción de alimento vegetal y animal y por otra por el inadecuado manejo del mismo.

Efecto de las sales en el suelo

El principal efecto que tiene la acumulación de sales desde el punto de vista de la fertilidad es la pérdida de la estructura (Jordán, 2009).

En las zonas áridas y semiáridas, los problemas de salinidad y sodicidad son un factor limitante en la productividad de las plantas cultivadas. Dado que en zonas áridas las precipitaciones no son muy altas, es decir que la evaporación es mucho mayor a la precipitación, los lavados son de naturaleza local y las sales solubles no son transportadas muy lejos a diferencia de las zonas húmedas donde se lava el perfil y son llevadas a las capas inferiores hacia el agua subterránea y finalmente a los océanos. Las características químicas de los suelos salinos quedan determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes (Castellanos *et al.*, 2000).

Uno de los principales efectos de la salinidad en los suelos es la baja permeabilidad a causa del mal drenaje que existe, esto impide el flujo del agua de manera ascendente. Las partículas del suelos adsorben y retienen cationes a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en la superficie, cuando los cationes se han adsorbido se han combinado químicamente con las partículas del suelo y estas pueden ser remplazadas por otros cationes que se encuentren en la solución del suelo a esta reacción se le llama intercambio de cationes. Los cationes de magnesio, calcio y sodio son rápidamente intercambiables y otros cationes como el potasio y el amonio pueden quedar retenidos en determinada posición sobre las partículas del suelos que se dice que han sido fijados (Richards, 1969).

Hablando del catión sodio, se puede decir que es un elemento que afecta las propiedades físicas del suelo, actúa como un dispersante, provocando la defloculación de las arcillas y el colapso de los agregados. (Jordán, 2009).

Domínguez, (2006) menciona que el sodio deteriora la estructura del suelo que afecta principalmente la permeabilidad

Tamhane *et al.* (1978), citado por Juárez (1999), menciona que como consecuencia de la dispersión de las arcillas esta conduce a la compactación del suelo, a la pérdida de infiltración del agua y limitaciones severas en la conducción vertical de gases, en estas condiciones se ve afectada la velocidad de difusión de oxígeno provocando graves problemas en la respiración de raíces. Así mismo cuando hay altas concentraciones de sodio en el suelo se forman los carbonatos y bicarbonatos de sodio provocando un aumento de pH llegando a provocar causas severas; en estas condiciones de alcalinidad la disponibilidad de fierro, zinc y manganeso se ven afectados.

Nielson y Sarudiansky (2005), mencionan que la sodificación en el perfil determina una degradación de la estructura del suelo, expandiendo el sistema coloidal y reduciendo y/o eliminando la macro y meso porosidad, esto provoca el encostramiento superficial que altera la dinámica del agua y aireación del suelo. El efecto mayor es la reducción de la infiltración y permeabilidad del suelo que determina muchas veces procesos de anegamiento, erosión por escorrentía en suelos con pendiente.

Suelos salinos y sódicos y su efecto en las plantas

Las sales reducen el potencial osmótico de la solución del suelo; estas disminuyen la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas creando condiciones de estrés aun cuando hay razonable nivel de humedad en el suelo.

La alcalinidad en suelos reduce la actividad biológica (fúngica y bacteriana). En términos agronómicos es la reducción nitrificadora y la alteración del ciclo del N. Altera los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes esenciales (Nielson y Sarudiansky, 2005)

Vázquez (2002), hace mención de los efectos de sales en plantas:

1. Problemas en la absorción de agua: Al haber altas concentraciones salinas, se impide una adecuada absorción del agua por medio de las raíces.
2. Problemas de toxicidad: Debido a ciertos iones en grandes concentraciones que pueden afectar a rutas metabólicas.

3. Problemas en la estructura del suelo: El exceso de sales favorece la aparición de costras que ocasionan la asfixia radicular. La existencia de ion sodio ocasiona la dispersión de la materia orgánica y de las arcillas, consiguiendo así la pérdida de estructura

Porta *et al.* (2003), expone una lista de sintomatología en plantas no halófitas esta lista incluye síntomas como:

- a) Retardo en germinación que en condiciones extremas no tiene lugar
- b) Área foliar menos extensa así mismo la altura se ven mermadas
- c) La producción de materia seca es mínima
- d) Bordes en las hojas con presencia de quemaduras que comúnmente se le denomina necrosis
- e) Presencia de un verde más oscuro que su igual en condiciones más benévolas
- f) Disminución de rendimientos
- g) Muerte de la planta antes de completar su desarrollo

La toxicidad por iones específicos puede clasificarse en dos áreas: las de altas concentraciones y las de bajas concentraciones; en el primer caso se reportan dos sales los carbonatos sódicos y boratos solubles. Los carbonatos sódicos el efecto que causan en la planta es por el pH alto así mismo el hierro, fósforo, zinc y manganeso dejan de ser disponibles para la planta. Por otro lado el Boro a concentraciones de 0.75 mg L^{-1} puede afectar el rendimiento de muchos cultivos sensibles como los cítricos y hortalizas, fresa y frambuesa. (Wild, 1989).

Castellanos *et al.* (2000), expone el siguiente cuadro explicando la clasificación de suelos y su efecto general en los cultivos a partir de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación sin tomar en cuenta el sistema de riego.

Cuadro 3. Clasificación de suelos y efecto en los cultivos de acuerdo a la conductividad eléctrica presente.

CEe	Condiciones de salinidad	Efecto sobre las plantas
<1	Suelo libre de sales	No existen restricciones en ningún cultivo
1-2	suelo muy bajo en sales	Algunos cultivos muy sensibles pueden ver restringido su rendimiento
2-4	Suelo moderadamente salino	Los rendimientos de los cultivos sensibles pueden verse afectado en su rendimiento
4-8	Suelo salino	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad
8-16	Suelo altamente salino	Solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos
>16	Suelo extremadamente salino	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos

De igual manera, el autor hace una clasificación en base a la tolerancia de nivel de sodio Cuadro 4.

Interacción de los elementos a diferentes pH.

El pH no ejerce influencia directa sobre las plantas, la principal interacción es biológica al actuar con microorganismos del suelo. Así mismo, en el aspecto químico, tiene influencia sobre la disponibilidad o fijación de algunos nutrientes del suelo necesarios para la planta, unos elementos pueden volverse insolubles y otros en cambio solubilizarse produciendo toxicidad (Núñez, 2000).

Porta *et al.* (2003), hace mención de los principales efectos esperados para distintos pH establecidos por el USDA, 1971 que se resumen en el Cuadro 5.

Cuadro 4. Respuesta de los cultivos de acuerdo al PSI presente.

Clasificación	PSI	Cultivos	Respuesta de crecimiento
Extremadamente sensible	2-10	Frutales deciduos, nogal, cítricos, aguacate	Síntomas de toxicidad de sodio a bajo PSI
Sensible	10-20	Frijol	Desarrollo limitado
Moderadamente sensible	20-30	Trébol, avena, festuca, arroz y pasto dallis	Respuesta al sodio pero con una estructura del suelo favorable
Tolerante	30-40	Trigo, algodón, alfalfa, cebada, tomate	Desarrollo limitado debido a factores de la nutrición y estructura desfavorable
Muy tolerante	40	Remolacha, pasto rhodes	Desarrollo limitado debido estructura desfavorable

Nielson y Sarudiansky (2005) mencionan que el nivel del pH altera los ciclos biogeoquímicos de los principales nutrientes esenciales para las plantas.

La disponibilidad de P en el suelo depende del pH; a partir de pH 7 hacia arriba, la fijación del P se realiza mediante la precipitación de fosfatos de calcio; a medida que el pH aumenta se incrementan los problemas de disponibilidad de Zn, Fe, Cu y Mn (Castellanos *et al.*, 2000).

En nitrógeno el NH_4 con los suelos alcalinos puede haber pérdidas en forma de NH_3 y ser tóxico (Nuñez, 2000)

Cuadro 5. Efectos esperados a distintos pH en suelo y planta.

pH	Evaluación	Efectos esperables en el intervalo
<4.5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4.5- 5.0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Mn^{++} y Al^{3+}
5.1-5.5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn; Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S; suelos sin carbonato de calcio; el hormigón ordinario resulta fuertemente atacado; actividad bacteriana escasa.
5.6-6.0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos.
6.1-6.5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6.6-7.3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos; por debajo de pH 7.0 el carbonato cálcico no es estable en el suelo
7.4-7.8	Medianamente básico	Suelos generalmente con $CaCO_3$
7.9-8.4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B; deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn, Zn; suelos calizos; Suelos calizos; clorosis férrica debido al HCO_3^-
8.5-9.0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos estos pH altos pueden deberse al $MgCO_3$, si no hay sodio intercambiable. Mayores problemas de clorosis férrica.
9.1-10.0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico
>10.0	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable $PSI > 15\%$; toxicidad de Na, B; Movilidad del P como Na_3PO_4 ; Actividad microbiana escasa; micronutrientes poco disponibles excepto Mo.

(Porta *et al.*, 2003).

Elementos esenciales y sus funciones

Es siguiente cuadro muestra los elementos que son considerados esenciales para el crecimiento de las plantas; estos están divididos en macronutrientes ya que son tomados en cantidades mayores y en micronutrientes que son tomados en pequeñas cantidades.

Cuadro 6. Macronutrientes y micronutrientes esenciales para la planta.

Elementos mayores	Micronutrientes
Carbono (C)	Boro (B)
Hidrogeno (H)	Cloro (Cl)
Oxigeno (O)	Cobre (Cu)
Calcio (Ca)	Fierro (Fe)
Magnesio (Mg)	Manganeso (Mn)
Nitrógeno (N)	Molibdeno (Mo)
Fósforo (P)	Zinc (Zn)
Potasio (K)	
Azufre (S)	

Fuente: Jones *et al.* 1991

Nitrógeno (N)

El Nitrógeno, prácticamente siempre hay que suministrarlo en diferentes formas ya que a menudo es el elemento más limitante que hay en casi todos los suelos (Castellanos *et al.*, 2000).

El Nitrógeno es un elemento esencial en el desarrollo y crecimiento vegetal componente de proteínas y ácidos nucleicos (Wild, 1992). Importante tanto en formas orgánicas como inorgánicas de planta este se combina con Carbono, Hidrógeno y Oxígeno y algunas veces azufre, para formar aminoácidos, amino enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases púricas (Jones *et al.*, 1991).

Las raíces de las plantas toman N inorgánico como nitrato y amonio. El amonio es incorporado en compuestos orgánicos mientras que el nitrato es movilizado rápidamente sin embargo este para que cumpla su función debe ser reducido a amoniaco. Para que

sucediera esto, el nitrato debe ser reducido a nitrito y de nitrito a amoníaco mediante dos enzimas. Dependiendo de la especie, el contenido de N requerido para un óptimo crecimiento está entre 2 a 5% de su peso seco (Marschner, 1995).

Las concentraciones de N en la planta varían, las concentraciones más importantes se encuentran en hojas nuevas y normalmente los valores de N decrecen con la edad de la planta. La disponibilidad de nutrientes en suelos con problemas de sales y sodio es variable dependiendo del nutriente, es así como para suelos alcalinos el N y K no tienen problemas para ser asimilados (Jones *et al.*, 1991). Wild, (1992) menciona que cuando el N se suministra en forma amoniacal se reduce la absorción de Ca, Mg, K.

Los síntomas de deficiencia generalmente se muestran por crecimiento deficiente y atrofiado, las plantas presentan en las hojas inferiores un color amarillo o verde claro, generalmente las plantas maduran tempranamente y la producción se reducirá significativamente. Si por el contrario hay exceso, las plantas son susceptibles al ataque de plagas y enfermedades así como retraso en la maduración de las cosechas (Wild, 1992).

Fósforo (P)

Forma parte de un gran número de compuestos orgánicos esenciales en los que incluyen aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila. Es tomado por las plantas como H_2PO_4^- o HPO_4^{2-} . A un pH de 7.2 aproximadamente hay la misma cantidad de estas dos formas, debajo de este, la predominante es H_2PO_4^- arriba de este, el predominante es HPO_4^{2-} . Forma parte del ATP y es parte esencial del ARN y ADN; el crecimiento de raíces laterales se ve favorecido por la nutrición de fósforo (Castellanos *et al.*, 2000).

Los valores de suficiencia de P en muchos cultivos están alrededor de 0.20 a 0.40% esto en tejido foliar, un nivel crítico está por debajo de 0.20% y un exceso por encima del 1%, las mayores concentraciones son encontradas en hojas y peciolo. Los síntomas de deficiencia ocurren generalmente en los tejidos más viejos, de esta manera, las hojas más viejas presentan una pigmentación morada, el crecimiento es lento, débil y atrofiado, el exceso provoca la deficiencia de Fe o Zn (Jones *et al.*, 1991).

Potasio (K)

El potasio participa en la activación de muchas enzimas, en las relaciones hídricas, la transpiración, las relaciones energéticas, la translocación de asimilados, la absorción de N y síntesis de proteínas y los sistemas de defensa de las plantas; tiene importancia relevante en cuanto a calidad de cultivos por su alta demanda del nutriente como las solanáceas. (Castellanos *et al.*, 2000). El potasio es el elemento mineral más importante en la extensión celular y osmorregulación (Marschner, 1995).

El nivel de suficiencia se encuentran en rangos de 1.5 a 3.0% en hojas jóvenes; es considerado deficiente o en exceso cuando sus valores rebasan estos valores, sin embargo en hortalizas los valores de suficiencia pueden ser mayores (6-8%). Las concentraciones son encontradas en hojas jóvenes, peciolo y tallos.

Cuando el potasio es deficiente, se retarda el crecimiento se realiza la retranslocación de este nutriente desde hojas y tallos maduros y bajo deficiencia severa estas partes se vuelven cloróticas y necróticas, también se detiene la lignificación de los haces vasculares, cuando en el suelo queda limitada la cantidad de agua, la pérdida de turgencia y marchitamiento son síntomas típicos de la deficiencia de potasio. Otro factor es el daño por heladas cuando hay escasa cantidad de agua y deficiencia de K. los cambios en la actividad enzimática y compuestos orgánicos que se presentan durante la deficiencia de K son en parte los responsables de la susceptibilidad de la planta a ataques fúngicos, estos cambios también afectan la calidad nutricional y tecnológica de productos cosechados, por ejemplo en frutos carnosos y tubérculos. Cuando hay exceso de K, se llega a producir deficiencia de Mg principalmente, y posiblemente de Ca (Marschner, 1995).

La interacción más clásica es entre K y N teniendo resultados positivos ya que un adecuado contenido de K, la respuesta de N suele ser mayor. Se le relaciona con el metabolismo del N, sobre todo el amoniacal. En cuanto a la interacción de K con P, se dice que en condiciones de deficiencia de fósforo se reduce la asimilación de potasio, sin embargo tal vez no es más que un mero efecto de la ley del mínimo. Así también la aplicación de K reduce la deficiencia del Zn inducida por el efecto del P (Castellanos *et al.*, 2000).

Calcio (Ca)

El calcio es consumido por las plantas en forma de Ca^{++} , es vital en la formación de compuestos que forman la pared celular con pectato de calcio, fundamental en mantener la integridad de la membrana y por ende la absorción nutrimental, promoviendo o limitando el flujo de nutrientes hacia el interior de la raíz. El calcio estimula un rango de enzimas de membrana, particularmente ATPasas de membrana plasmática de raíces de ciertas especies vegetales. En hojas de plantas con altos niveles durante su crecimiento, existe una gran proporción de material péctico que hace que el tejido resistente al ataque de infecciones fungosas y bacterianas y además para la maduración de los frutos. Aspersiones durante el desarrollo o baño pos cosecha aumenta la firmeza del fruto y retrasa y/o evita la maduración del fruto (Marschner, 1995).

El contenido de calcio está entre rangos que varían de 0.20 a 3%. Los niveles de suficiencia están de 0.3 a 1%. La mayor concentración de Ca, son encontradas en hojas viejas (Jones *et al.*, 1991).

El síntoma de deficiencia mas claro de la falta de calcio es el pobre crecimiento radical, estas se tornan negras y se pudren, en frutos como el chile y tomate se produce una lesión negra y seca. Los factores que afectan la disponibilidad de Ca son: el pH del suelo, la CIC, el porcentaje de calcio en la saturación del total de la CIC, el tipo de arcilla y la relación de Ca con otros cationes, también se ve afectado por el contenido de Ca, la fuente de N; cuando es NH_4 la asimilación se reduce por la competencia, cuando es suministrado como nitrato se incrementa la asimilación de Ca.

Excesivos contenidos de Ca, producen deficiencia de Mg o K dependiendo de la concentración de estos en la planta. Usualmente el calcio es el catión de más alta concentración en el suelo en tanto formas solubles como intercambiable para suelos con pH mayor a 8 estando estas ya sea como precipitados de carbonato de calcio y sulfato de calcio (Jones *et al.*, 1991).

Magnesio (Mg)

El magnesio forma parte de la molécula de clorofila y necesario para la actividad de muchas enzimas, así como para mantener la estructura del ribosoma. Dependiendo del

estado nutricional del magnesio, entre el 6% y 25% del magnesio total es enlazado a la clorofila. Por lo general, otro 5-10% del magnesio total en hojas y acículas esta firmemente enlazado al pectato en las paredes celulares ó precipitado como sales escasamente solubles en la vacuola y el 60 – 90% remanente es extraíble con agua (Marschner, 1995).

Es tomado por las plantas como Mg^{++} de la solución del suelo mediante el flujo de masas y difusión. El Mg se encuentra como intercambiable, no intercambiable y soluble (Castellanos *et al.*, 2000).

Respecto al contenido en la planta los rangos van desde 0.15 hasta 1% siendo el 0.25% la cantidad de suficiencia para la mayoría de los cultivos en tejido foliar.

La deficiencia de magnesio puede ser inducida por altas concentraciones de NH_4 , K o Ca en la solución del suelo. Las deficiencias de Mg se manifiestan principalmente en la hoja con cambios de color, siendo el bronce y/o rojizo las más comunes, pueden aparecer hojas arrugadas hacia arriba o hacia abajo, estas son delgadas y quebradizas, las nervaduras en hojas nuevas son amarillas. Por su parte el exceso contribuye a la deficiencia de Ca (Jones *et al.*, 1991).

Azufre (S)

La fuente más importante es el SO_4 tomado por las raíces. El azufre es constituyente de los aminoácidos y la síntesis de proteínas, el azufre está presente en el glutatión coenzima A y vitamina B1 y en los glucósidos; se cree que reducen la incidencia de enfermedades (Marschner, 1995).

Los requerimientos varían entre 0.15 y 0.50% de peso seco. (Jones *et al.*, 1991). Así como con la deficiencia de N, con la deficiencia de S disminuye más el contenido foliar que el radical; la interrupción de S provoca disminución de la conductividad hidráulica radical, la apertura estomacal y la fotosíntesis neta, a bajo contenido de S, disminuye la clorofila, las hojas se muestran cloróticas muy parecido a la deficiencia de N, sin embargo la distribución es mas uniforme y se observan hojas cloróticas abajo y arriba de la planta lo que indica que la grado de re movilización y re translocación desde las hojas mas viejas depende de la tasa de senescencia foliar inducida por la

deficiencia de nitrógeno, una relación que es también evidente para los micronutrientes cobre y zinc (Marschner, 1995).

Fierro (Fe)

El fierro es el cuarto elementos en composición de la corteza terrestre representando el 5%, sin embargo el Fe intercambiable va de 1 a 1000 ppm y soluble de 0.1 a 25 ppm. El fierro es un elemento necesario en la síntesis de la clorofila forma parte esencial del citocromo, sirve como catalizador en la división celular y en los procesos de crecimiento forma parte de la ferredoxina de la nitrato reductasa y la nitrogenasa, es parte de muchas otras enzimas, su movilidad es baja en la planta. El Fe es tomado como Fe^{++} , Fe^{+++} o como quelato transportándose vía xilema y de movilidad lenta (Castellanos *et al.*, 2000).

El contenido en la planta va de 10 a 1000 ppm con rangos de suficiencia de 50 a 75 ppm (Jones *et al.*, 1991).

Castellanos *et al.* (2000), menciona que la movilidad en la planta es muy baja y su contenido total varia de 20 a 3000 ppm.

La deficiencia de Fe, deteriora la actividad de algunas enzimas, provoca clorosis ya que es precursor de la síntesis de proteínas, no inhibe el crecimiento foliar solo en condiciones severas, en la raíz está asociada la deficiencia de Fe con un baja elongación, incremento en el diámetro de las zonas radicales apicales y abundantes pelos radicales (Marschner, 1995).

Los factores que afectan su disponibilidad son: el pH, la presencia de bicarbonatos y carbonatos, la aireación, el contenido de M.O. La temperatura del suelo, y la interacción con elementos como Cu, Mn, Zn y P. En suelos calcáreos es muy común la deficiencia de Fe, cuando se usan aguas con altos contenidos de HCO_3^- el problema de Fe tiende a agudizarse. La adición de materia orgánica mejora la disponibilidad de Fe. La concentración excesiva de Cu, Mn y Mo puede propiciar clorosis férrica y se ha demostrado que altos contenidos de P, provocan clorosis férrica (Castellanos *et al.*, 2000).

Zinc (Zn)

El Zn existe en la solución del suelo como Zn^{+2} . El zinc participa en la síntesis de proteína y participa en la formación de almidones y promueve la maduración y producción de semilla, forma parte de algunas enzimas y activa el alcohol deshidrogenasa, ácido glutámico deshidrogenasa y carbopeptidasa, es un precursor en auxinas y es elemento esencial en la maduración de las semillas.

Los rangos de suficiencia están en rangos de 15 a 50 ppm en materia seca y en hojas maduras dependiendo del cultivo. Respecto a las interacciones alto contenido de P interfiere en el metabolismo de Zn, así como la absorción por medio de la raíz. Así mismo altas concentraciones de Zn inducen la deficiencia de Fe.

Los síntomas de deficiencia se ven por clorosis intervenal en hojas nuevas produciendo bandas. El exceso provoca clorosis sobre todo en plantas sensibles. Los síntomas de deficiencia están dados por acortamiento de entrenudos formando en arrosetamiento. (Jones *et al.*, 1991). Cuando incrementa el pH, disminuye su disponibilidad (Domínguez, 1996).

Manganeso (Mn)

El manganeso es tomado como Mn^{++} por la raíz en forma activa, aunque también es tomado como quelato, su movilidad en la planta es media. El Mn participa en la síntesis de clorofila, en la asimilación de nitratos, también funciona en la síntesis de vitaminas, participa en la fotosíntesis, en la fotólisis del agua y en la asimilación del CO_2 . Se le atribuye un papel importante en la germinación madurez fisiológica del grano (Salisbury y Ross, 1994).

El nivel de suficiencia se encuentra en rangos de 10 a 50 ppm de materia seca en hojas maduras. No se sabe que interfiera en el proceso de algún otro elemento. Los síntomas de deficiencia involucran un reducido crecimiento en dicotiledóneas y clorosis intervenal en hojas jóvenes pero con el mismo color de hoja. El exceso causa reducción de crecimiento y hojas marrones con puntos cloróticos (Jones *et al.*, 1991).

Cobre (Cu)

El cobre (Cu) participa como coenzima en diversos sistemas enzimáticos involucrados en formar y convertir aminoácidos. Es componente de los cloroplastos y participa en la síntesis de clorofila, proteínas y polifenoloxidasas (Castellanos *et al.*, 2000).

El rango de suficiencia se encuentra entre 3 a 7 ppm de materia seca mientras la toxicidad comienza de los 20 a 30 ppm. El Cu en la planta puede interferir con el Fe causando deficiencia. Los síntomas de deficiencia de Cu involucran hojas jóvenes distorsionadas y necrosis en meristemas apicales, cuando hay exceso, en la raíz puede detener su crecimiento (Jones *et al.*, 1991).

Boro (B)

El boro es tomado en forma pasiva por flujo de masas a través de la transpiración como borato o ácido bórico. Su función consiste en la síntesis de hormonas y la regulación de auxinas, transporte de carbohidratos, desarrollo apical del tallo y la raíz y la polinización y el amarre del fruto (Castellanos *et al.*, 2000).

La suficiencia para las dicotiledóneas está alrededor de 20 a 70 ppm. El B tiende a acumularse en los márgenes de las hojas. Un alto contenido de Ca provoca un alto requerimiento de B mientras un alto contenido de K acentúa un efecto negativo por bajo contenido de B. la planta lo toma como borato BO_3^{-3} . El síntoma de deficiencia más rápido es el cese de la elongación radical, dando a las raíces una apariencia regordeta y tupida, respecto a paredes celulares se refleja por tallo hueco o partido, en hojas se observan mas gruesas y pequeñas, ápices muertos y tallos quebradizos (Jones *et al.*, 1991; Salisbury y Ross, 1994).

Molibdeno (Mo)

La función principal es participar en la actividad de la enzima nitrato reductasa por lo que el leguminosas se hace mas notoria la mayor demanda de este micronutriente. El nivel de suficiencia se encuentra de 0.34 a 1.5 ppm. Los síntomas de deficiencia se parecen a los de N, las hojas marginales se enrollan y crecimiento estancado y clorosis

en las hojas jóvenes, en dicotiledóneas los síntomas visuales más típicos son una drástica reducción en tamaño e irregularidades en la formación de la lámina foliar (Marschner, 1995).

Cloro (Cl)

El cloro puede jugar un rol esencial en la regulación estomatal. La apertura y cierre de los estomas es mediada por los flujos de potasio y aniones acompañantes como el malato y el cloruro.

Los síntomas de deficiencia son el marchitamiento de las hojas, especialmente en los márgenes foliares, aún en cultivos hidropónicos, cuando las plantas son expuestas a plena luz solar. Con deficiencia severa puede presentarse rizado de las hojas más jóvenes seguido por marchitamiento y necrosis. En árboles de palma que tiene un requerimiento particularmente alto de cloruro cercano 6 mg Cl g^{-1} peso seco foliar, además del marchitamiento y senescencia prematura de las hojas, la fractura de las frondas y agrietamiento del tallo son los síntomas típicos de deficiencia de cloro. En hojas y raíces, además de la división celular, se deteriora particularmente la extensión celular en plantas deficientes, y en raíces esto está asociado con el hinchamiento sub apical y la realzada formación de raíces laterales cortas, dando a la raíces una apariencia regordeta (Marschner, 1995).

El contenido de Cl está alrededor de 20 ppm en materia seca, la deficiencia ocurre cuando están los niveles debajo de 0.10%. Su forma soluble es como anión Cl^- este compete con NO_3^- y sulfatos SO_4^{2-} (Jones *et al.*, 1991).

Recuperación de suelos salinos y sódicos

Para la recuperación de suelos salinos es necesario el lavado, que consiste básicamente en hacer pasar agua a través del suelo arrastrando las sales consigo. Antes de implementar técnicas de manejo o de recuperación se debe tener en cuenta las condiciones físicas y químicas del suelo mediante muestreos que permitan ofrecer un panorama completo sobre las condiciones del suelo.

Por otro lado para mejorar los suelos con problemas de sodio es necesario eliminar el exceso de esta manera la sodicidad del suelo se maneja con la aplicación de mejoradores y posteriormente lavado (Castellanos *et al.*, 2000).

El tipo y cantidad de mejorador químico para substituir el sodio intercambiable depende de las características del suelo. Cuando el PSI es mayor a 15% sin reserva de Ca y que con los contenidos de Ca del agua de riego no es posible corregir la salinidad y entonces hay que realizar la corrección (Richards, 1974).

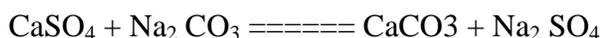
Los tipos de mejoradores son:

- a) sales solubles y medianamente solubles de calcio CaCl_2 ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- b) ácidos formadores de ácidos S, H_2SO_4 ; $\text{SO}_4\text{Fe} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; Cal-azufre.
- c) sales de calcio de baja solubilidad: roca caliza molida CO_3Ca y subproductos de cal usados en los ingenios azucareros.

Si los suelos en estudios tienen carbonatos de metales alcalino-térreos, se usan los mejoradores 1 y 2. Cuando los suelos están libres de metales alcalino- térreos y cuyo pH es mayor a 7.5 solo se pueden usar los mejoradores 1. Los suelos libres de carbonatos de metales alcalino-térreos y pH es menor de 7.5 los correctores se basan el los del numero 3.

El Yeso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y el Azufre, son los mejoradores más utilizados por su costo relativamente bajo. El yeso al solubilizase, libera iones de Ca que desplazan el sodio intercambiable del suelo. Otros mejoradores también se pueden aplicar a un costo elevado como el Ca Cl_2 , así como sulfatos de hierro y aluminio (Núñez, 2000).

La limitante del yeso agrícola es su baja solubilidad en agua que se reporta en 25% a temperatura normal. La reacción que ocurre en el suelo cuando se incorpora calcio como yeso es el siguiente:



El producto de la reacción transformará el yeso en la reacción del suelo sódico en cálcico y se formará sulfato de sodio. Luego debe efectuarse necesariamente un proceso de lavado del suelo para lixiviar el sodio.

Los beneficios del sulfato de calcio como corrector en la agricultura son: incrementar la conductividad hidráulica en suelos con subsuelo arcilloso, participar en el proceso de floculación de las arcillas; el calcio contenido en el yeso contribuye a la agregación de las arcillas a la materia orgánica, confiriéndole estabilidad a las estructuras; es usado en la rehabilitación de suelos salino sódicos, desplazando al sodio por calcio en el complejo de intercambio para posteriormente lixiviarlo mediante el riego; la aplicación de enmiendas orgánicas junto al yeso produce un efecto sinérgico sobre la agregación de partículas, haciendo más hidrosolubles a los polímeros que participan en el proceso; el calcio del yeso permite disminuir las pérdidas por volatilización de nitrógeno de los fertilizantes nitrogenados tales como nitrato de amonio, nitrato amonio urea, urea, sulfato de amonio o cualquiera de los fosfatos de amonio siendo esto posible ya que el calcio puede bajar el pH al disminuir el contenido de carbonatos y formar sales complejas de calcio con hidróxido de amonio; el yeso también aumenta la macroporosidad, estabiliza la microestructura de las arcillas (Castellanos *et al.*, 2000; Hervé, *et al.*, 2002; Costa y Godz, 1999; Mon, 2007)

Hernández *et al.*, (1992); citado por Juárez (1999) menciona que la papilla de yeso es un material efectivo en la reducción de las sales en el suelo, sodio y magnesio intercambiable a expensas del calcio. Por su parte Juárez (1999) realizó un estudio en el área de riego “El Barril” donde realizó un diagnóstico de la calidad de suelo y agua, al finalizar su trabajo sugirió una aplicación en suelo de 4.7 a 19.4 ton ha⁻¹ de yeso agrícola.

Ortiz (2009), en su trabajo encontró diferencias significativas en los tratamientos aplicados en resultado de la aplicación de yeso y yeso mas materia orgánica en la disminución del PSI y C.E. por lo que expresa que con el uso del yeso agrícola mas la adición de materia orgánica así como el mejoramiento el medio físico utilizando la tecnología del multiarado para disminuir la compactación es una alternativa para recuperar suelos salino-sódico.

Mon (2007), concluye en su trabajo que el subsolado mas la aplicación de enmienda de yeso, se produjo el mejoramiento físico del suelo aumentando la filtración del agua de lluvia y la exploración de raíces así como la fertilidad de suelo por el aumento del Ca y S disponibles, así mismo concluye que el agregado de yeso en el suelo de estudio proporciona una cantidad importante de azufre y calcio a una profundidad muy apropiada para la captación de nutrientes por las raíces, así como reserva en cosechas futuras.

Martínez-Gamiño y Walthall (2000), reportan en su trabajo que la adición de yeso agrícola en suelos dispersivos durante la formación de costras incrementó la agregación de las partículas atribuyéndose a la cualidad flocculante del calcio.

Por su parte, Longo *et al.* (2005), en su estudio sobre la incidencia en el suelo de la incorporación de yeso y azufre expuso resultados estadísticos favorables para el azufre no así para el yeso, donde la incorporación de azufre presentó diferencias altamente significativas en calidad y rendimiento en un suelo salino- sódico.

Costa y Godz (1999) en su estudio donde evaluaron la aplicación de yeso en la producción primaria de forraje reportan que la aplicación de yeso mejoró la infiltración del agua, así mismo redujo los valores de sodio en la superficie del suelo en estudio a 9 Mg ha⁻¹; gracias a la mejora de las condiciones físicas y químicas del suelo, la producción de forraje se duplicó.

Espinosa *et al.* (2011), al estudiar el efecto de la aplicación de yeso en suelos salino-sódicos de temporal reportaron la reducción del PSI (80% menos) en comparación con el testigo así como la modificación de cationes y aniones como sodio y cloruro con lo que se redujo en un 57% la C.E .

Nielson y Sarudiansky (2005) mencionan que la cantidad de enmienda a utilizar se puede calcular mediante la siguiente expresión

$$\text{yeso}(\text{meq}/100\text{gr}) = \frac{\text{CIC}(\text{PSI}_{\text{inicial}} - \text{PSI}_{\text{final}})}{100}$$

Las micorrizas y la nutrición mineral

Las micorrizas se asocian a plantas de interés económico como las gramíneas, leguminosas, hortalizas y frutales.

Las raíces de la mayor parte de las plantas cultivadas tienen asociación con las micorrizas. Según un panorama global el 83% de las dicotiledóneas y el 79% de las monocotiledóneas y todas las gimnospermas están micorrizadas. Las plantas no micorrizadas están principalmente en ambientes muy secos, salinos o inundados, severamente perturbados o donde la fertilidad del suelo es extremadamente alta o baja.

En crucíferas, Quenopodiáceas y en plantas que formen raíces en cluster las micorrizas también están ausentes. Las asociaciones micorrizicas pueden ser mutualistas, neutrales o parasíticas. Se han descrito siete principales grupos de micorrizas de acuerdo a su estructura, función y taxonomía; estas se nombran; endomicorrizas o micorrizas arbusculares (MA), ectomicorrizas, ectoendomicorrizas, Arbutoides, Monotropoides, Ericoides y Orquidoides. Las micorrizas más usadas como biofertilizante son las endomicorrizas que tienen la particularidad de penetrar a las células corticales sin pasar la banda de caspari y su micelio se extiende hacia el exterior con hifas siendo capaces de explorar suelo que la raíz no puede Marschner (1995); (Aguirre *et al.*, 2009).

El mayor beneficio que proporcionan las micorrizas es el incremento de la absorción de iones que normalmente se difunden con lentitud hacia el interior de las raíces o que son muy requeridos en especial el fosfato, NH_4^+ , K y NO_3^- (Salisbury y Ross 1994).

De las endomicorrizas se cree que *Glomus* es el Género más abundante de hongos del suelo; el beneficio para la planta indica una exploración de la raíz con un mayor aumento en la absorción y transporte de nutrientes como N, P, Cu, Zn y agua del suelo proporcionándole mayores ventajas para su desarrollo y productividad, así mismo no contaminan ni causan daño al suelo, planta y hombre; además permiten complementar el uso de fertilizantes químicos nitrogenados y fosfatados (Aguirre *et al.*, 2009).

El micelio de la MA conecta con la célula vegetal a través del arbusculo para proveer el intercambio. Al entrar a la célula esta sintetiza la membrana perisimbótica que posee fosfatasa neutra y ATP así implicadas en la degradación de gránulos de fosfato y su transferencia activa al vegetal y dicha membrana continúa con la membrana plasmática que es la que rodea la hifa del hongo esta consecuencia provoca un aumento de las superficies en contacto y se facilita el intercambio de nutrientes entre célula y hongo (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

Este trabajo se desarrolló en instalaciones de invernadero, sin cubierta, en el ciclo primavera-verano 2010 en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí situada en el km 14.5 de la carretera Federal No 57, en el ejido Palma de la Cruz, del Municipio de Soledad de Graciano Sánchez (22°14'11" latitud norte y 100°53'03" longitud oeste) y 1835 msnm.

El suelo que sirvió como sustrato se obtuvo del rancho "El Cuervo" ubicado en la localidad del Barril del Municipio de Villa de Ramos; con un trascabo se removieron los primeros 20 cm de suelo y se amontonaron, los cuales fueron depositados en la plataforma de un camión de redilas al que previamente se le había puesto una cubierta de plástico para evitar la contaminación del suelo, una vez cargado el camión se traslado hacia la Facultad de Agronomía.

Previamente se realizó un muestreo de suelo para su análisis físico-químico; este fue llevado al Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal de INIFAP Celaya, GTO, las características se muestran en la Figura 1.

Establecimiento del experimento en el invernadero

Para el establecimiento del experimento en invernadero se realizaron los siguientes pasos: a) llenado de macetas: Previamente lavadas y desinfectadas, estas se llenaron con suelo y se acomodaron dentro del invernadero. Las medidas de las macetas fueron de 40X 60X 25 cm. b) En laboratorio se pesaron los materiales a utilizar. c) Se aplicaron los tratamientos de yeso, estos tratamientos están de acuerdo a la Figura 1 tomando de la recomendación mayor hacia abajo, a decir: 3 ton ha⁻¹ 6 ton ha⁻¹ y 9 ton ha⁻¹ de yeso. d) Se aplicó un riego de lavado después de la incorporación de los tratamientos (Figura 2). e) Se barbechó y se trasplantó aplicando al momento la dosis de fertilización 180-90-00 utilizando una fuente de N al 33% (sulfato de amonio) y P al 20% (superfosfato de calcio simple).

f) Al momento del trasplante se inocularon los tratamientos correspondientes con biofertilizante este en forma de salero tratando de dejar totalmente cubierto el cepellón de la planta de chile. g) Se aplicaron los riegos necesarios durante todo el experimento con riego por goteo simulando las condiciones de agua del sitio del muestreo en el Barril.



Figura 2. Establecimiento del experimento en el invernadero.

Tratamientos

Se evaluaron dos factores de prueba; el primer factor a estudiar fueron cuatro dosis de yeso agrícola a decir: a) testigo sin yeso, b) aplicación de 3 ton ha^{-1} , c) aplicación de 6 ton ha^{-1} y d) aplicación de 9 ton ha^{-1} de yeso. El segundo factor a estudiar fueron dos niveles de biofertilizante en donde el primero fue sin aplicación de biofertilizante y el segundo nivel fue aplicación de micorriza *Glomus intraradices* (Cuadro 7).

Cuadro 7. Factores estudiados respecto al contenido nutrimental en raíces de Chile.

Factor a estudiar	Dosis y/o niveles
Factor A. Cuatro aplicaciones de yeso	0 ton ha ⁻¹
	3 ton ha ⁻¹
	6 ton ha ⁻¹
	9 ton ha ⁻¹
Factor B. Dos niveles de Biofertilizante	Sin micorriza
	Con <i>Glomus intraradices</i>

Diseño experimental

El diseño que se utilizó, fue un diseño factorial completamente al azar, en arreglo 3x4x2 para las variables de crecimiento radical (3 corresponde a fechas de corte, 4 a dosis de yeso y 2 a biofertilización con micorriza); para el análisis de nutrientes solo se consideraron dos fechas de corte. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en dos plantas por maceta.

Para realizar el análisis estadístico en el crecimiento de la raíz se utilizó el Sistema SAS (Statistical Analysis System por sus siglas en inglés) (SAS, Inst., 1989), considerando 4 factores de prueba: Fechas de muestreo (FC), dosis de yeso (Do), aplicación de biofertilizante (Bi), así como las interacciones FC* Do, Do*Bi y FC*Do*Bi. Para el contenido nutrimental se consideraron los mismos factores de prueba e interacciones el objetivo del estudio de las interacciones antes mencionadas es evaluar la relación de estas y su posible impacto.

Cuando se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos se realizaron pruebas de medias (Tukey: $\alpha=0.05$), utilizando el mismo procedimiento del ANVA SAS.

El modelo que representa el análisis es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + M_i + Y_{e_j} + F_k + (M * Y_e)_{ij} + (M * F)_{ik} + (Y_e * F)_{jk} + (M * Y_e * F)_{ijk} + \text{Error}_{(ijk)}$$

Donde:

Y_{ijkl}	=	Respuesta de la unidad experimental tratado con el i-ésimo nivel del factor M, el j-ésimo nivel del factor Ye y el k-ésimo nivel del factor F
μ	=	Efecto de la media general
M_i	=	Efecto del i-ésimo nivel de Micorriza
Y_{e_j}	=	Efecto del j-ésimo nivel de Yeso
F_k	=	Efecto del k-ésimo nivel de Fecha de corte
$(M * Y_e)_{ij}$	=	Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de M con el j-ésimo nivel de Ye
$(M * F)_{ik}$	=	Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de M con el k-ésimo nivel de F
$(Y_e * F)_{jk}$	=	Efecto de la interacción del j-ésimo nivel de Ye con el k-ésimo nivel de F
$(M * Y_e * F)_{ijk}$	=	Efecto de la interacción (MYe) _{ij} con el k-ésimo nivel de F
E_{ijk}	=	Error experimental

Muestreos

Se realizaron 3 muestreos destructivos de raíz de plantas de chile y de suelo en tres fechas (prefloración, floración y cuajado de fruto) bajo el siguiente procedimiento:

Procedimiento para el estudio de raíz de chile en el experimento

Se extrajo la raíz del resto de la planta utilizando una pala, tratando de sacar todo lo posible de raíces

Se trasladó la raíz a laboratorio. En la tarja se limpió la raíz eliminando el exceso de suelo hasta que no quedó residuo de este y se recuperaron con tamiz todas las raíces dependidas por el chorro de agua.

Se etiquetaron todas las muestras.

De cada tratamiento se midió la longitud de raíz con cinta métrica desde el tocón de la planta hasta la punta de la raíz más grande.

Se midió el volumen radical introduciendo la raíz en una probeta graduada con agua corriente, el agua desplazada se registró como el volumen.

Se depositaron las raíces en bolsas de estraza y se dejaron secar, ya secas se metieron al horno a 50°C por 24 horas se pesaron en balanza analítica y el dato tomado fue el de biomasa de raíz (Figura 3).



Figura 3. Procedimiento para el estudio de raíz de chile en el experimento.

Procedimiento para el análisis nutrimental en raíz de chile

Las raíces del segundo y tercer muestreo se separaron y se trasladaron al laboratorio de plantas, suelo y agua de la Facultad de Agronomía de la UASLP.

La determinación de N se realizó por el método de la digestión Kjeldahl. (Jones *et al.*, 1991) (Figura 4).

Para la determinación de K, Ca, Mg, B, Mo, Mn, Zn, Cu además de Na y Al se determinaron mediante la técnica ICP masas en el instituto de Geología de la UASLP.

Procedimiento para el estudio de densidad aparente en el suelo

Se realizaron 3 muestreos mediante técnicas convencionales. Estas fueron en prefloración, floración y llenado de fruto. Este muestreo se realizó cerca de la raíz de la planta utilizando un extractor de núcleos inalterados y una pala pequeña, se etiquetaron debidamente las muestras y se trasladaron al laboratorio de suelos, plantas y agua de Facultad de Agronomía, UASLP.

Se determinó densidad aparente: Para llevar a cabo esta determinación se utilizó el método del extractor de núcleos (Figura 5).



Figura 4. Determinación de N por el método la digestión Kjeldahl.



Figura 5. Procedimiento para el estudio de densidad aparente experimento.

Variables en estudio

Con el fin de analizar el contenido nutrimental y el crecimiento radical del cultivo del chile en diferentes etapas fenológicas del cultivo en el experimento, se realizaron 3 fechas de muestreo estas fueron en prefloración, floración y llenado de fruto realizado a los 45, 90 y 130 días después del trasplante (DDT). Las variables a evaluar fueron:

En planta:

- Crecimiento radical: Volumen radical (VR), longitud (Lo), biomasa (PR).
- Contenido de nutrientes en dos fechas de corte.

En suelo:

- Densidad aparente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento radical

a) Volumen radical

De acuerdo con los datos obtenidos para la variable volumen radical (VR) en el Cuadro 8 se observa diferencias estadísticas altamente significativas respecto a fechas de muestreo (FC). Las fechas de muestreo (pre floración, floración y cuajado de fruto) tuvieron efecto en el volumen radical de plantas de chile, sin embargo, este efecto no se observó para los demás factores en estudio, refiriéndose a las cuatro dosis de yeso, aplicaciones de biofertilizante y a las interacciones estudiadas FC, Bi y Do. Algo similar encontró Martínez (2009) en su trabajo donde el volumen radical se vio influenciado por las fechas de corte.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la variable Volumen radical (VR) para los factores fecha de corte, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.

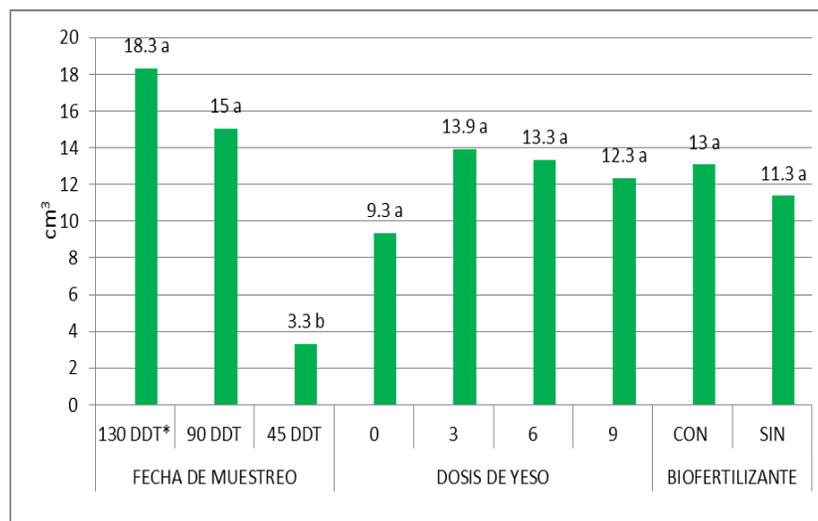
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	23	3027.979	131.651	4.62	0.0002
Fechas de muestreo (FC)	2	1992.667	996.333	34.93	0.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	149.563	49.854	1.75	0.184
Biofertilizante (Bi)	1	35.021	35.021	1.23	0.279
FC*Do	6	242	40.333	1.41	0.250
Do*Bi	3	149.729	49.910	1.75	0.184
FC*Do*Bi	8	459	57.375	2.01	0.089
Error	24	684.500	28.521		
Total corregido	47	3712.479			
CV	43.67				
R- cuadrado	0.816				
Raíz MSE	5.340				
Media	12.229				

**Diferencia altamente significativa

En la prueba Tukey ($\alpha=0.05$) (Figura 6), se muestran dos grupos en las fechas de corte con promedios de 3.3 cm^3 , 15 cm^3 y 18.3 cm^3 en prefloración, floración y cuajado de fruto respectivamente. A simple vista las raíces se mostraban más gruesas y vigorosas conforme pasaba el tiempo, lo que indica que a mayor edad de la planta en condiciones normales el volumen de las raíces tiende a crecer y a desarrollarse.

No se encontró diferencia estadística para el efecto de la aplicación de yeso, sin embargo, en los promedios se observa que en el tratamiento que no recibió aplicación de yeso el volumen radical es menor que con las aplicaciones de 3, 6 y 9 ton ha^{-1} de yeso agrícola con volumen de 9.3 cm^3 , 13.9 cm^3 , 13.3 cm^3 y 12.3 cm^3 en el orden presentado.

En cuanto al efecto del biofertilizante, no se observó diferencia estadística entre tratamientos, sin embargo, los promedios tienden a ser mayores en presencia de la inoculación con hongos endomicorrízicos.



*DDT. Días después del trasplante

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 6. Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) de la variable volumen de raíz en plantas de chile a partir de tres fechas de muestreo, cuatro dosis de yeso y dos tratamientos de biofertilizante.

Biomasa radical

De acuerdo al análisis de varianza realizado para la variable biomasa radical (Cuadro 9), se observa una diferencia altamente significativa entre las fechas de muestreo no siendo así para el factor dosis de yeso (Do), la aplicación de biofertilizante (Bi) ni a las interacciones de estos tres factores.

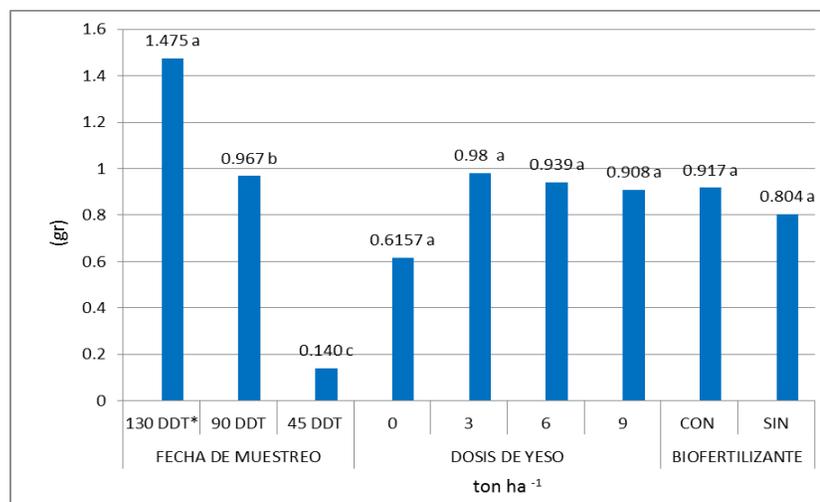
En la prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) para esta variable (Figura 7) en el factor fechas de muestreo se reportan valores de 0.140, 0.967 y 1.475 gr a los 45, 90 y 130 días después del trasplante respectivamente. Esto indica, un mayor contenido de raíces conforme la planta se desarrolla. Respecto a dosis de yeso, aunque no se muestra diferencia estadística, la cantidad de biomasa radical respecto al testigo (0 ton ha⁻¹ de yeso agrícola) es mayor; variando de 0.98, 0.93 y 0.90 gr para 3, 6 y 9 ton ha⁻¹

respectivamente. Así mismo, respecto a aplicación de biofertilizante, no se observa diferencia estadística entre tratamientos, sin embargo, la biomasa radical aumenta ligeramente con la aplicación de biofertilizante que sin ella con valores de 0.907 y 0.804 gr respectivamente

Cuadro 9. Análisis de varianza de la variable biomasa radical (PR) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de Chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	23	20.187	0.878	4.48	0.0003
Fechas de muestreo (FC)	2	14.520	7.260	37.07	0.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	0.997	0.332	1.7	0.1943
Biofertilizante (Bi)	1	0.154	0.154	0.79	0.3844
Do*Bi	6	1.202	0.200	1.02	0.4342
Fc*Do	3	0.989	0.330	1.68	0.1971
FC*Do*Bi	8	2.324	0.291	1.48	0.215
Error	24	4.701	0.196		
Total corregido	47	24.887			
CV		51.388			
R- cuadrado		0.8111			
Raíz MSE		0.4426			
Media		0.8612			

**Diferencia altamente significativa



*DDT. Días después del trasplante

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 7. Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) de la variable biomasa radical en plantas de chile a partir de 3 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y dos tratamientos de biofertilizante.

Longitud de raíz

Para la variable longitud de raíz, el Cuadro 10 muestra el análisis de varianza, el cual expone una diferencia altamente significativa para los factores fecha de corte y tratamientos con yeso agrícola.

La Figura 8 muestra la gráfica de la comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$), donde el factor fecha de muestreo (FC), exhibe medias de 9.83, 21.4 y 26.2 cm a los 45, 90 y 130 días después del trasplante respectivamente

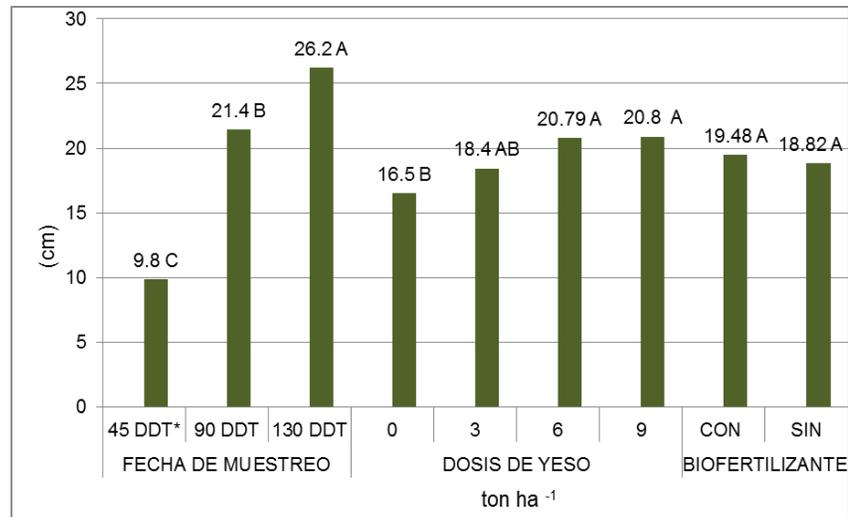
Respecto al factor que involucra dosis de yeso (Do) también se mostró una diferencia altamente significativa con medias de 16.5, 18.4, 20.79 y 28.8 para 0, 3, 6 y 9 ton ha^{-1} respectivamente

Con respecto a los tratamientos con y sin biofertilizante, no hubo diferencia estadística entre ambos, no obstante, se observa un ligero incremento en los tratamientos que tuvieron biofertilizante que los que no tuvieron con medias de 19.48 y 18.82 cm respectivamente.

Cuadro 10. Análisis de varianza para la variable Longitud de raíz (Lo) para los factores Fecha de muestreo, Aplicaciones de yeso y Biofertilizante en plantas de chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	23	2576.967	112.042	12.82	0.0001
Fechas de muestreo (FC)	2	2266.522	1133.261	129.63	0.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	158.115	52.705	6.03	0.0033**
Biofertilizante (Bi)	1	5.201	5.201	0.59	0.448
FC*Do	6	77.200	12.867	1.47	0.230
Do*Bi	3	29.931	9.977	1.14	0.353
FC*Do*Bi	8	39.998	5.000	0.57	0.790
Error	24	209.81	8.742		
Total corregido	47	2786.777			
CV	15.433				
R- cuadrado	0.925				
Raíz MSE	2.957				
Media	19.158				

**Diferencia altamente significativa



*DDT. Días después del trasplante

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 8. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) de la variable longitud de raíz en plantas de chile a partir de tres fechas de muestreo, cuatro dosis de yeso y dos tratamientos de biofertilizante.

Respecto al efecto del biofertilizante en el crecimiento radical de plantas de chile no se observaron diferencias estadísticas entre los factores anteriormente estudiados ($\alpha = 0.05$), efecto contrario encontró Martínez (2009) en cuanto a la parte aérea donde al estudiar el efecto de la bioinoculación con hongos micorrizicos favoreció el desarrollo de la planta tanto en la parte aérea como en la raíz dado por mayor volumen radical y la producción de materia seca. Aunque Román-García (2001) asegura una mayor longitud de raíz en tratamientos inoculados con hongos micorrizicos. Así mismo en otros estudios para la parte aérea en plantas de chile hubo un efecto positivo en la biofertilización (Román, 2003; Aguirre *et al.*, 2009; Lucas, 2011), también se reportan resultados para otros cultivos respecto a peso seco, longitud de la raíz y la absorción de nutrientes (Manjarrez- Martínez, 1999; García- Gallegos *et al.*, 2009; Shokry y Maadi, 2009; Melo, 2011).

Respecto a la aplicación de biofertilizante sobre el rendimiento por planta de chile, (Jiménez, 2011), encontró en su estudio sobre la aplicación de biofertilizante en plantas de chile ancho cultivado en suelos salino-sódico un incremento en el rendimiento de

47.9% respecto al testigo, aunque no se vio un efecto estadístico en raíz, este si logró mostrarse en el rendimiento.

Los hongos micorrízicos son benéficos para la mayoría de las plantas (Marschner, 1995) sin embargo la efectividad está dado por diversos factores. Ferrera-Cerrato y Alarcón (2004) mencionan sobre la ecología de los HMA que a pesar que son cosmopolitas estos se ven afectados por condiciones ambientales, humanos y físicos en los cuales se induce una selección. Así pues el genotipo tanto de los hospedantes como de los HMA determina la capacidad de los hongos micorrízicos. Esto podría explicar la ausencia de efectos en cuanto al desarrollo y crecimiento respecto al testigo en este estudio. De igual manera, Tapia Goné *et al.* (2010), mencionan en su trabajo que al estudiar diferentes cepas de HFMA en plantas de lechuga, estos hongos mantuvieron su capacidad infectiva sin embargo su efecto en el desarrollo de la plantas no fue evidente al considerar variables como volumen radical, área foliar y peso seco del follaje.

En cuanto a los tratamientos con yeso, no se observaron diferencias significativas en biomasa y volumen de raíz pero si en longitud radical. Saeed y Ahmad (2009), encontraron en su estudio que con la adición de yeso agrícola en el suelo hay incremento de las características deseables respecto al testigo en plantas de tomate como altura de planta, peso fresco y seco, biomasa vegetal, frutos/planta y perímetro de la fruta. Acosta-Durán *et al.* (2010) menciona un efecto positivo y por consiguiente el aumento del rendimiento en plantas de *Arachis hypogaea* L. en relación a la aplicación de sulfato de calcio, sin embargo menciona este sin efecto estadístico, tal como ocurrió en este trabajo para las variables biomasa y volumen radical.

Jiménez (2011) reporta en su trabajo un incremento de biomasa de la parte aérea en todos los tratamientos de yeso que estudió (3, 6 y 9 ton ha⁻¹) respecto al testigo. De igual manera, en cuanto rendimiento por planta encontró un aumento respecto al testigo de 34% para le tratamiento que contenía 3 ton ha⁻¹.

Espinosa y Molina (1999), indican que el yeso agrícola ofrece condiciones favorables para el crecimientos del sistema radicular en capas subsuperficiales del suelo. Un sistema radicular que crece adecuadamente a profundidad aprovecha el agua

disponible de la mejor manera; además este explora mejor el perfil del suelo aprovechando así los nutrientes.

Contenido nutrimental en raíces de chile en suelo salino-sódico tratado con yeso

Para determinar los niveles nutrimentales en raíces de plantas de chile se realizó un análisis de la biomasa radical de las plantas. Los análisis mostraron los valores de N, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B así como del Na.

Respecto a los niveles de suficiencia de los nutrientes en plantas de chile, solo se reportan valores en tejido vegetal (Cuadro 11), ya que es de escasa a nula la información respecto a nutrientes en el sistema radical en plantas de chile.

Cuadro 11. Niveles de suficiencia de nutrientes en hojas de plantas de chile.

Elemento	Nivel de suficiencia		
	Bajo	Óptimo	Alto
%			
N	3.00 - 3.49	3.50 - 5.00	>5.00
P	0.18 - 0.21	0.22 - 0.70	>0.80
K	3.00 - 3.49	3.50 - 4.50	>4.50
Ca	1.00 - 1.29	1.30 - 2.80	>2.80
Mg	0.26 - 0.29	0.30 - 1.00	>1.00
ppm			
B	23 - 24	25 - 75	>75
Cu	4 - 5	6 - 25	>25
Fe	50 - 59	60 - 300	>300
Mn	40 - 49	50 - 250	>250
Zn	18 - 19	20 - 200	>200

(Jones *et al.*, 1991)

Contenido de nitrógeno (N)

Con respecto al ANVA del análisis nutrimental en el sistema radical para plantas de Chile el Cuadro 12 expone el contenido de nitrógeno total (%) mostrando diferencias estadísticas altamente significativas. Estas diferencias se dieron debido a la fecha de muestreo (FC), no siendo así para dosis de yeso (Do) y aplicación de biofertilizante (Bi), así como en las interacciones entre Do*Bi, FC*Bi* y FC*Do*Bi.

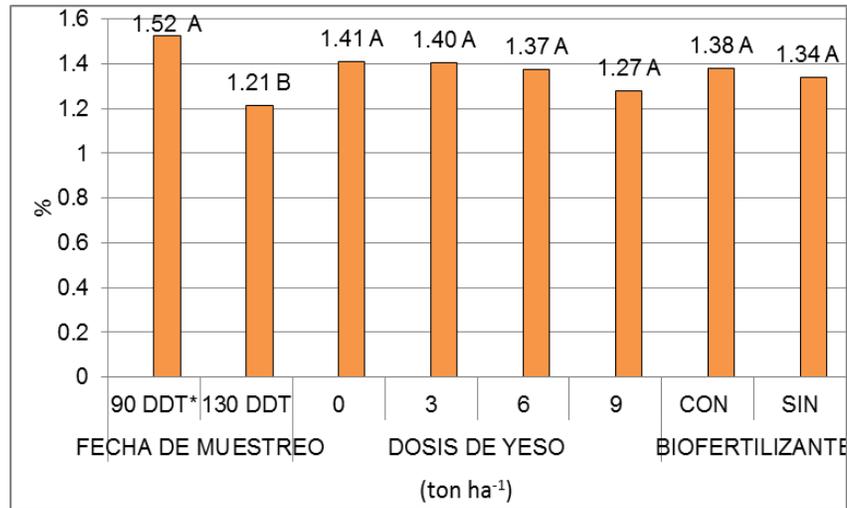
Cuadro 12. Análisis de varianza respecto al contenido de nitrógeno radical (N) para los factores fecha de muestreo (FC), aplicaciones de yeso (Do) y biofertilizante (Bi) en plantas de Chile.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	1.06909688	0.07127313	2.48	0.0408
Fechas de muestreo (FC)	1	0.77190313	0.77190313	26.82	0.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	0.09018438	0.03006146	1.04	0.3998
Biofertilizante (Bi)	1	0.01402813	0.01402813	0.49	0.4951
Do*Bi	3	0.0668094	0.0222698	0.77	0.53
Fc*Do	3	0.09213437	0.03071146	1.07	0.3907
FC*Do*Bi	4	0.0340375	0.00850937	0.3	0.8765
Error	16	0.46045	0.02877813		
Total corregido	31	1.52954688			
CV	12.4024				
R- cuadrado	0.698963				
Raíz MSE	0.169641				
Media	1.3678				

**Diferencia altamente significativa

De acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) presentado en la Figura 9; se reporta diferencia altamente significativa en fechas de muestreo. Se observa dos grupos representando a la segunda fecha de muestreo con 1.52% de N con respecto a la tercera fecha que mostró un valor 1.21% de contenido de Nitrógeno. Para dosis de yeso y

biofertilizante no se muestra diferencia estadística, la cantidad de N en raíces permaneció similar en esos tratamientos.



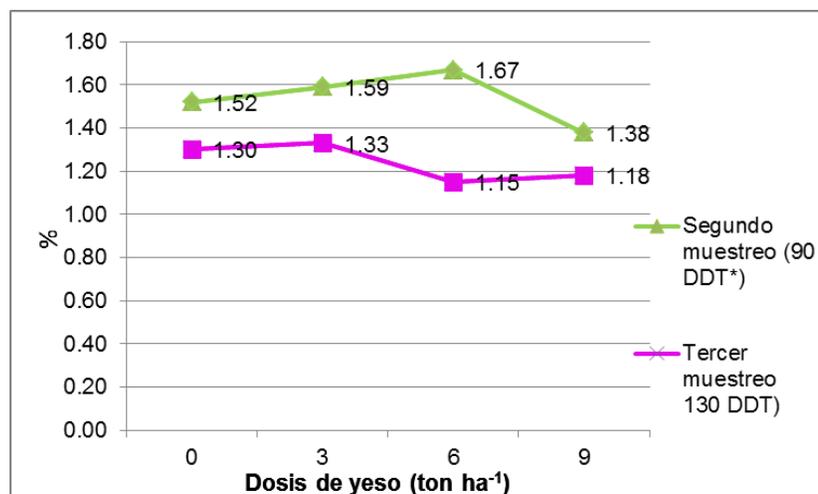
*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 9. Prueba de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) respecto al contenido de Nitrógeno (N) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

Comparando los promedios obtenidos en las fechas de muestreo con los tratamientos con yeso, la Figura 10 muestra un valor ligeramente mayor en los dos muestreos siendo los tratamientos 3 y 6 ton ha⁻¹ los que obtuvieron el mayor porcentaje en el segundo muestreo con porcentajes de 1.59 y 1.67%; y en el tercer muestreo fue el tratamiento 3 ton ha⁻¹ quien obtuvo el promedio mayor con 1.33% de N.

Se observa que en la segunda fecha la cantidad de nitrógeno es mayor que en la tercera fecha esto debido a que la concentración de N va decreciendo con la edad de la planta, así mismo, el porcentaje reportado es bajo en comparación con la suficiencia reportada en el Cuadro 13, esto debido a que la mayor concentración de N se encuentra en hojas, tallos y peciolo. (Wild, 1992).



*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 10. Contenido de Nitrógeno (N) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso.

Respecto al contenido de N, en contraste con la aplicación de biofertilizante en los tratamientos con yeso, se observa que los tratamientos con biofertilizante de 0, 3, 6 y 9 ton ha⁻¹ resultaron en mayor porcentaje con respecto a los que no contenían N (Figura 11).

Esta tendencia, aunque no fue estadísticamente significativa, pudiera indicar que en este estudio la aplicación de biofertilizante contribuye a incrementar el contenido de N en plantas de chile. Aguirre *et al.* (2009) indican en diversos trabajos que la aplicación de biofertilizantes incrementan el % de N en plantas de maíz respecto al testigo, así mismo, en parcelas de validación resultó un incremento de producción de maíz con la aplicación de *G. intraradices* respecto al testigo.

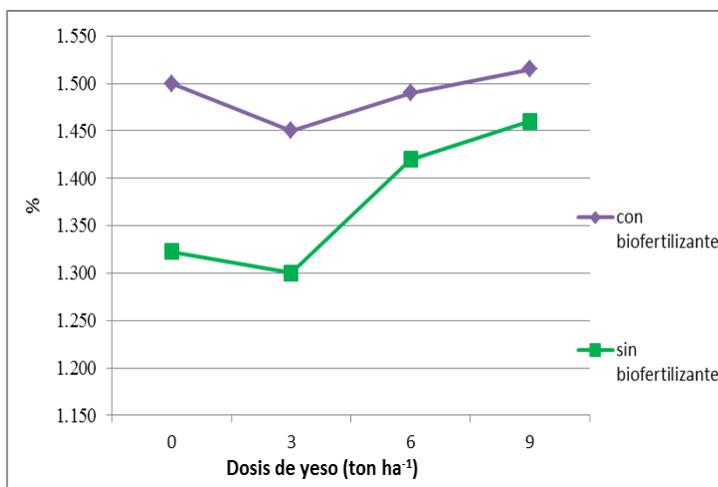


Figura 11. Contenido de Nitrógeno (N) en relación a la aplicación de biofertilizante con 4 tratamientos con yeso.

Contenido de potasio (K)

Como resultado del análisis de varianza para contenido de K en raíces de plantas de chile, se reporta una diferencia altamente significativa con respecto a las fechas de muestreo, sin embargo, esta diferencia no se refleja para Dosis de yeso (Do), Aplicación de biofertilizante (Bi), tampoco se refleja para la interacción Do*Bi, Fc*Do, FC*Do*Bi tal como lo muestra el Cuadro 13.

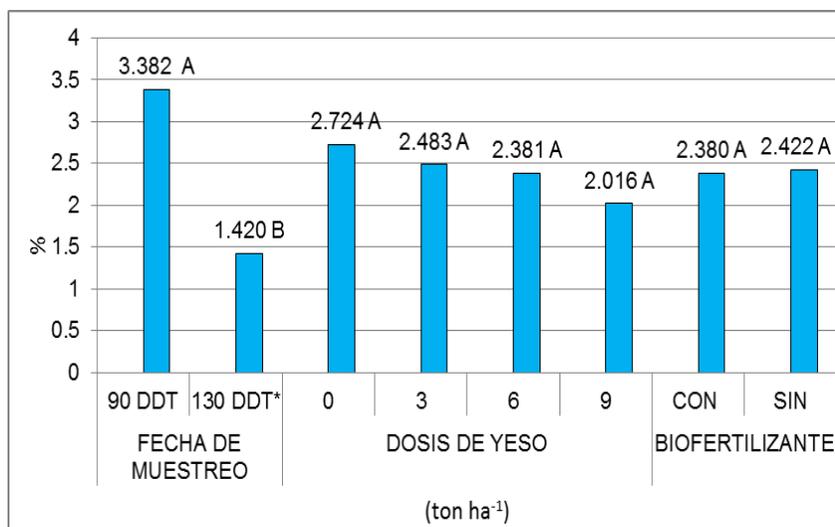
La prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) mostrada en la Figura 12 indica dos grupos en el factor fechas de muestreo (FC) el primer grupo con una media de 3.382% de K corresponde al segundo muestreo 90 DDT; el siguiente grupo con una media de 1.420 % corresponde a la tercera fecha de muestreo a los 130 DDT.

En dosis de yeso y e aplicación de biofertilizantes no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, respecto a dosis de yeso aunque este no fue diferente se observa una disminución en el contenido de K conforme va aumentando la dosis de yeso con valores de 2.72 % del testigo a 2.016 % del tratamiento correspondiente a 9 ton ha⁻¹.

Cuadro 13. Análisis de varianza respecto al contenido de Potasio (K) para los factores Fecha de muestreo, Aplicaciones de yeso y Biofertilizante en plantas de chile.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	3616586098	241105740	7.78	0.0001
Fechas de muestreo (FC)	1	3078722583	3078722583	99.32	0.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	207355486	69118495	2.23	0.1242
Biofertilizante (Bi)	1	1384706	1384706	0.04	0.8353
Do*Bi	3	124876662	41625554	1.34	0.2957
Fc*Do	3	101738734	33912911	1.09	0.3802
FC*Do*Bi	4	102507927	25626982	0.83	0.5273
Error	16	49599153	30999471		
Total corregido	31	4112577628			
CV	23.18716				
R- cuadrado	0.879396				
Raíz MSE	5567.717				
Media	24012.06				

**Diferencia altamente significativa

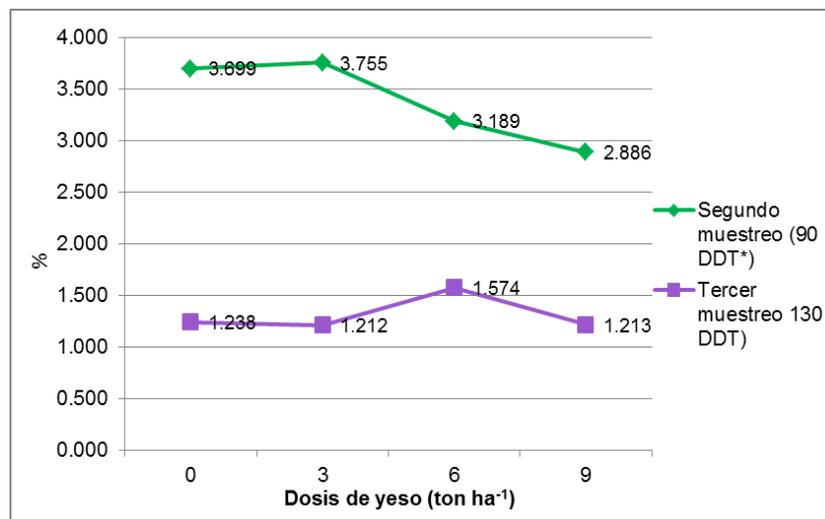


*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 12. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) respecto al contenido de Potasio (K) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

La Figura 13, muestra los valores respecto a las dos fechas de muestreo (90 y 130 DDT) y a los tratamientos con yeso. En el segundo muestreo los valores para 0, 3, 6 y 9 ton ha⁻¹ fueron de 3.699, 3.755, 3.188 y 2.886% respectivamente y para el tercer muestreo los valores dados fueron de 1.23, 1.21, 1.57 y 1.147% para 0, 3, 6 y 9 ton ha⁻¹ respectivamente. Aunque estos valores son menores a los reportados en el Cuadro 13, lo anterior muestra un mayor contenido de K en el segundo muestreo y en este un mayor contenido de K en el tratamiento de 3 ton ha⁻¹ de yeso que el tercer muestreo; en contraste el mayor contenido de K lo mostró el tratamiento con 6 ton ha⁻¹ de yeso.



*DDT: días después del trasplante.

Figura 13. Contenido de Potasio (K) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso

Contenido de Calcio (Ca)

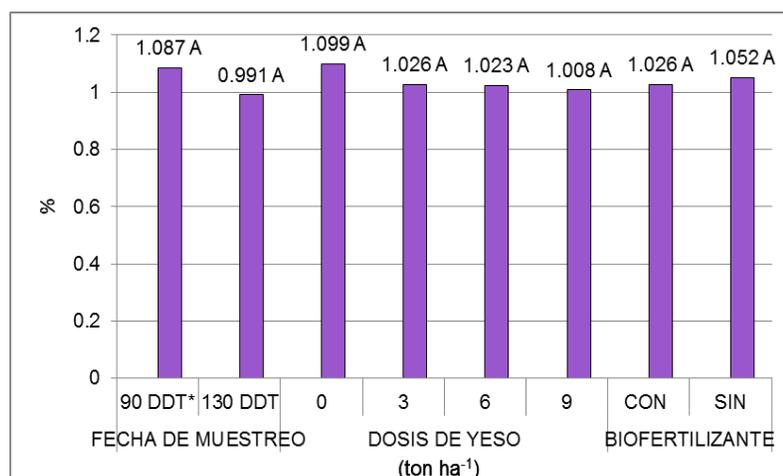
Respecto al contenido de calcio en raíces de chile, el análisis de varianza no muestra diferencia estadística entre los tratamientos con yeso (Do), la aplicación de biofertilizante (Bi), las diferentes fechas de muestreo ni la interacción entre ellas. (Cuadro 14).

Al realizar la prueba Tukey ($\alpha=0.05$) para en contenido de Ca en raíces de chile, no se observan diferencias significativas entre los factores (Figura 14). Sin embargo se observa un ligero incremento para fechas de muestreo con porcentajes de 1.087% y

0.991%, de la misma manera, para dosis de yeso los valores expuestos arrojan porcentajes de 1.099%, 1.026%, 1.023% y 1.008% para 0, 3, 6 y 9 ton ha⁻¹ respectivamente y para aplicación de biofertilizantes se ve un ligero incremento en el tratamiento sin biofertilizante.

Cuadro 14. Análisis de varianza respecto al contenido de Calcio (Ca) para los factores Fecha de muestreo, Aplicaciones de yeso y Biofertilizante en plantas de Chile.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	67086080.8	4472405.4	0.94	0.5421
Fechas de muestreo (FC)	1	7338155.99	7338155.99	1.55	0.2312
Dosis de yeso (Do)	3	3979767.32	1326589.11	0.28	0.839
Biofertilizante (Bi)	1	542327.28	542327.28	0.11	0.7395
Do*Bi	3	12830199	4276733	0.90	0.4614
Fc*Do	3	25501627.38	8500542.46	1.79	0.1888
FC*Do*Bi	4	16894003.77	4223500.94	0.89	0.4914
Error	16	75789123.6	4736820.2		
Total corregido	31	142875204.3			
CV	20.95403				
R- cuadrado	0.469543				
Raíz MSE	2176.424				
Media	10386.66				



*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 14. Prueba de medias Tukey ($\alpha=0.05$) respecto al contenido de Calcio (Ca) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

Al respecto, Jiménez (2011) muestra el contenido de Ca en hojas de plantas de chile del mismo estudio. Se reporta mas cantidad de Ca en el primer muestreo que en el segundo, así mismo para las dosis de yeso, se reporta una mayor cantidad de porcentaje de Ca en el tratamiento con 3 ton ha⁻¹ de yeso. Esto es posible gracias a que el calcio contenido en el yeso desplaza el sodio en los sitios de intercambio.

Contenido de Magnesio (Mg)

El análisis de varianza expuesto en el Cuadro 15, indica diferencias altamente significativas. Estas diferencias se debieron a causa de las fechas de muestreo (FC), a las dosis de yeso aplicados (Do) así como a las interacciones entre fechas de muestreo con dosis de yeso FC*Do.

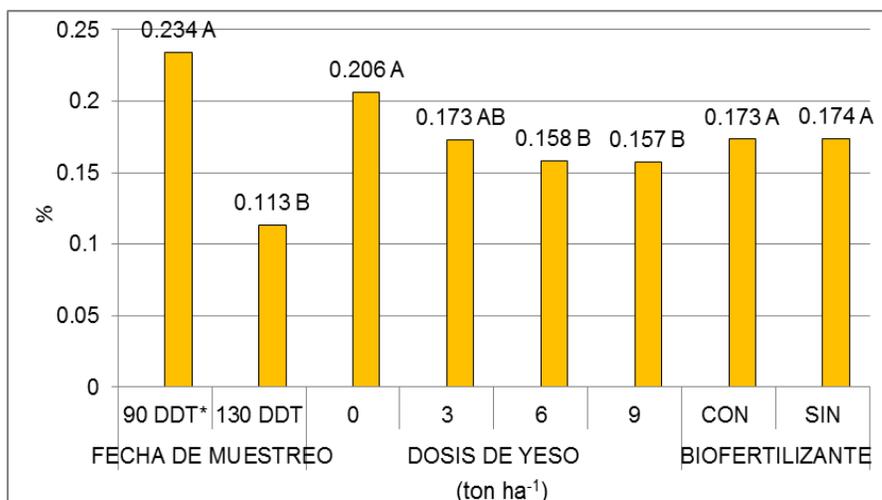
Cuadro 15. Análisis de varianza respecto al contenido de Magnesio (Mg) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de Chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	15428364.84	1028557.66	14.39	<.0001
Fechas de muestreo (FC)	1	11653222.95	11653222.95	163.07	<.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	1242799.78	414266.59	5.8	0.007**
Biofertilizante (Bi)	1	241.89	241.89	0	0.9543
Do*Bi	3	344462	114821	1.61	0.2271
Fc*Do	3	1807028.37	602342.79	8.43	0.001**
FC*Do*Bi	4	380609.63	95152.41	1.33	0.3009
Error	16	1143351.47	71459.47		
Total corregido	31	16571716.3			
CV	15.40237				
R- cuadrado	0.931006				
Raíz MSE	267.319				
Media	1735.571				

** Diferencia altamente significativa

En la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) mostrada en la Figura 15, se observa la formación de dos grupos en el factor fechas de muestreo, dos grupos en dosis de yeso y solo uno en los tratamientos con biofertilizante.

En el segundo muestreo (90 DDT), el contenido de Mg fue superior al contenido del tercer muestreo; los valores fueron de 0.234 y 0.113 % para los 90 y 130 días después del trasplante; con respecto a tratamientos con yeso la formación de grupos fueron dados por promedios de 0.206, 0.173, 0.158 y 0.157 % para 0, 3, 6 y 9 ton ha⁻¹ respectivamente y finalmente en los tratamientos con y sin biofertilizante no se observa la formación de grupos ya que en ambos los promedios fueron de 0.173 y 0.174% respectivamente.

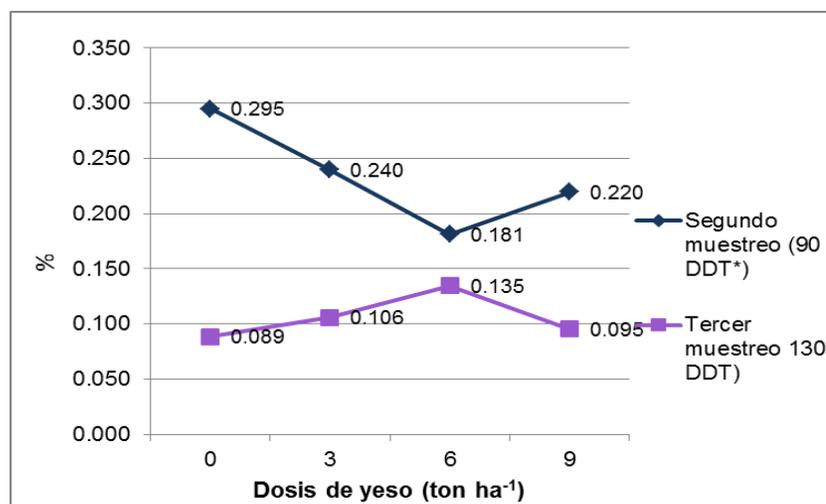


*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 15. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) respecto al contenido de Magnesio (Mg) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

En la Figura 16 se muestran las dos fechas de muestreo respecto a las aplicaciones de yeso, se observa como los contenidos de Mg decrecen de un muestreo a otro (90 y 130 DDT) afectándose hasta 0.089% en el tratamientos con 0 ton ha⁻¹ de yeso.



*DDT: días después del trasplante.

Figura 16. Contenido de Magnesio (Mg) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso

En la Figura 17, se observan los contenidos de Mg en los cuatro tratamientos con yeso, se observa una tendencia a la baja del contenido de Mg conforme aumentan las dosis de yeso.

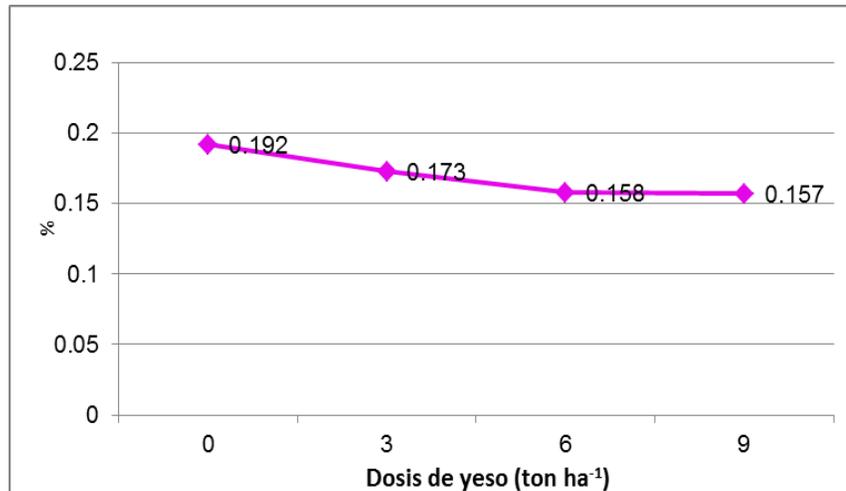


Figura 17. Contenido de Magnesio (Mg) en relación a 4 tratamientos con yeso.

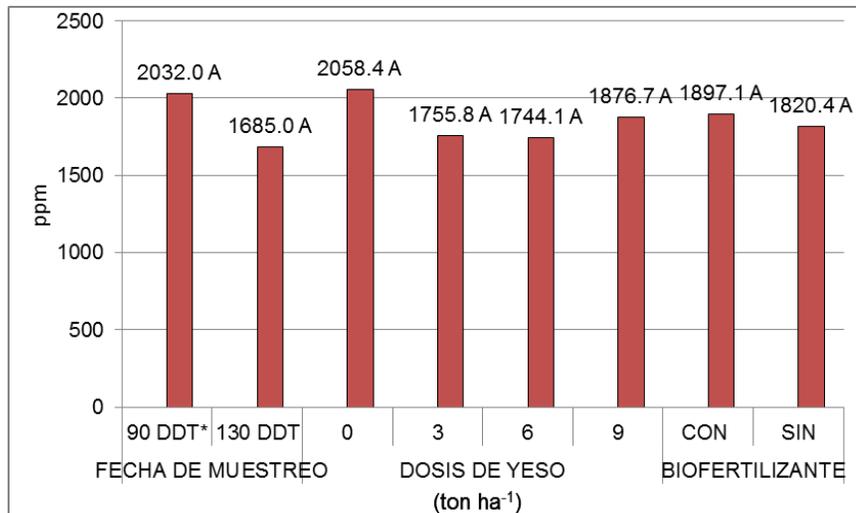
Contenido de Hierro (Fe)

El análisis de varianza expuesto en el Cuadro 16, indica que para el contenido de Fe en plantas de chile, no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos fechas de muestreo, dosis de yeso, aplicación de biofertilizantes ni en las interacciones entre ellas.

Cuadro 16. Análisis de varianza respecto al contenido de Hierro (Fe) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de Chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	7489210.26	499280.68	0.93	0.5558
Fechas de muestreo (FC)	1	960387.123	960387.123	1.78	0.2003
Dosis de yeso (Do)	3	511408.148	170469.383	0.32	0.8131
Biofertilizante (Bi)	1	46949.672	46949.672	0.09	0.7715
Do*Bi	3	1520482	506827	0.94	0.4438
Fc*Do	3	1575890.888	525296.96	0.98	0.4286
FC*Do*Bi	4	2874092.597	718523.149		
Error	16	8613302.5	538331.41	1.33	0.2999
Total corregido	31	16102512.76			
CV	39.4733				
R- cuadrado	0.465096				
Raíz MSE	733.7107				
Media	1858.749				

Aunque no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, los promedios en fechas de corte fueron ligeramente más altos en la primera fecha, así mismo en dosis de yeso se observó un mayor contenido de Fe en el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ y un ligero incremento de Fe en el tratamientos con biofertilizante (Figura 18).



*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 18. Prueba de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) respecto al contenido de Hierro (Fe) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

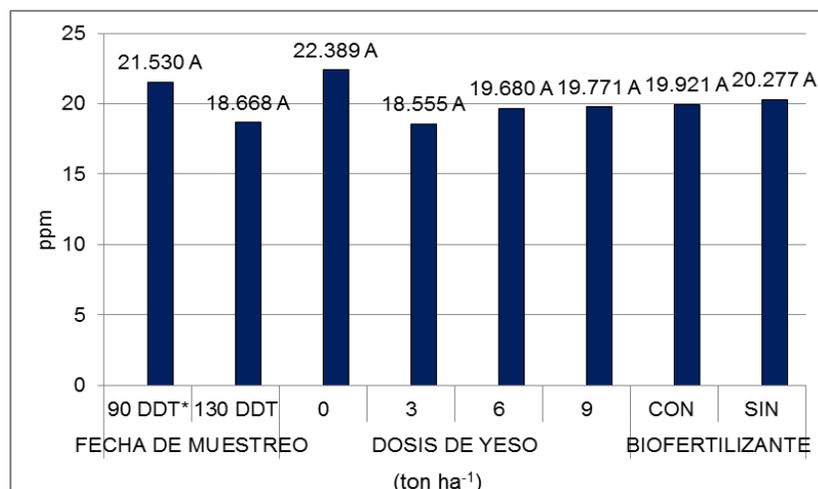
Contenido de Cobre (Cu)

En cuanto al contenido de cobre en plantas de chile, el Cuadro 17 muestra el análisis de varianza el cual se observa que no hay diferencias estadísticas entre los factores, fecha de muestro, tratamientos con yeso y aplicaciones de biofertilizantes; tampoco se muestra diferencia en las interacciones.

Cuadro 17. Análisis de varianza respecto al contenido de Cobre (Cu) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	798.50635	53.233757	1.34	0.2859
Fechas de muestreo (FC)	1	65.55125	65.55125	1.64	0.218
Dosis de yeso (Do)	3	63.278975	21.0929917	0.53	0.6686
Biofertilizante (Bi)	1	1.0153125	1.0153125	0.03	0.8752
Do*Bi	3	134.645613	44.881871	1.13	0.3681
Fc*Do	3	239.582975	79.8609917	2	0.1541
FC*Do*Bi	4	294.432225	73.6080562	1.85	0.1693
Error	16	637.7682	39.860512		
Total corregido	31	1436.27455			
CV		31.41249			
R- cuadrado		0.555957			
Raíz MSE		6.313518			
Media		20.09875			

La Figura 19 muestra los valores en cada uno de los factores estudiados. Como se mencionó anteriormente, no hubo diferencias estadísticas, en esta figura se puede observar un ligero incremento entre las fechas de muestreo, sobresaliendo con mayor contenido de Cu la segunda fecha de muestres (90 DDT) con 21.530 ppm y la aplicación de 0 ton ha⁻¹ de yeso.



*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 19. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) respecto al contenido de Cobre (Cu) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

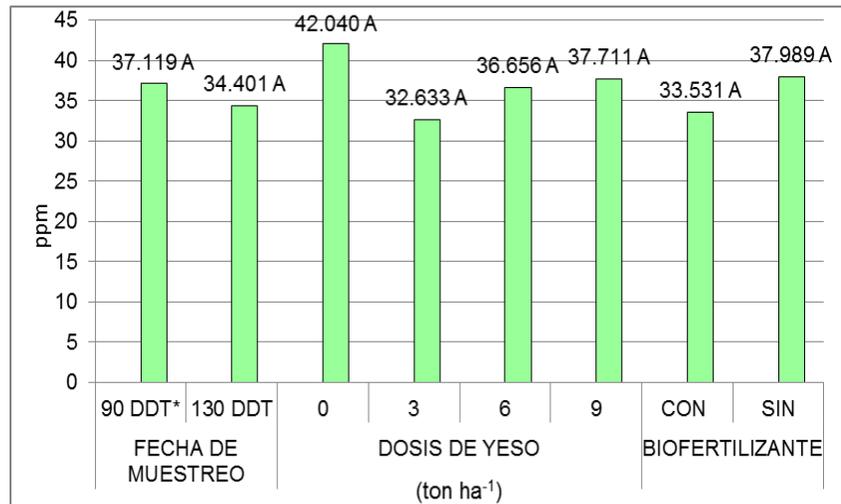
Contenido de Zinc (Zn)

En el Cuadro 18 se presenta el análisis de varianza para la variable contenido de Cu en raíces de plantas de chile. En fechas de muestreo, en dosis de yeso y en aplicaciones de biofertilizante no se reporta diferencia estadística entre tratamientos, tampoco hay diferencia significativa entre la interacción de los mismos.

La Figura 20 muestra las medias para el contenido de Zinc. Aunque no se observaron diferencias significativas, en fechas de muestreo a los 90 DDT se observa un ligero incremento en la acumulación de Zn; respecto a dosis de yeso el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ mostró una acumulación respecto a los otros tratamientos. De igual manera el tratamiento sin aplicación de biofertilizante obtuvo un promedio mayor aunque no significativo que el tratamiento con biofertilizante.

Cuadro 18. Análisis de varianza respecto al contenido de Zinc (Zn) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	2922.8348	194.85565	1.24	0.3383
Fechas de muestreo (FC)	1	59.07845	59.07845	0.38	0.5489
Dosis de yeso (Do)	3	531.322375	177.107458	1.12	0.3688
Biofertilizante (Bi)	1	159.043613	159.043613	1.01	0.33
Do*Bi	3	177.922562	59.307521	0.38	0.7712
Fc*Do	3	289.171125	96.390375	0.61	0.6171
FC*Do*Bi	4	1706.296675	426.574169	2.71	0.067
Error	16	2520.5784	157.53615		
Total corregido	31	5443.4132			
CV		35.09883			
R- cuadrado		0.536949			
Raíz MSE		12.55134			
Media		35.76			



*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 20. Prueba de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) respecto al contenido de Zinc (Zn) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

Contenido de Molibdeno (Mo)

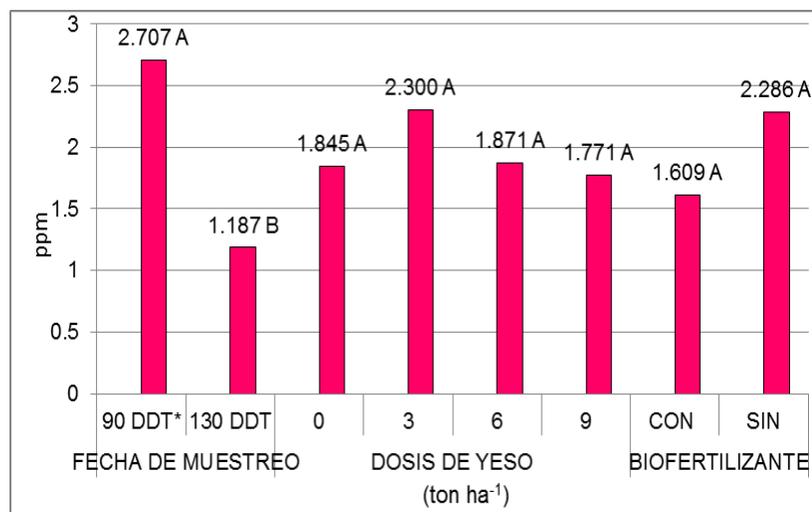
Con respecto al ANVA del análisis nutrimental en el sistema radical para plantas de chile los contenidos de Mo señalan una diferencia altamente significativa para fechas de muestreo, no siendo así para dosis de yeso ni para aplicación de biofertilizantes así como las interacciones entre ellas. El Cuadro 19 muestra los resultados.

Cuadro 19. Análisis de varianza respecto al contenido de Molibdeno (Mo) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de Chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	42.4938875	2.83292583	1.19	0.3632
Fechas de muestreo (FC)	1	18.4832	18.4832	7.79	0.0131**
Dosis de yeso (Do)	3	1.3731125	0.45770417	0.19	0.8996
Biofertilizante (Bi)	1	3.645	3.645	1.54	0.2329
Do*Bi	3	3.706575	1.235525	0.52	0.6739
Fc*Do	3	8.474425	2.82480833	1.19	0.3446
FC*Do*Bi	4	6.811575	1.70289375	0.72	0.5919
Error	16	37.942	2.371375		
Total corregido	31	80.4358875			
CV		79.09737			
R- cuadrado		0.528295			
Raíz MSE		1.539927			
Media		1.946875			

** Diferencia altamente significativa

El resultado de la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) indica que el contenido de Mo fue influenciado por las fechas de corte con 2.707 ppm y 1.187 ppm en 90 y 130 DDT, respecto a dosis de yeso aunque no hubo diferencia estadística los promedios indican una mayor cantidad de Mo en el tratamiento con 3 ton ha⁻¹; con respecto a aplicación de biofertilizantes la mayor cantidad del nutriente fue para el tratamiento sin biofertilizante. Figura 21.

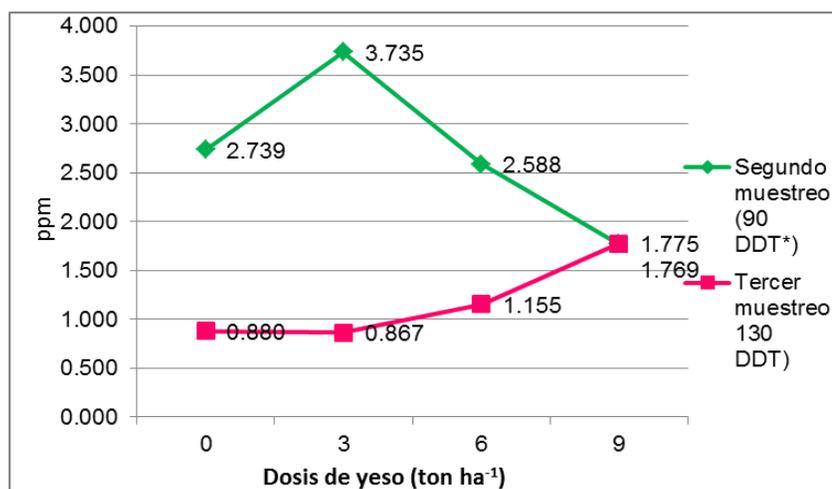


*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 21. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) respecto al contenido de Molibdeno (Mo) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

De las dos fechas de muestreo, en la segunda fecha (90 DDT) (Figura 22) se observa una mayor concentración de Mo en el tratamiento con 3 ton ha⁻¹ de yeso y la menor concentración se estableció en el tratamiento con 9 ton ha⁻¹. Para el tercer muestreo, la menor concentración la obtuvo el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ y la mayor concentración de Mo en raíces de chile se dio por el tratamiento que contenía 9 ton ha⁻¹.



*DDT: días después del trasplante.

Figura 22. Contenido de Molibdeno (Mo) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso

Contenido de Manganeso (Mn)

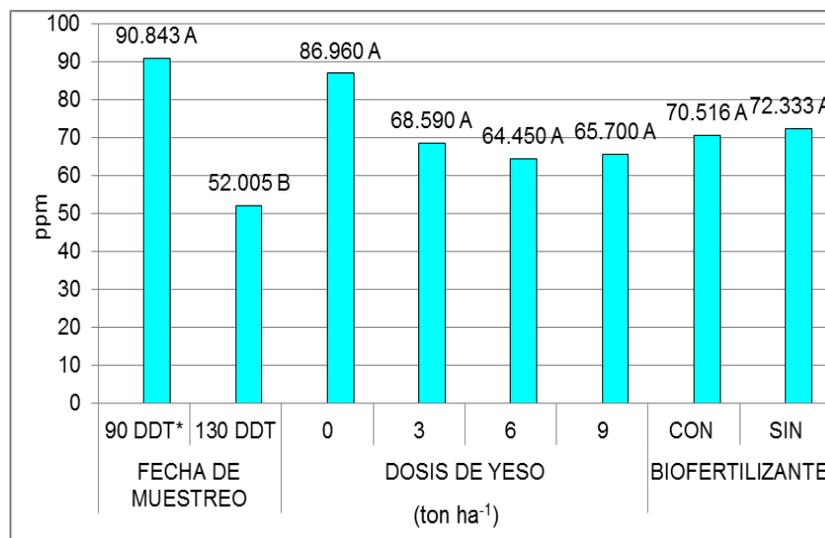
Como resultado del análisis de varianza (Cuadro 20) respecto al contenido de Mo, se reportan diferencias estadísticas altamente significativas. Esto debido a fechas de muestreo (90 y 130 DDT). Para las variables donde se evaluaron dosis de yeso y aplicación de biofertilizante no hubo diferencia estadística; tampoco la hubo para las interacciones de estas variables.

Cuadro 20. Análisis de varianza respecto al contenido de Manganeso (Mn) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de Chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	21125.66582	1408.37772	3.11	0.0154
Fechas de muestreo (FC)	1	12067.19963	12067.19963	26.64	<.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	2646.79908	882.26636	1.95	0.1627
Biofertilizante (Bi)	1	26.40828	26.40828	0.06	0.8123
Do*Bi	3	2935.883730	978.627910	2.16	0.1327
Fc*Do	3	2237.69643	745.89881	1.65	0.2184
FC*Do*Bi	4	1211.67866	302.91967	0.67	0.6231
Error	16	7248.73375	453.04586		
Total corregido	31	28374.39957			
CV	29.8007				
R- cuadrado	0.744533				
Raíz MSE	21.28487				
Media	71.42406				

** Diferencia altamente significativa

En la prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) mostrada en la Figura 23, se señalan las concentraciones de Zn en los diferentes factores estudiados; es así como en fechas de muestreo a los 90 DDT se observa la mayor concentración de Mo con 90.843 ppm con respecto a la segunda fecha con 52 ppm; en dosis de yeso y en aplicación de biofertilizante no se observó diferencia estadística significativa sin embargo se observó un ligero incremento en los contenidos de Mo, siendo el mayor concentración el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ de yeso y el tratamiento sin aplicación de biofertilizante con 86.960 y 72.333 ppm respectivamente.

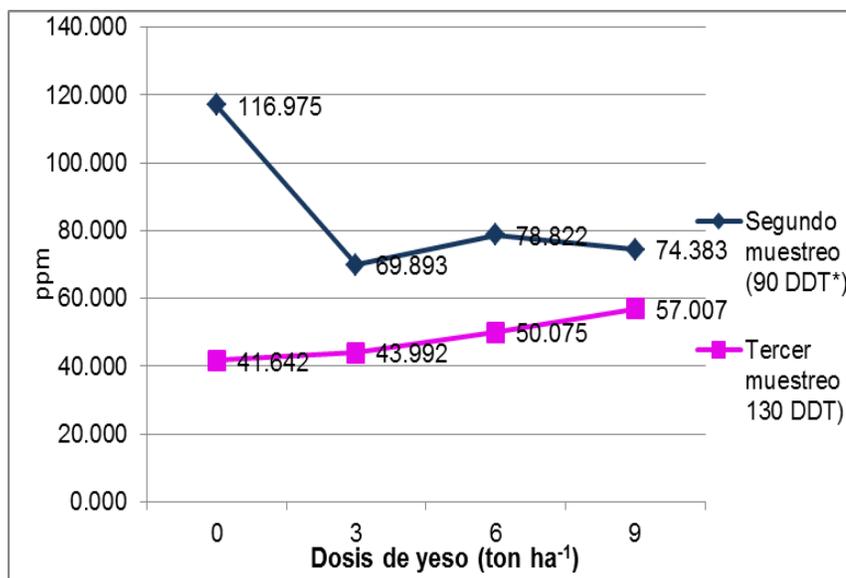


*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 23. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) respecto al contenido de Molibdeno (Mo) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

En el segundo muestreo como se mencionó anteriormente se concentró el mayor contenido de Mo en raíz de chile, el contenido mas grande se localizó en el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ y el mas bajo estuvo en el tratamiento con 3 ton ha⁻¹; para el tercer muestreo el mayor contenido de Mo estuvo en el tratamiento con 9 ton ha⁻¹ y la menor concentración de Mo en raíces de plantas de chile se localizó en el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ (Figura 24).



*DDT: días después del trasplante.

Figura 24. Contenido de Manganeso (Mn) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso

Contenido de Boro (B)

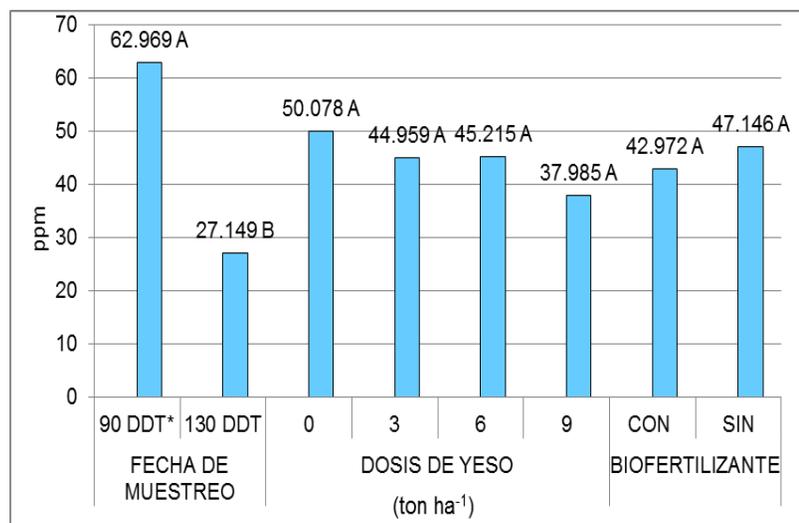
De acuerdo al ANVA para contenido de B en raíces de plantas de chile (Cuadro 21), se observan diferencias altamente significativas para la variable fecha de muestreo. Esta diferencia no se vio en los tratamientos con yeso, ni en la aplicación de biofertilizante así como tampoco en las interacciones estudiadas Do*Bi, Fc*Do y Fc*Do*Bi.

Cuadro 21. Análisis de varianza respecto al contenido de Boro (B) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	13106.65232	873.77682	5.54	0.0008
Fechas de muestreo (FC)	1	10264.9374	10264.9374	65.07	<.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	794.68163	264.89388	1.68	0.2114
Biofertilizante (Bi)	1	139.31978	139.31978	0.88	0.3613
Do*Bi	3	507.7	169.219690	1.07	0.3885
Fc*Do	3	1163.03531	387.67844	2.46	0.1004
FC*Do*Bi	4	237.01911	59.25478	0.38	0.8226
Error	16	2524.01575	157.7509		
Total corregido	31	15630.66807			
CV	27.87429				
R- cuadrado	0.838522				
Raíz MSE	12.5599				
Media	45.05906				

** Diferencia altamente significativa

La Figura 25 expone las comparaciones de medias Tukey ($\alpha=0.05$) donde el fechas de muestreo los promedios son 62.969 ppm y 27.149 ppm a los 90 y 130 DDT respectivamente. Con respecto a dosis de yeso y aplicación de biofertilizante no se observan diferencias estadísticas sin embargo sobresale un ligero incremento en el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ y en el tratamiento sin dosis de biofertilizante.

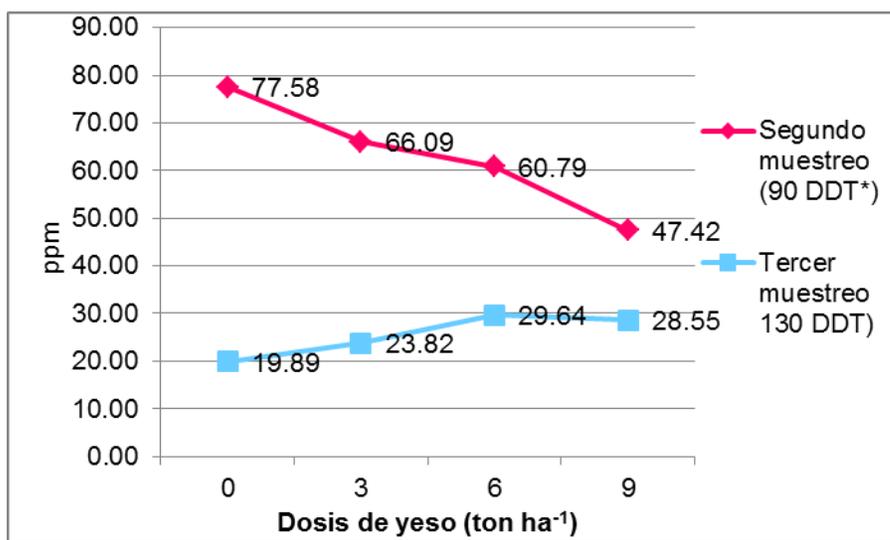


*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 25. Prueba de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) respecto al contenido de Boro (B) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

La Figura 26 expone las dos fechas de muestreo. En la segunda fecha una mayor concentración de B en raíces de chile se encuentra en el tratamiento con 0 ton ha⁻¹, la menor concentración está en el tratamiento con 9 ton ha⁻¹ con 77.58 ppm y 47.42 ppm respectivamente. En la tercera fecha la menor concentración se encuentra en el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ y la mayor concentración de B se encuentra en el tratamiento con 6 ton ha⁻¹.



*DDT: días después del trasplante.

Figura 26. Contenido de Boro (B) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso

Contenido de Sodio (Na)

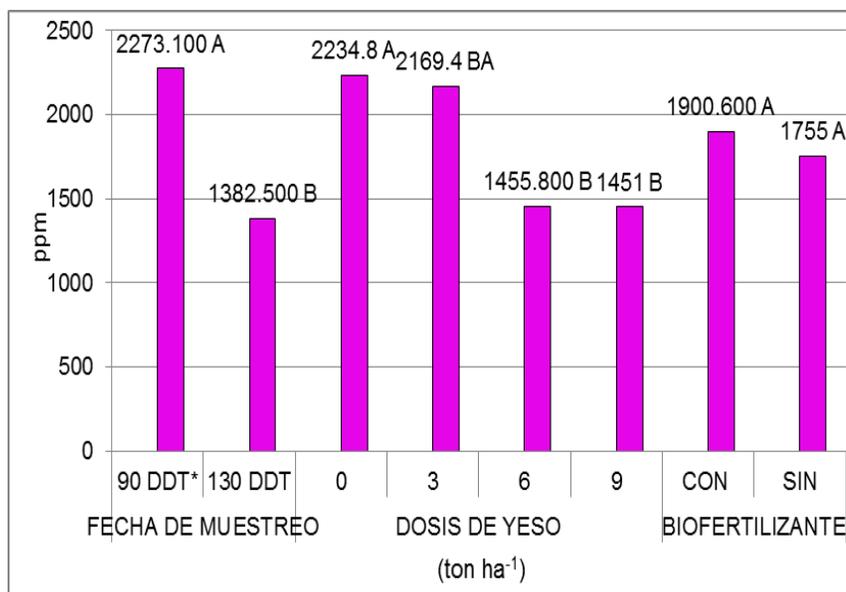
En el Cuadro 22 se reporta el ANVA para el contenido de Na en raíces de chile, se observa una diferencia altamente significativa para el factor fechas de corte y para las dosis de yeso aplicadas; no se mostró diferencias estadísticas para las aplicaciones de biofertilizante ni para las interacciones Do*Bi, Fc*Do, Fc*Do*Bi.

Cuadro 22. Análisis de varianza respecto al contenido de Sodio (Na) para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante en plantas de chile.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	15	15665763.04	1044384.2	4.08	0.0041
Fechas de muestreo (FC)	1	6345631.875	6345631.875	24.81	0.0001**
Dosis de yeso (Do)	3	4501152.503	1500384.168	5.87	0.0067**
Biofertilizante (Bi)	1	169557.026	169557.026	0.66	0.4275
Do*Bi	3	1089704.5	363234.821000	1.42	0.2736
Fc*Do	3	2466939.06	822313.02	3.22	0.05
FC*Do*Bi	4	1092778.114	273194.528	1.07	0.4044
Error	16	4092275.14	255767.2		
Total corregido	31	19758038.18			
CV	27.6696				
R- cuadrado	0.79288				
Raíz MSE	505.7343				
Media	1827.76				

** Diferencia altamente significativa

De acuerdo a Tukey ($\alpha= 0.05$) las mayores concentraciones de Na se observaron en la primera fecha de muestreo dada a los 90 DDT con 2273.1 ppm; en dosis de yeso la mayor concentración de Na en raíces de chile se concentró en el tratamiento que contenía 0 ton ha⁻¹ de yeso y la menor concentración de Na estuvo en el tratamiento con 9 ton ha⁻¹ de yeso aplicado, así mismo aunque no hubo diferencia estadística entre las aplicaciones con biofertilizante se observó un ligero incremento de Na en raíces que contenía biofertilizante que con las que no lo contenían (Figura 27).

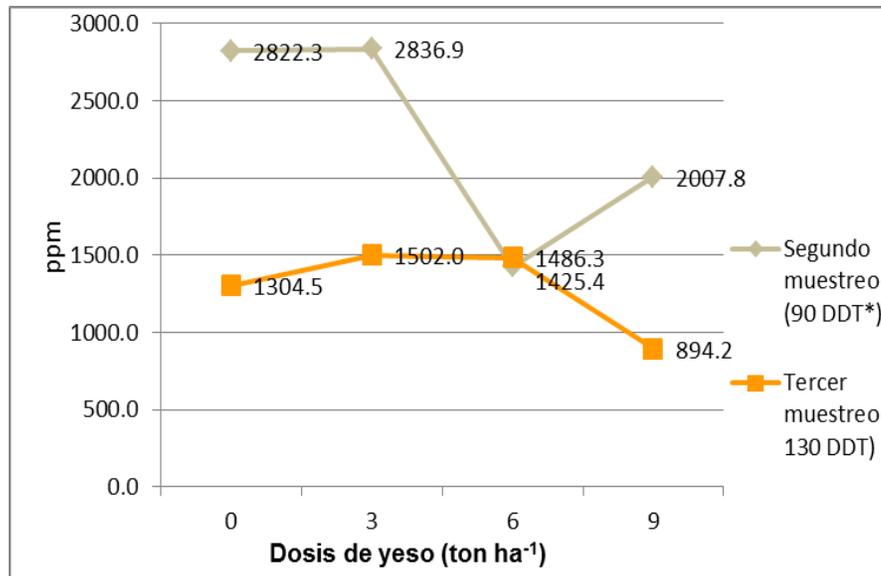


*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 27. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) respecto al contenido de Sodio (Na) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

En la Figura 28 se indican las concentraciones de Na en las dos fechas de muestreo. En el segundo muestreo la mayor concentración de Na en raíces de chile con respecto a dosis de yeso fue en el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ con 2822.3 ppm y la menor concentración con 1486.3 ppm estuvo en el tratamiento con 6 ton ha⁻¹ de yeso aplicado. En el tercer muestreo nuevamente la mayor concentración estuvo en los tratamientos que no recibieron yeso y la menor concentración en los tratamientos con 9 ton ha⁻¹ reportando 894.2 ppm de Na en raíces de chile.



*DDT: días después del trasplante.

Figura 28. Contenido de Sodio (Na) en raíces de plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo y 4 dosis de yeso

La Figura 29 muestra de manera general como se comportó el Na en raíces de plantas de chile con respecto a las dosis de yeso. Como se mencionó anteriormente el tratamiento sin aplicación de yeso, obtuvo la mayor concentración de Na en raíces de chile con una media de 2234.8 ppm con respecto al tratamiento con 9 ton ha⁻¹ que su concentración fue de 1451 ppm de Na.

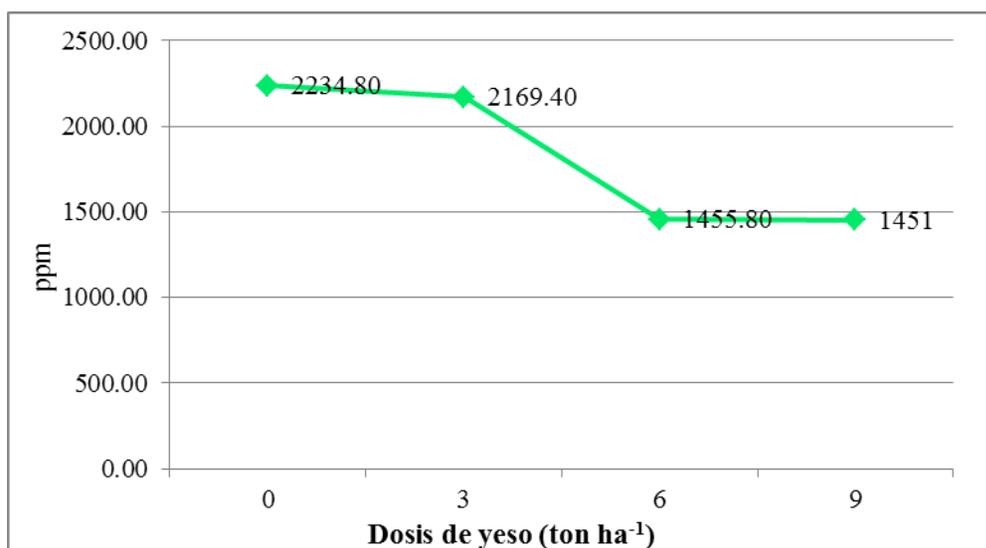


Figura 29. Contenido de Sodio (Na) en relación a 4 tratamientos con yeso.

Los niveles de suficiencia del Cuadro 13 están reportados en hojas de chiles, no hay información disponible respecto a la concentración de suficiencia en nutrientes de raíz de chile, así, de acuerdo con Jones *et al.* (1991), se encontró suficiencia óptima para Mn y B en las dos fechas de muestreo, los demás nutrientes, N, K, Ca, Mg, Cu, Zn y Mo mostraron un nivel bajo, excepto para Fe que la concentración fue alta.

De acuerdo con las graficas anteriormente presentadas, se observa una mayor cantidad nutrimental en raíces jóvenes de plantas de chile, aunque también hubo una mayor cantidad de Ca, Fe, Cu y Zn en la primera fecha que en la segunda, esta no fue diferente estadísticamente. Las concentraciones de nutrimentos para N, K, Mg, Mo, Mn y B fueron mas altas en la primera fecha de muestreo, lo que indica que la planta joven tenía mas concentración de nutrientes en raíz posiblemente antes que se traslocara a la parte aérea ya que para la segunda fecha estos macro y micronutrimentos mostraron marcadamente diferencias.

Azofeifa y Moreira (2005) indican en su trabajo con chiles que la concentración de los elementos nutritivos variaron con la edad de la planta, el evento fenológico que reguló esas fluctuaciones fue la fructificación dado que la planta absorbe y transloca la mayor cantidad de nutrimentos hacia los frutos en esta etapa, es asi como las plantas

acumulan el N, P, Mg, K y S en frutos y el Ca en la parte vegetativa más que en las raíces. Escalona y Pire (2008), mencionan en su trabajo respecto a la extracción de N, P, K en plantas de pimiento cultivado en suelos con abono orgánico, que la mayor concentración de N y K estuvo en las hojas (41.7 y 39.3 mg g⁻¹) y en cuanto a P se encontró en los frutos principalmente con 3.7 mg g⁻¹. Villa-Castorena et al. (2006), concluye en su trabajo sobre fertilización nitrogenada y salinidad de suelos en plantas de Chile que la absorción de nutrientes y la transpiración cambian con estos factores además de la edad de la planta. Nuez *et al.*, (1996) indican que los frutos de Chile exportan la mayor cantidad de N (64%) y P (75%) y a las hojas, tallos y peciolo Ca (95%) y Mg (75%)

Respecto a las aplicaciones de yeso agrícola no se reportan diferencias significativas entre los nutrimentos estudiados excepto para Mg, donde en el tratamiento 0 ton ha⁻¹ de yeso fue el que obtuvo la mayor concentración de este macronutriente y fue disminuyendo conforme aumentaban las dosis de yeso. Se esperaba que la cantidad de calcio incrementara con las aplicaciones de yeso, sin embargo este efecto no se observó. Viator *et al.* (2002), exponen en su trabajo sobre la aplicación de yeso y composta en caña de azúcar que la adición de yeso resultó en un incremento en las concentraciones de Ca, S, Mn y Zn en hojas, sin embargo los mismos autores explican que este mismo tratamiento no tuvo efecto en N, P, K, Mg, Cu y Fe.

En cuanto a la aplicación de biofertilizante de acuerdo a lo explicado en las gráficas anteriores, no se observó efecto en ningún nutriente sin embargo, se observó un ligero decremento con respecto a las raíces de plantas que no contenían biofertilizante; de 37.9ppm a 33.5 ppm en Zn; 2.28ppm a 1.60 ppm en Mo y 47.1ppm a 42.9ppm en B. También para el Na se observó un incremento en su concentración en raíces de Chile con biofertilizante que sin el.

En cuanto al Na, la Figura 27 muestra el efecto de los factores estudiados. A medida que las dosis de yeso aumentaban, la cantidad de Na bajaba en relación al testigo a 97%, 65% y 64% para 3, 6 y 9 ton ha⁻¹ respectivamente. Rucks *et al.*, (2004) menciona que cuando el complejo coloidal está saturado con una alta proporción de cationes de bajo potencial iónico, como el Sodio, la estructura es mala.

El sodio en exceso en el suelo deteriora la estructura y la porosidad, dificulta la infiltración del agua y la difusión del aire aunado a esto, eleva el pH impidiendo la absorción normal de nutrimentos como P, Cu, Fe, Zn, B y Mo aparte que condiciona la deficiencia de Ca y Mg (Zamolinski, 2000). En este estudio se conservó estable las concentraciones de los nutrimentos a excepción del Mg donde su concentración fue menor a medida que aumentaban las dosis de yeso.

Densidad aparente

El análisis de varianza realizado para densidad aparente arroja los datos mostrados en el Cuadro 23. Se observan diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos, esto debido a dosis de yeso y a la interacción entre fechas de corte y dosis de yeso. Para fechas de corte y aplicaciones de biofertilizante no se observó diferencia estadística, tampoco para las interacciones Do*Bi, Fc*Do*Bi.

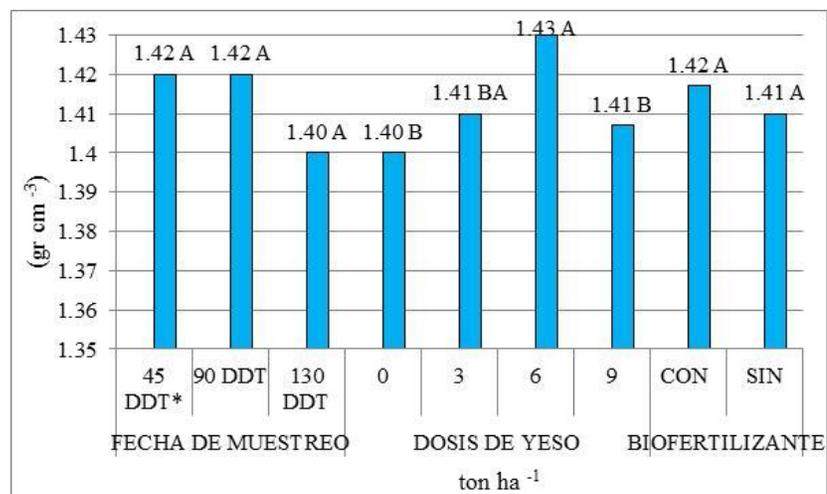
La prueba medias Tukey ($\alpha= 0.05$) mostrado en la Figura 30 expone los resultados obtenidos. Respecto a aplicaciones de biofertilizante y a fechas de muestreo no se observó diferencia estadística.

Sin embargo para aplicaciones de yeso se observa diferencia estadística; el valor mas alto estuvo dado por el tratamiento con 6 ton ha⁻¹ de yeso con 1.43 gr/cm⁻³ y el más bajo fue para el tratamiento con 0 ton ha⁻¹ con 1.40 gr cm⁻³.

Cuadro 23. Análisis de varianza respecto a densidad aparente en suelo con plantas de chile para los factores fecha de muestreo, aplicaciones de yeso y biofertilizante.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	23	0.036627	0.00159248	2.1	0.0384
Fechas de muestreo (FC)	2	0.0047405	0.00237025	3.13	0.062
Dosis de yeso (Do)	3	0.01100817	0.00366939	4.84	0.0089**
Biofertilizante (Bi)	1	0.00000033	0.00000033	0	0.9834
Do*Bi	6	0.0083868	0.0013978	1.85	0.13
Fc*Do	3	0.01022917	0.00340972	4.5	0.0121**
FC*Do*Bi	8	0.002262	0.00028275	0.37	0.9245
Error	24	0.01818	0.0007575		
Total corregido	47	0.054807			
CV	1.9420				
R- cuadrado	0.668291				
Raíz MSE	0.027523				
Media	1.41725				

**Diferencia altamente significativa



*DDT: días después del trasplante.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Figura 30. Prueba de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) respecto a la densidad aparente en suelos con plantas de chile a partir de 2 fechas de muestreo, 4 dosis de yeso y aplicación de biofertilizante.

Contrario a lo que se esperaba la densidad aparente subió su valor conforme aumentaban las dosis de yeso (Figura 30); esto pudo ser resultado de la manipulación del suelo durante todo el experimento.

Castellanos *et al.* (2000) menciona que la densidad aparente del suelo expresa el contenido de sólidos por unidad de volumen (gr cm⁻³) y que esta determinación debe realizarse en condiciones de campo en muestras inalteradas.

Flores y Alcalá (s/f) indican que la determinación densidad aparente por el método del cilindro no es apropiado en suelos roturados, agrietados, de textura muy suelta o con gran contenido de elementos gruesos, en este caso la modificación de esta propiedad física del suelo fue alterada desde el traslado.

En la Figura 31 se muestra la relación obtenida respecto a la densidad aparente y las dosis de yeso aplicadas. Como se mencionó anteriormente, el efecto no fue el que se esperaba, lo cual promueve la necesidad de realizar nuevamente la metodología esta vez sin alterar el suelo en estudio.

Respecto a la mejora de las condiciones físicas como lo es la densidad aparente con aplicaciones de yeso en diferentes suelos salinos, existen una gran diversidad de estudios

donde comprueban que la densidad aparente se ve afectada positivamente con aplicaciones de mejoradores como lo es el yeso agrícola. (Mon, 2007; Costa y Godz, 1999; Castellanos *et al.*, 2000; Hervé, *et al.*, 2002; Nielson y Sarudiansky, 2005; Ortiz, 2009).

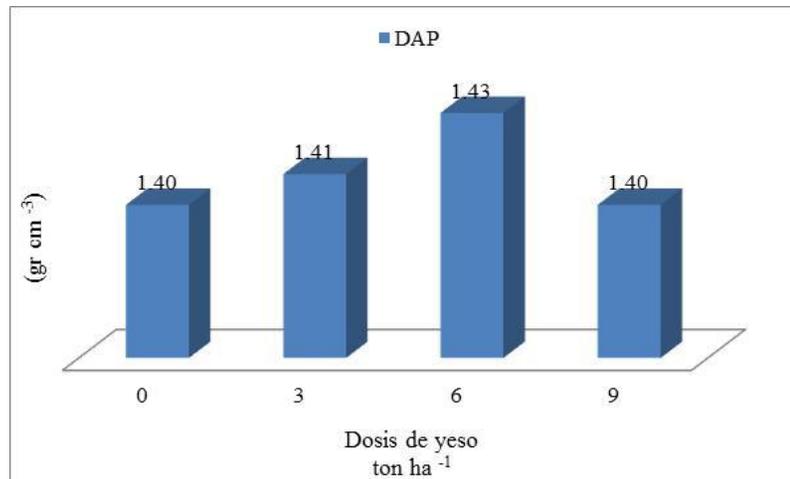


Figura 31. Densidad aparente con respecto a dosis de yeso en suelos con plantas de chile.

CONCLUSIONES

Las características de crecimiento radical se vieron afectadas por las fechas de muestreo, las plantas adultas tuvieron mejores características en cuanto a crecimiento radical.

El crecimiento radical se vio afectado por la aplicación del yeso; la longitud se incrementó conforme se incremento la dosis de yeso en todos los tratamientos con respecto al testigo, en biomasa y volumen radical no afectó las dosis de yeso.

Las aplicaciones de biofertilizante resultaron en una mayor longitud, biomasa y volumen de raíz que el testigo, sin embargo este no fue significativamente mayor, posiblemente por el método utilizado para extracción de raíces lo que impidió rescatar el mayor número de raíces y por tanto, analizar este factor. Por lo que se recomienda en futuras investigaciones tomar en cuenta este punto.

La aplicación de yeso afecto el contenido de Mg en el suelo, siendo mas alto en el testigo y con mayor evidencia en plantas jóvenes que en adultas. El N, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mo, Mn, y B no se vieron afectados por la aplicación de yeso y por la aplicación de biofertilizantes. El contenido de sodio se vio afectado por la aplicación de yeso; en comparación con el testigo disminuyo la concentración en raíces de chile en un 97%, 64% y 63% para 3, 6 y 9 ton ha⁻¹ respectivamente; lo que indica que el yeso desplaza los iones de sodio en el complejo de cambio.

La densidad aparente fue afectada significativamente por la adición de yeso, sin embargo el efecto no fue el que se esperaba; posiblemente se debió al manipuleo del suelo por lo que en futuros estudios se sugiere no manipular el suelo para observar resultados.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Durán, C.M.; Ocampo, B. D.; Cedillo-Portugal, E.; Nava-Gómez, L. M. 2007. Efecto del sulfato de calcio y biosólidos en el rendimiento del cultivo de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.) Investigación Agropecuaria. 2007. Volumen 4. p. 31-38
- Aguilera, M. C.; R. Martínez, E. 1996. Relaciones Agua Suelo Planta Atmosfera. Universidad Autónoma de Chapingo. Pp 42-56.
- Aguirre- Medina, J. F.; Irizar- Garza, M.B.; Durán-Prado, A.; Grajeda-Cabrera, O. A.; Peña- del Rio, M.A.; Loredó-Osti, C.; Gutierrez-Baeza, A. 2009. Los Biofertilizantes microbianos: una alternativa para la agricultura en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México, 86 p.
- Alarcón, A.; Ferrera-Cerrato, R. (Ed). 2000. Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Ed Mundi prensa. 251 P.
- Azofeifa, A.; Moreira, M. A. 2005. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) en la Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(1): 77-84. ISSN:0377-9424/2005.
- Benton Jones Jr., J.; Wolf, B.; Mills, H. A. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc. USA. 213 p.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. 1999. The nature and properties of soils. 12th ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 881 p.
- Castellanos J. Z.; J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Memoria del curso sobre interpretación de análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. Versión preliminar. 188 P.
- Costa, J.L.; P. Godz (1999). Aplicación de yeso a un natracuol del sudeste de la pampa deprimida. Ciencia del Suelo 17 (2) 1999. Pp 21-27.
- Domínguez, A. V. (1996). Fertirrigación. Editorial Mundi Prensa. Segunda Edición. 233 p.
- Escalona, A. y Pire, R. Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, estado Lara.

- Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2008, 25:243-260. [citado 19 Enero 2012]. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182008000200004&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-7818.
- Espinosa, J.; Molina, E. (1999). Acidéz y encalado de suelos. Primera Edición. International Plant Nutrition Institute. Pp. 36-38.
- Espinosa, R. M.; Ortiz, C. F. E.; Montes, G. N. 2001. Mejoradores del suelo y su efecto en la salinidad en áreas de temporal. VI Reunión Nacional de Innovación Agrícola. Memoria. P 16. ISBN: 978-607-425-583-6
- FAO. <<http://www.fao.org>> Fecha de consulta: julio 12, 2010.
- Ferrera-Cerrato, R.; A. Alarcón. 2004. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. Memoria Simposio de biofertilización. La Biofertilización como tecnología sostenible. INIFAP Campo experimental Rio Bravo, Tamaulipas, México. Pp1-9.
- Flassbender, H.W. and Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de américa latina. IICA. Segunda edición. San José Costa Rica. Pp 187-198.
- Flores, D. L.; Alcalá, J. R. Manual de procedimientos analíticos. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Departamento de edafología. [Fecha de consulta: 10 de enero de 2012]. Disponible en: <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manualLFS.pdf>
- Fortanelli, M. J. 1999. El suelo y los problemas de su uso en el estado de San Luis Potosí. Acta Científica Potosina 14 (1):66-84.
- Galindo, G. G. y Cabañas, C. B. 2006. El cultivo del chile en Zacatecas. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pesqueras. Campo experimental Zacatecas. Libro técnico No. 5.
- García-Gallegos E.; Gómez- Cruz, G.; Vázquez, G. O. 2009. Respuesta de *Cassia tomentosa* desarrollada en tepetate con inoculación micorrízica bajo condiciones de invernadero. Revista UDO Agrícola 9 (4): 816-825. 2009
- Hervé, D.; Ledezma, R.; Orsag, V. 2002. Limitantes y manejo de los suelos salinos y/a sódicos en el altiplano boliviano. IRD- CONDESAN. La paz. p. 59-64.

- INFORURAL, 2007. Estadísticas de producción en México y el mundo. Fecha de consulta: diciembre.2011.
http://www.inforural.com.mx/producto.php?&id_rubrique=17&id_article=7382
- Jiménez, S. J. 2011. Contenido nutrimental en chile ancho en respuesta a la aplicación de mejoradores en suelos salino-sódicos. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Tesis de maestría. Datos sin publicar
- Jordán, L. A. 2009. Manual de edafología. Universidad de Sevilla. Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola. P. 162-165
- Juárez, L. A. 1999. Diagnóstico de la calidad de suelo y agua en zonas con problemas de sales en San Luis Potosí. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 109 P.
- Longo, A.; Ferrato, J.; Mondino, M.C.; Grasso, R. (2005). Incorporación de Azufre y yeso en suelo salino-sódico: su efecto sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. Revista FAVE- Ciencias Agrarias 4(1-2)2005. Pp. 31-36
- Loredo, O. C. 1994. Efecto de la reforestación en el control de la erosión hídrica. Tesis de maestría. UAAN.
- Maas, E. V. 1996. Plant response to soil salinity. Aust. J. Soil & Water Cons. 9(3):25-28.
- Manjarrez-Martínez, M. J.; Ferrera-Cerrato, R.; González-Chávez, M.C. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. Terra latinoamericana. Vol. 17 No. 1, 1999.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. 889 pp. London: Academic Press. On line [<http://fitonutricion.awardspace.biz/index.php>]
<http://faostat.fao.org/> (fecha de consulta Agosto, 2011).
- Martínez- Gamiño, M. A., 2002. El cultivo del chile guajillo con ferti-irrigación en el Altiplano Potosino de San Luis Potosí. S.L.P., México. Folleto Técnico 12p.
- Martínez, L. K. (2009). La biofertilización en el desarrollo, contenido de nutrimentos y rendimiento de chile mirasol (*Capsicum annum* L.)
- Martínez-Gamiño, M.A.; Walthall, P.M. (2000). Cambios morfológicos durante el encostramiento de la superficie en suelos de México y Louisiana. Terra

- Latinoamericana. Vol. 18 No. 3. Universidad Autónoma de Chapingo. Pp 186-197.
- Melo, H. Y. P. 2011. Respuesta de la inoculación de micorrizas en plántulas de aguacate *Persea americana* Mill variedad Hass en diferentes sustratos. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Maestría.
- Mon, R. (2007). Ampliación del perfil de suelos erosionados y compactados mediante subsolado con enmienda cálcica profunda. Tesis Doctoral. Universidade da Coruña. P 25-30, 154-156.
- Nielson, H.; R. Sarudiansky. Eds. 2005. Minerales para la agricultura en Latinoamérica. Capítulo VI pp 427-574
- Nolasco, S. A. 1987. Aplicación de yeso y láminas de lavado en un experimento en columnas de suelos sódicos y salino-sódicos. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Tesis de licenciatura. 162 p. [fecha de consulta: 19 de enero de 2012] Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CAMSLP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000080>].
- Nuez, V. F. R.; Gil, O. J.; Costa, G. 1996. El cultivo de pimientos chiles y ajíes. Ed. Mundi prensa. Cap 2.
- Núñez, J. S. (2000). Fundamentos de edafología. Tercera reimpresión de la segunda edición. Costa Rica, EUNED 188 p.
- Ortíz, C. F. (2009). Desertificación, sodificación y rehabilitación de un área productora de hortalizas en el ejido Mixquic, Tláhuac, Distrito Federal. Tesis de Maestría. Universidad autónoma Metropolitana.
- Porta, C. J.; López- Acevedo, M. y Roquero de Laburu, C. 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ed. Mundi prensa 3ª edición. 929 P.
- Porta, J.C.; López-Acevedo, M.; Ponch, R. M. 2008. Introducción a la edafología. Uso y protección del suelo. Ed. Mundi-Prensa. 239-251
- Richards, L. A. (Ed). 1974. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. LIMUSA. Mexico. 172 P.
- Rodríguez, F. H.; J. Rodríguez, A. 2002. Métodos de Análisis de Suelos y Plantas. Criterios de Interpretación. Ed. Trillas. p. 40. Román-García, F. 2003.

- Concentración de reguladores del crecimiento vegetal inducida por hongos endomicorrizicos en dos cultivares de chile (*Capsicum annuum* L). Universidad de Colima, Facultad de ciencias biológicas y agropecuaria. Tesis de Doctorado.
- Román-García, F., J. Farias L. y P. Yahuaca-Mendoza. 2001. Influencia de la colonización micorrízica en diferentes etapas del crecimiento y desarrollo de plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) 5^{as} Jornadas de Investigación. 25 al 29 junio de 2001. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México. Pp 1-15.
- Ruck, L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce de León, J.; Hill, M. (2005) Propiedades físicas del suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, p. 14.
- Saeed, R. and Ahmad, R. 2009. Vegetative growth and yield of tomato as affected by the application of organic mulch and gypsum under saline rhizosphere. Pak. J. Bot., 41(6): 3093-3105, 2009.
- SAGARPA. Fecha de consulta noviembre 2011. http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Publicaciones/SistemaProducto/Lists/Chile/Attachments/11/pr_slp.pdf
- Salisbury, F. B.; Ross, C. W. 1994. Fisiología vegetal. Grupo editorial iberoamericana. Pp 140-175.
- SAS, 1989. SAS/STAT Users Guide. Release 6.12 ed. Statical Analysis System Institute, Inc., Cary, N.C.
- Shokri, S. and Maadi, B. 2009. Effects of arbuscular Mycorrhizal Fungus on the Mineral Nutrition and Yield of *Trifolium alexandrinum* Plants under salinity Stress. Journal of Agronomy 8(2) 79-83, 2009. ISSN 1812-5379.
- SIAP, 2011. Un panorama del cultivo del chile. Fecha de consulta noviembre, 2011. (on line) <http://www.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografia-chile.pdf>.
- Sorensen R. B. and Butts, C. L. 2008. Pod Yield and Mineral Concentration of Four Peanut Cultivars Following Gypsum Application with Subsurface Drip Irrigation. Peanut Science (2008) 35:86–91

- Tapia, G. J. J. 1999. Caracterización de algunas propiedades físico-químicas de los suelos irrigados con aguas medianamente salinas, en el predio de “San Antonio” ejido de palmar primero, municipio de Mexquitic de Carmona, S.L.P. Tesis Profesional de Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 108 P.
- Tapia-Goné, J. J.; Ferrera-Cerrato, R.; Varela-Fregoso, L.; Rodríguez-Ortiz, J.C.; Soria-Colunga, J.C.; Tiscareño-Iracheta, M.A.; Loredó-Osti, C.; Alcalá-Jáuregui, J.; Villar-Morales, C. Infectividad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos salinos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) Revista Mexicana de Micología [en línea] 2010, 31 (Sin mes): [fecha de consulta: 17 de noviembre de 2011] Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=88316010010>> ISSN 0187-3180
- Viator, R. P.; Kovar, J. L. and Hallmark, W. B. Gypsum and Compost Effects on Sugarcane Root Growth, Yield, and Plant Nutrients. *Agronomy Journal*, vol. 94, november–december 2002. Pp 1332-1336.
- Villa-Castorena, M.; Catalán-Valencia, E. A.; Inzunza-Ibarra, M. A.; Sánchez-Cohen, I. La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrimentos en plantas de chile. *Terra Latinoamericana* [en línea] 2006, 24 (Julio-Septiembre): [fecha de consulta: 19 de enero de 2012] Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311103011>> ISSN 1870-9982
- Villanueva, B. O.; Ortiz Solorio, C.A. 1987. Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo 7ª Edición. 365 P.
- Villanueva, D. J.; A. Hernández, R. 2001. Calidad del agua en tres áreas de San Luis Potosí y su efecto en la producción de cultivos. Folleto técnico No. 13. 26 P.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed Mundi Prensa. Pp. 710-848
- Zamolinsky, A. F. (2000). Experiencia en recuperación en suelos salinizados. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Publicación Técnica No. 31. 14 p.