



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

**Rehabilitación de un suelo salino sódico con enmiendas
orgánicas y su efecto en el desarrollo del zempasúchil
(*Tagetes erecta* L.) en Tláhuac, D. F.**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)**

PRESENTA

MARTHA ELBA GONZÁLEZ SALGADO

DIRECTORA DE TESIS: DRA. NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERÓN
UMDI-J, Facultad de Ciencias, UNAM

México, D. F. junio de 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
Ecología y manejo integral de ecosistemas

**Rehabilitación de un suelo salino sódico con enmiendas
orgánicas y su efecto en el desarrollo del zempasúchil
(*Tagetes erecta* L.) en Tláhuac, D. F.**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)**

PRESENTA

MARTHA ELBA GONZÁLEZ SALGADO

TUTORA: Dra. NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERON
UMDI-J, Facultad de Ciencias, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. DAVID FLORES ROMÁN
Instituto de Geología, UNAM

México, D. F. junio de 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas por la autorización y apoyo en mi desarrollo profesional.

A la Dirección General del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México DGAPA, UNAM, por el apoyo profesional para las dos estancias en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Madrid, España,

con el

Al Dr. Gonzalo Almendros Martín por el apoyo y dirección en el manejo de las sustancias húmicas en el Centro de Ciencias Ambientales en el laboratorio del (CSIC). Madrid, España.

Al Comité tutorial

A la Dra. Norma Eugenia García Calderón por su dirección en la estructura y desarrollo de la investigación. Facultad de Ciencias Juriquilla. Querétaro. UNAM.

Al Dr. David Flores Román por su orientación en el desarrollo de la investigación. Instituto de Geología.

Al Dr. Nicolás Aguilera Herrera † por su iniciativa e incentivos para encaminarme profesionalmente.

Dr. Alfredo Echegaray Alemán † por su apoyo en los inicios de la investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por apoyar mi desarrollo profesional.

Al M en C José Antonio Flores Díaz por la perseverante y comprometida asesoría para la validación estadística. Departamento de Matemáticas de la Facultad de Ciencias.

A la Dra. Pilar Alonso Reyes por su asesoría en la validación estadística. Departamento de Matemáticas de la Facultad de Ciencias.

A la Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza por su apoyo en la revisión del manuscrito de la investigación en el Laboratorio de Edafología “Nicolás Aguilera” UNAM.

A la Dra. Tere Reyna Trujillo por su valiosa amistad y apoyo profesional. Instituto de Geografía, UNAM.

Al Dr. Manuel Ortega por sus orientaciones sobre el origen de los procesos salinos. Departamento de Hidrociencias. Colegio de Posgraduados, Chapingo.

A la Dra. Christina Siebe por sus orientaciones sobre los procesos del área de estudio. Instituto de Geología.

A la M en C M^a del Socorro Galicia Palacios por su apoyo en el análisis de las sustancias húmicas. Laboratorio de Edafología “Nicolás Aguilera” UNAM.

A la M. en C. Elizabeth Fuentes Romero por su apoyo en la revisión del manuscrito de la Tesis. Facultad de Ciencias Juriquilla. Querétaro. UNAM.

DEDICATORIA

A mis papás

Sr. Rafael González Ramírez y Sra. Carmen Salgado Fonseca

Por su amor, fortaleza, entrega, orientación y entendimiento.

A mis hijos

Rodrigo Salvador y Alfonso Santiago López González

Por su confianza, comprensión y entendimiento.

ÍNDICE

	Páginas
FIGURAS	
CUADROS	
Capítulo 1. Resumen	1
Capítulo 2. Introducción	7
Capítulo 3. Objetivos	10
Objetivos particulares	11
Justificación	
Hipótesis	
Capítulo 4. Antecedentes	12
4.1.1 Origen de las sales.	12
4.1.2 Las reacciones que predominan en la formación de carbonatos	14
4.1.3 Procesos que originan suelos salinos	14
4.1.4. Comportamiento de las sales en el suelo	17
4.1.5 Distribución de tipos de intemperismo en depresiones salinas	17
4.1.6 La salinización sódica en los suelos tropicales	18
4.1.7 La fracción de arcilla montmorillonita acumulada en el paisaje de la montaña	18
4.1.8 Distribución de los sedimentos y acumulación de sales en cuencas endorreicas en el paisaje	19
4.2.1 Suelos salinos, sódicos y salino sódicos	22
4.3.1 Problemas de los suelos afectados	24
4.4.1 Zona de chinampas	24
4.4.2 Resumiendo, en las chinampas las sales se han acumulado por varios Procesos	26
4.4.3 Rehabilitación	26
4.4.4 Propuesta	26
4.5.1 Mecanismos que desarrollan las plantas para adaptarse a la salinidad del suelo	27
4.5.2 Otros mecanismos explican la capacidad de las especies vegetales para tolerar el exceso de sales	27
4.5.3 Las especies se agrupan en:	29
4.6.1 Selectividad de cationes y aniones por las plantas	31
4.7.1 Efectos de la salinidad	32
4.8.1 Efectos de los iones que contribuyen a la sodicidad	33

4.9.1	Características e importancia del zempasúchil	34
4.9.2	Importancia de los colorantes	38
4.10.1	Germinación del zempasúchil	38
4.11.1	Materia orgánica	39
4.11.2	Transformaciones de la MO distribución y función en el suelo	40
4.11.3	Efectos de las enmiendas en el suelo	40
4.12.1	Composta y su función	41
4.12.2	Sustancias húmicas	41
4.12.3	El origen y la formación de las sustancias húmicas	42
4.12.4	Fraccionamiento basado en características de solubilidad	43
4.12.5	Efectos de los ácidos húmicos	43
4.12.6	Mejorador ácido láctico	45
	Caracterización de las enmiendas	48
4.13.1	Mineralización del carbono	48
4.13.2	Coagulación de sustancias húmicas por polielectrolitos	48
4.13.3	Ultravioleta y visible	49
4.13.4	La relación E_4/E_6	50
4.13.5	Espectro de AHs y AFs	51
4.13.6	Espectroscopia de las sustancias húmicas	52
4.13.7	Infrarrojo	52
Capítulo 5.	Metodología	54
5.1.	Ubicación	54
	Diagrama de la investigación	57
5.2.	Descripción del perfil	58
5.3.	Análisis físicos, químicos del suelo y de las enmiendas	58
5.4.	Determinación del contenido de carbono total	58
5.5.	Enmienda composta	59
5.6.	Proceso de composteo	
5.7.	Mineralización del carbono de los suelos	61
5.8.	Caracterización de los ácidos húmicos	61
5.9.	Extracción de ácidos húmicos de la composta	61
5.10.	Germinación del zempasúchil	62
5.11.	Dosis de los mejoradores	63
5.12.	Umbral de coagulación	63
5.13.	Espectroscopía visible	64
5.14.	Purificación de los ácidos húmicos	64
5.15.	Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	65
5.16.	Electroforesis de los ácidos húmicos	65
5.17.	Experimento de Invernadero	66
5.18.	Unidades experimentales	68
5.19.	Análisis de cationes y aniones después del cultivo en suelo y en planta. Determinación de parámetros diagnóstico.	69
5.20.	Determinación de cenizas totales. Método (Arkeley, 1960).	69

5.21.	Experimento en Campo	70
5.22.	VARIABLES DE RESPUESTA DEL CULTIVO EN CAMPO	72
5.23	Significancia	72
Capítulo 6. Resultados		75
6.1.1	Descripción del perfil del suelo de Tláhuac	75
6.1.2	Características físicas del suelo	76
6.1.3	Características químicas del suelo	79
6.2.1	Enmiendas. Caracterización y efectos de mejoramiento en el suelo	82
6.2.2.	Lámina de lavado	83
6.2.3	Caracterización de la composta y de las sustancias húmicas del suelo	85
6.2.4	Umbral de coagulación	85
6.2.5	Espectroscopía visible. Propiedades ópticas de la composta y del suelo (E_4/E_6)	86
6.3.1	Invernadero. Resultados químicos de las unidades experimentales	86
6.3.2	Experimento de invernadero. Germinación	89
6.3.3	Los resultados del desarrollo del zempasúchil en invernadero	90
6.4. 1	Cationes y aniones en las plantas de invernadero	93
6.5.1	Campo. Valoración de los cationes y aniones de las plantas en campo	95
6.5.2	Valoración comparativa de los cationes, aniones, inicial y final en campo	98
6.5.3	Comparación cationes intercambiables	99
6.6.1	Mineralización del C de los suelos	102
6.6.2	Caracterización. Espectroscopía visible	103
6.6.3	Espectroscopía IR	103
6.6.4	Electroforesis	104
6.7.1	Resultados. Análisis estadístico del efecto de las enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico en invernadero.	105
6.8.1	Efecto de las enmiendas	108
6.8.2	Efecto de los ácidos húmicos	113
6.8.3	Efecto de la composta	113
6.8.4	Efecto del ácido láctico	115
6.8.5	Composta-ácido láctico	116
6.8.6	Ácidos húmicos-composta	117
6.8.7	Ácidos húmicos-ácido láctico	118
6.8.8	Triple combinación ácidos húmicos-composta-ácido láctico	119
6.9.1	Resultados del análisis estadístico del efecto de las enmiendas en las variables de respuesta en la cosecha del zempasúchil del experimento en campo.	120
6.9.2	Pruebas canónicas. Significancia de los mejores tratamientos	122
6.9.3	El análisis estadístico comparativo en campo	124
6.10.1.	Rendimiento del experimento	129
Capítulo 7. Discusión		130
7.1	Génesis del suelo	130
7.2	Caracterización física y química del suelo	132

7.3	Mejoramiento del suelo lavado y aplicación de enmiendas	135
7.4	Caracterización del suelo y de la composta	148
7.5	Productividad en el suelo de chinampa en invernadero y en campo	152
7.6	Valoración comparativa de cationes y aniones, inicial y final en campo	156
7.7	Rendimiento del cempasúchil en la investigación	159
Capítulo 8. Conclusiones		160
	Recomendaciones	161
Capítulo 9. Literatura citada		162
ANEXOS (10)		177

FIGURAS

Antecedentes

1. Estructura del sistema de la vejiga de los posibles sitios de transporte activo de Cl⁻.
2. *Tagetes erecta* L. Diseño gráfico.
3. La luteína derivado dihidroxilado del α -caroteno, es una xantófila, pigmento amarillo presente en plantas, algas, bacterias fotosintéticas y en la yema del huevo.

Metodología

4. Localización del sitio experimental Chinampería de Tláhuac, DF, México (↘). 600×600 píxeles. INEGI, 2011.
- 5a. Aspecto del paisaje en el suelo salino-sódico de Tláhuac antes de aplicar las enmiendas: AHs, composta, mejorador orgánico (ácido láctico) y el lavado.
- 5b. Costras salinas blancas del suelo de Santa Cecilia, Tláhuac D. F.
6. Diagrama investigación. Rehabilitación de un suelo salino sódico con enmiendas orgánicas y su efecto en el desarrollo del zempasúchil (*Tagetes erecta* L.) en Tláhuac, D. F.
7. Canal de riego antrópico del área de estudio.
- 8a. Inicio del proceso de transformación.
- 8b. Remoción de la MO.
- 9a. Humedecimiento.
- 9b. Actividad microbiana con emisión de vapor de H₂O.
- 9c y d. El proceso de composteo transformación de la MO a partículas de menor tamaño como producto de la fase termófila que alcanzó hasta a 80 °C.
10. *Tagetes erecta* L. Semilla de zempasúchil criolla (Escala real 1 cm).
11. Técnica agrícola de chapines de 3x3 cm con 4 semillas de *Tagetes erecta* L.
12. Desarrollo de las plantas de *Tagetes erecta* L. del tratamiento testigo en contraste con el tratamiento 16-H2C1M0.

Resultados

13. Perfil de Tláhuac
14. Propiedades físicas de los suelos
15. Propiedades químicas de chinampa, Tláhuac
16. Relación del contenido de COS con (a) pH y (b) CIC
17. Relación del contenido de COS y arcillas
18. La CE en las pruebas preliminares de las pastas de saturación
19. El pH de las pruebas preliminares de las pastas de saturación
20. Contenido de cationes solubles en el extracto de pastas de saturación con ácido láctico
21. Curva de las propiedades ópticas de los ácidos húmicos
22. Desviaciones estándar en las pastas de saturación, CE, pH cationes y aniones.
23. Germinación de zempasúchil sin aplicación de ácido láctico
24. Germinación del zempasúchil con aplicación del ácido láctico en invernadero
25. Disminución de cationes intercambiables
26. Comparación de Na⁺ Intercambiable inicial con final; p=0.004532
27. Comparativo del RAS inicial y final con una p=0.008118

28. Curvas de producción de CO₂ en suelo control (testigo) y suelos tratados con las enmiendas
29. Espectros de infrarrojo de los ácidos húmicos, se muestra el espectro mejorado en la parte inferior de cada uno
30. Electroforegramas de los ácidos húmicos extraídos de los suelos sometidos a distintos tratamientos
- 31 a y b. Análisis del efecto de las mejores combinaciones de las enmiendas en las variables peso flor y diámetro con barras verticales
- 32 a y b. Análisis del efecto de las mejores combinaciones de las enmiendas en las variables número de flores y número de ramas con barras verticales
33. Suma del efecto de las enmiendas en las variables de respuesta
34. Efecto de ácidos húmicos con 0.95 de intervalos de confianza (barras verticales) con $p=0.00964$
35. Efecto de la composta en el número de flores con 0.95 de intervalos de confianza y $p=0.04812$
36. Efecto de la composta en el número de botones con 0.95 de intervalos de confianza y $p=0.06010$
37. Efectos de la composta de la dosis C2 en las variables de respuesta con 0.95 de intervalos de confianza y una $p=0.03674$
38. Efecto de la dosis C2 con un intervalo de confianza de 0.95 y una $p=0.03779$
39. Efecto significativo del ácido láctico en dos variables de respuesta con 0.95 de intervalos de confianza y una $p=0.00129$
40. Efecto del ácido láctico con 0.95 intervalos de confianza (barras verticales con una $p=0.00287$
41. Doble combinación de enmiendas en número de flores con barras verticales con intervalo de confianza 0-95 y una $p=0.3865$
42. Doble combinación de enmiendas en grosor de tallo con barras verticales, intervalo de confianza 0.95 y una $p=0.03865$
43. Triple interacción ácidos húmicos-composta-ácido láctico en número de flores con barras verticales, intervalo de confianza de 0.95 y una $p=0.01724$
44. Triple interacción ácidos húmicos-composta-ácido láctico en diámetro con barras verticales, intervalo de confianza de 0.95 y una $p=0.09163$
45. Doble combinación ácidos húmicos-ácido láctico en número de flores con barras verticales, intervalo de confianza a 0.95 y una $p=0.00126$
46. Doble combinación ácidos húmicos-ácido láctico en peso seco con barras verticales, intervalo de confianza 0.95 y una $p=0.00126$
47. Significancia C1H1 triple interacción ácidos húmicos-composta-ácido láctico en longitud total con barras verticales, intervalo de confianza de 0.95 y una $p=0.01724$
48. Significancia C2H1 triple interacción ácidos húmicos-composta-ácido láctico en número de flores con barras verticales, intervalo de confianza de 0.95 y una $p=0.01724$
49. Comparación significativa de productividad del peso seco de las flores (*Tagetes erecta* L). Se observa la diferencia significativa entre el tratamiento control y los mejores tratamientos: A. Doble dosis de composta. B. Doble dosis de ácidos

- húmicos. C. Doble dosis de ácidos húmicos con mejorador ácido láctico (Tukey $p=0.05$) DMS=diferencia mínima significativa $n=3$
50. Efecto significativo en número de flores, diámetro, peso seco flor y en peso follaje en los mejores tratamientos tanto en campo como en invernadero
 51. Significancia entre parcela testigo (1) y la parcela de uno de los mejores tratamientos 12-H1C1M1
 52. No significancia entre parcelas testigos (7 y 10) con una $p=0.3252$
 53. Efecto semejante de no significancia en longitud total en parcelas del tratamiento 12-H1C2M1 con una $p=0.4853$
 54. Efecto similar de las enmiendas con no significancia parcelas (9 y 16) con una $p=0.0.1687$
 55. Semejante efecto de no significancia en parcelas (11 y 19) del mismo tratamiento 15-H2C1M0 en campo
 56. No significancia, semejanza de la aplicación de las enmiendas en diferentes parcelas con el mismo tratamiento 16-H2C1M1 en campo
 57. No significancia en longitud total entre el T-16 H2C1M1 y T-12-H1C1M1 por efecto de las enmiendas con una $p=0.7147$

ANEXOS

58. Se observa la germinación del zempasúchil con el ácido láctico 97%.
- 59.1. El número de plántulas con ácido láctico favoreció la germinación en los tratamientos pares: 2-H0C0M1, 10-H1C1M1 y 18-H2C2M1 con triple interacción con dosis de composta C1 y C2 con ácido láctico dosis única M1
- 59.2. El número de hojas favoreció a los tratamiento con aplicación de ácido láctico (números pares)
- 59.3. En el largo de hoja el tratamiento que destacó fue 3-H0C1M0 con composta C1=0.120 mg que favoreció el crecimiento
- 59.4. Destacaron los tratamientos: 10-H1C1M1 y 16-H2C1M1 con la dosis H1 y H2 y C1 de composta
- 59.5. Se observó que destacaron los tratamientos: 5-H0C2M0 con C2 (56.25g) y el 15-H2C1M0, significativos en crecimiento y biomasa
- 59.6. El número de ramas destacó en los tratamientos 5-H0C2M0, 12-H1C2M1 y 15-H2C1M0. Predominaron las dosis H1 y H2 de ácidos húmicos y de composta las dosis C1 y C2, a los dos meses de crecimiento
- 59.7. Se observa el grosor del tallo en los tratamientos: 5-H0C2M0 y 15-H2C1M0 Muestra el efecto de C1 y C2 de la composta
- 59.8. La temperatura del experimento se mantuvo en un promedio de 28°C, lo que permitió la actividad constante de las enmiendas durante el desarrollo del cultivo
60. Ácido húmico (Schulten y Schnitzer)
61. Ácido láctico
- 62a. El cultivo en invernadero a la 8ª semana. b. Diferencias con la aplicación de las enmiendas orgánicas
63. En invernadero la triple interacción con mayor número de flores y mayor diámetro H2C1M1. (Escala 1cm a 10 cm)
64. Un acercamiento del diámetro de 13 cm de las flores de zempasúchil *Tagetes*

erecta L. del tratamiento significativo, con triple interacción de las enmiendas 16 H2C1M1

65a, 63b. 62a y 62b. Se observa la diferencia del crecimiento y floración del zempasúchil al mitigar esta zona salino sódica. El máximo crecimiento del mejor tratamiento 16-H2C1M1 (izquierda), con respecto al testigo 1-HOCOM0 (derecha)

66. Efecto de las enmiendas en *Tagetes erecta* L. (lado izquierdo mejor tratamiento con respecto al testigo, lado derecho) Tláhuac

67. Observación comparativa de partículas. 1. Suelo testigo. 2. Suelo mejorado. 3. Composta y 4. Ácidos húmicos extraídos de la composta

CUADROS

Antecedentes

1. Sales que predominan en suelos salinos
2. Solubilidad de sales
3. Diferencian entre los tipos de suelos

Metodología

4. Diseño experimental trifactorial para conocer el efecto de los mejoradores a nivel invernadero en el desarrollo del zempasúchil
5. Dosis de las enmiendas Mg ha^{-1} .
6. Distribución de parcelas del experimento en campo con los mejores tratamientos

Resultados

7. Descripción del perfil de Tláhuac, D. F. Antrosol flúvico térrico (WRB, 1999)
8. Propiedades físicas del suelo de Tláhuac
9. Resultados de la caracterización química del suelo de Tláhuac
10. Resultados de la variación de las propiedades químicas con la aplicación de la lámina de agua y el ácido láctico
11. Caracterización del suelo y de la composta
12. Resultados en las pastas de saturación de las pruebas preliminares
13. Pruebas del efecto del mejorador ácido láctico
14. Resultados de cuatro repeticiones pH y CE en efluído de las unidades experimentales de invernadero sin ácido láctico
15. Resultados de cuatro repeticiones pH y CE en efluído de las unidades experimentales de invernadero con aplicación de ácido láctico
16. Comportamiento del contenido de Na^+ en el suelo y de la cosecha, en el diseño experimental sin ácido láctico
17. Comportamiento del contenido de Na^+ en el suelo, en la cosecha con el efecto del ácido láctico
18. Comportamiento del contenido de K^+ con dos enmiendas ácidos húmicos, composta y sin mejorador ácido láctico en suelo, en cosecha de follaje y flores en invernadero.
19. Comportamiento del contenido de K^+ con las tres enmiendas ácidos húmicos, composta y mejorador ácido láctico en suelo, en cosecha de follaje y flores en invernadero
20. Resultados de los extractos de saturación iniciales y finales del experimento en campo
21. Contenido de cationes en el follaje de la cosecha en campo
22. Contenido de cationes en los capítulos de las plantas de la cosecha en campo
23. Comparación de cationes de pastas iniciales con finales de cationes en campo después de la cosecha
24. Comparación de aniones de pastas iniciales con finales de aniones en campo después de la cosecha

25. Comparación del contenido de cationes intercambiables sin y con la aplicación de las enmiendas al suelo
26. Significancia de cationes intercambiables entre los lotes testigo y los lotes del mejor tratamiento con prueba de t
27. Tratamientos y dosis aplicadas de AHs, composta y ácido láctico
28. Parámetros en relación con los tamaños moleculares y aromaticidad de los AHs obtenidos a partir de los electroforegramas
29. Análisis estadístico del efecto de las enmiendas ácidos húmicos, composta y ácido láctico de los 18 tratamientos, con 12 parámetros en la cosecha del cultivo de zempasúchil en invernadero
30. Árbol de 17 nodos terminales para longitud total
31. Análisis estadístico de significancia y alta significancia en las variables de respuesta en campo
32. Prueba de Newman Keuls. Longitud total
33. Rendimiento obtenido por los tres mejores tratamientos al final del experimento en cultivo de zempasúchil

ANEXOS

34. Cálculos de la cantidad de mejorador ácido láctico aplicado
35. Resultado del análisis del extracto obtenido después de agregar la lámina de lavado sin ácido láctico en pastas de saturación
36. Resultado del efluente obtenido con ácido láctico después de agregar la lámina de lavado en pastas de saturación preliminares

ACRÓNIMOS

AHs	Ácidos húmicos
AFs	Ácidos fúlvicos
C	Carbono
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
C1	Dosis sencilla de composta
C2	Dosis doble de composta
CE	Conductividad eléctrica
DE	Desviación estándar
H1	Dosis sencilla de ácidos húmicos
H2	Dosis doble de ácidos húmicos
Ψ	Presión osmótica
MOD	Materia orgánica disuelta
M1	Ácido láctico
MA	Materia orgánica
RAS	Relación de adsorción de sodio
SHs	Sustancias húmicas
T	Tratamiento
V	Volumen

Capítulo 1

Rehabilitación de un suelo salino sódico con enmiendas orgánicas y su efecto en el desarrollo del zempasúchil (*Tagetes erecta* L.) en Tláhuac, D. F.

RESUMEN

Para investigar el efecto de la adición de ácidos húmicos, composta y ácido láctico se realizaron experimentos a nivel de invernadero y campo, en el desarrollo de *Tagetes erecta* L. zempasúchil. En la actualidad, los suelos afectados por sales abarcan en el mundo 200 millones de hectáreas, de las cuales 33 % se encuentran con graves problemas de salinidad; en México, más de 8 millones de hectáreas han sido afectadas por sales y 500 000 de éstas corresponden a zonas agrícolas de riego. En este contexto, el objetivo de estos estudios ha sido rehabilitar un suelo de chinampa de Santa Cecilia, Tláhuac con enmiendas orgánicas para disminuir el efecto de la salinidad y sodicidad en la producción de zempasúchil, una especie resistente y propia de las tradiciones agrícola económicas de este país. Para ello se valoró la intensidad de la salinidad y sodicidad, se observaron evidencias de pérdida de la estructuración, permeabilidad menor y se evaluó la concentración de materia orgánica. Se considera que las aguas freáticas someras han transportado sales a los suelos situados en topografías bajas, donde se han concentrado y evaporado causando la acumulación salina al suelo Antrosol térrico flúvico confiriéndole propiedades salino sódicas (CE de 23.6 dS·m⁻¹, pH osciló de 7.1 a 8.4), con acumulación de materia orgánica por causas naturales o antrópicas. Donde el efecto amortiguador de la acumulación de materia orgánica atenúa la degradación química en estos suelos. Una vez cuantificadas las limitantes, se obtuvieron muestras superficiales de los suelos sometiéndolas a ensayos previos con láminas de lavado para mitigar la salinidad, previamente al establecimiento de los experimentos en invernadero y campo. Se analizaron y se comprobó el efecto del lavado en la salinidad y sodicidad (CE=1.5 dS·m⁻¹ y pH=8.6). Procediendo a establecer el experimento en invernadero conforme a un diseño trifactorial con enmiendas orgánicas (ácidos húmicos-composta-ácido láctico), en dosis de ácidos húmicos de H1=120 Mg·ha⁻¹ y H2=240 Mg·ha⁻¹

¹; de composta C1=60 Mg·ha⁻¹ y C2=90 Mg·ha⁻¹ y de ácido láctico 3.4 L·m⁻² con arreglo combinatorio y distribución completamente al azar en invernadero. De donde se obtuvieron y eligieron las dosis más favorables, con base al análisis de ANOVA, la prueba de Tukey y de Newman-Keuls, obteniendo al peso seco de los capítulos, el diámetro de la flor y el número de flores como variables de respuesta significativas, del efecto mejorador en el desarrollo del zempasúchil en los tratamientos: 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1. Con base a esta respuesta se montó el experimento de campo con un diseño experimental de bloques al azar. La cosecha se analizó con 5 variables de respuesta, donde para valorar el crecimiento y desarrollo del cultivo se evaluaron la longitud total de la planta, peso seco, diámetro y número de flores por planta; obteniendo como mejor tratamiento el 16-H2C1M1 con 261% de aumento en la productividad, evaluada con ANOVA y análisis multivariado, con respecto al testigo. Se realizó la determinación de cationes y aniones solubles del suelo en pastas de saturación, donde se cuantificó el contenido de cationes siendo en orden decreciente Na⁺>Mg²⁺>Ca²⁺>K⁺. El orden del contenido de los cationes Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺>Na⁺ obtenido en follaje tuvo comportamiento semejante al orden de su contenido en flores; el contenido de sodio soluble disminuyó de 155.5 a 38.6 cmol⁺·kg⁻¹. Existió una relación directa entre la menor concentración de sales con el mayor peso seco de los capítulos por planta. En el suelo de cada uno de los tratamientos se obtuvieron las curvas de mineralización del carbono como un índice para estimar la estabilidad de la materia orgánica. Los resultados mostraron que la mayor condensación de las moléculas del suelo correspondió al tratamiento control (testigo), seguido por los tratamientos con enmiendas con las dosis AH 240 mg·kg⁻¹, composta 120 mg·kg⁻¹ y ácido láctico 3.4 L m⁻². Los ácidos húmicos extraídos de la composta y del suelo de chinampa de los cuatro tratamientos seleccionados de las parcelas donde se estableció el cultivo de zempasúchil (*Tagetes erecta* L.) se caracterizaron para explicar el efecto mejorador a través de análisis por espectroscopía UV-visible, espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y por electroforesis. Los espectros FTIR indicaron la presencia de formas poco alteradas de lignina, típicas en los AHs de la composta. Los AHs aislados del suelo testigo mostraron mayor aromaticidad, con respecto a los suelos en que se obtuvieron altos rendimientos de la cosecha. En la composta los AHs mostraron índices de poca evolución, de reciente formación, provenientes de la alteración sencilla de macromoléculas vegetales.

La electroforesis mostró que los ácidos húmicos del suelo del tratamiento 16-H2C1M1 presentaron elevada movilidad iónica y en la espectroscopía visible, bajo grado de aromaticidad. Los espectros de los AHs de los suelos mejorados indicaron bajo contenido en grupos funcionales oxigenados y presencia de proteína asociada, que explicarían los altos coeficientes de mineralización observados en las curvas respirométricas, como un índice del aporte de materiales prehúmicos de rápida evolución y de su efecto mejorador en el desarrollo del zempasúchil.

El análisis estadístico de doce variables de respuesta obtenido en invernadero, presentó tendencia semejante a la mejor productividad obtenida en campo. Estadísticamente se obtuvo el mejoramiento del suelo de chinampa, con la triple interacción de las enmiendas en el tratamiento 16-H2C1M1.

Palabras clave: ácidos húmicos, zempasúchil, suelo salino-sódico, ácido láctico, enmienda.

Sodic saline soil amelioration with organic amendments and their effect on the development of zempasúchil (*Tagetes erecta* L.) in Tláhuac, Mexico City

Abstract

In order to research the effect of adding humic acids, compost and lactic acid on sodic saline soil, several experiments were carried out in greenhouse and field level in the development of *Tagetes erecta* L. zempasúchil (marigold). Nowadays, saline soils cover over 200 million hectares, 33% of which face serious salinity problems. In Mexico, over 8 million hectares have been affected by salinity and 500 000 of those are irrigation areas. In this context, the main goal of these studies has been to rehabilitate a chinampa soil in Santa Cecilia, Tláhuac, using organic amendments to decrease salinity and sodicity effects over marigold production a resistant traditional crop in the area. In this sense, salinity and sodicity was assessed, observing evidences of lesser structure and permeability. Also, organic matter content was determined. It is considered that shallow groundwater was responsible for transporting salts to the soils located at lower topography, wherein it has concentrated and evaporated. This resulted on salinity accumulation on Terric Fluvic Anthrosol, conferring saline alkaline properties ($EC\ 23.6dS\cdot m^{-1}$, pH ranged from 7.1 to 8.4). With soil organic matter accumulation by natural or anthropic causes, which buffering effect mitigates their chemical degradation. Once the latter limits were quantified, superficial samples of the soils were taken and subjected to previous leaching salinity assays, before establishing greenhouse and field experiments. The effect of the use of leaching on salinity and sodic contents on soil were analyzed and checked ($EC=1.5\ dS\cdot m^{-1}$ and $pH=8.6$). Then, a greenhouse experiment was established according to a trifactorial design applying organic amendments (humic acids-compost-lactic acid), with doses of humic acids at $H1=120\ Mg\cdot ha^{-1}$ & $H2=240\ Mg\cdot ha^{-1}$, compost at $C1=60\ Mg\cdot ha^{-1}$ & $C2=90\ Mg\cdot ha^{-1}$ and acid lactic at $3.4\ L\cdot m^{-2}$ in an entirely random distribution. The most favorable doses were selected based on ANOVA, Tukey test and Newman-Keuls, based on the favorable significance effect of the organic amendments in the dry weight of the flower capitula, diameter and number of flowers. The response variables were evident during the

growth of marigold in treatments: 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1. Based on these results, the field experiment was established with a random block design. The field harvest was analyzed with productivity response variables, where crop growth and development were assessed as total plant length, dry weight, diameter and amount of flowers per plant. The best productivity variables were obtained in treatment 16-H2C1M1 with a production increase of **261%** evaluated with ANOVA and multivariate analysis compared to the control. A soil-soluble cation and anion determination was carried out in saturation pastes, where a greater sodium content was noticed; in descending order we find $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$. Cation concentration $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ obtained in foliage had a similar behavior to the cation content order in flowers; soluble sodium decreased from 155.5 to 38.6 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$. There was a direct relation between soil lower salt content with the greater dry weight of the capitula per plant. In each of the treatments' soil, mineralization curves were obtained as an index to estimate the organic matter stability. The results showed that the greater condensation belonged to the control treatment, followed by the treatments with amendments with the doses humic acid 240 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, compost 120 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and lactic acid 3.4 Lm^{-2} . The features of the humic acids extracted from the compost and the chinampa soil of the four chosen treatments in the marigold plots were described to explain their enhancing effect by visible spectroscopy analysis, infrared spectroscopy with Fourier Transform (FTIR) and electrophoresis. The FTIR spectra indicated the presence of slightly altered forms of lignin, typical in compost humic acids. Humic acids soil features from highest yield treatment were indicative of undeveloped and recently formed humic acids where low alteration of vegetable macromolecules prevailed. Electrophoresis showed that the humic acids in treatment 16-H2C1M1 presented high ionic mobility, UV-visible spectroscopy showed a low degree of aromaticity. The humic acid spectra in the amended soils indicated a low content of oxygenated functional groups, as well as presence of associated protein structures, which would explain the high mineralization coefficients observed in the respirometric curves, as an index of the input from fast evolution prehumic materials and their enhancing effect in the development of marigold.

The statistical analysis of twelve response variables obtained in greenhouse showed a tendency similar to the highest productivity in the field treatment, since three response variables were significant (number of flowers per plant with $p=0.03606$, flower diameter with $p=0.03293$ and flower dry weight with $p=0.018177$). Statistically, the chinampa soil was improved by means of the best combination, triple interaction of the amendments in treatment 16-H2C1M1.

Keywords: humic acids, marigold, sodic saline soil, lactic acid, amendment.

En el mundo más de 831 millones de hectáreas son afectadas por las sales (Martínez-Beltrán y Manzur, 2005) que aumentarán probablemente en el futuro debido a la salinización secundaria, por irrigación y eliminación de vegetación nativa lo que conlleva a tratar de entender los procesos del suelo que están afectados por la acumulación de las sales, particularmente los relacionados con los ciclos de los nutrientes. Los suelos salinos se encuentran sobre todo en zonas semiárida y áridas; así como en diversas zonas agrícolas de las zonas templadas (Hafiz y Raj, 2012. Wu *et al.*, 2013). En presencia de condiciones de bajo porcentaje de lluvias y alto potencial de evotranspiración se favorece el movimiento ascendente de las sales en la solución del suelo, lo que conlleva procesos adversos a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Rengasamy, 2006).

Los suelos afectados por sales son clasificados como salinos, sódicos y salino sódicos sobre la base de la CE, relación de adsorción de sodio RAS y pH (Brady y Weil, 2002). Los efectos de la acumulación de las sales en el suelo son la dispersión de materia orgánica (MOS) y las partículas de arcilla, lo que destruye los agregados y la estructura del suelo. Así como favorece la estabilidad de la MOS, al asociarse con arcillas cuando estas se flocculan por la presencia de electrolitos, evitando su descomposición por los microorganismos. Estos procesos están relacionados con el incremento de Na^+ en sitios de intercambio y el incremento de la concentración de electrolitos. Así la dispersión de arcilla está negativamente correlacionada con la CE y positivamente correlacionada con RAS y pH (Nelson *et al.*, 1998).

Debido a que el carbono es la fuente principal de energía, algunos microorganismos responden a un bajo potencial osmótico por medio de la acumulación de osmolitos que retienen el agua mientras que microorganismos sensibles se mueren (Hagemann, 2011). Incrementar la saturación de Na^+ en sitios de intercambio, causa dispersión de MO y partículas de arcilla, por lo cual destruye los agregados y la estructura del suelo, (Oades, 1988) mostró la salinidad una alta concentración de electrolitos juega un papel importante

en la unión de MO a arcillas, el alto contenido de arcillas al aumentar la concentración de electrolitos, causará menor accesibilidad a la MO por los microorganismos para su descomposición. Por otro lado la materia orgánica disuelta (MOD), fracción muy móvil y dinámica, es la fuente primaria de carbono mineralizable que influencia muchos procesos en el suelo (Evans *et al.*, 2005; Kalbitz *et al.*, 2000; Zsolnay, 2003). La concentración de C orgánico disuelto puede decrecer como resultado de la sorpción, precipitación y mineralización realizada por los microorganismos del suelo (Marschner y Kalbitz, 2003). Una alta solubilidad de MO debida a la sodicidad puede causar pérdida de MO disuelta, por percolación.

En cuanto a los procesos dinámicos del suelo se han observado resultados contradictorios sobre el efecto de la salinidad y sodicidad en biomasa microbiana y respiración del suelo (Nelson *et al.*, 1998; Rietz y Haynes, 2003; Wong *et al.*, 2008) que pueden deberse a las diferencias de las propiedades del suelo, especialmente los niveles de salinidad y el pH del suelo (Muhammad *et al.*, 2008). Aunque básicamente se considera que la salinidad disminuye la actividad microbiana, pero incrementaría la concentración de C orgánico disuelto, debido a una menor descomposición de MO y que la sodicidad incrementaría la actividad microbiana y la concentración de C orgánico disuelto, por la solubilidad aumentada de MO del suelo.

Los suelos de chinampa son de origen antrópico desde la época prehispánica en Xochimilco-Tláhuac a partir de técnicas tradicionales formaron suelo con alta productividad. En la actualidad el riego de las chinampas con aguas residuales ricas en bases ha causado su concentración por capilaridad y evaporación. Esto ha favorecido la contaminación salina y/o sódica-salina, dando lugar a costras salinas, baja permeabilidad y acumulación de sales solubles hasta de 20 a 30 g·kg⁻¹ que se traducen en disminución de la producción de los cultivos. Por tal motivo, se ha propuesto el empleo de mejoradores orgánicos para su rehabilitación lo que incrementará la producción y la rehabilitación edáfica en cultivos redituables de la zona. Esta problemática agrícola en chinampas es de importancia económica (García, 2004; Ramírez, 1988; Aguilera, 1994; Sánchez *et al.*, 2003; Ramos *et al.*, 2011).

Debido a esto, este trabajo tiene como propósito la rehabilitación del suelo de chinampa para incrementar la producción de un cultivo tradicional de la zona como es el zempasúchil.

JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial se han realizado esfuerzos por remediar los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos mediante la aplicación de diferentes enmiendas, debido a la disminución de la productividad agrícola. Esto en particular se ha realizado en suelos antrópicos de chinampa que evidencian afectación por sales y sodio, tratando de conocer la eficiencia de diversos mejoradores orgánicos, por lo que este estudio pretende poner a prueba la eficiencia de diferentes dosis, en el rendimiento florícola.

Capítulo 3

OBJETIVO GENERAL

Rehabilitar un suelo de chinampa de Tláhuac con enmiendas para disminuir el efecto de la salinidad y sodicidad en la producción de zempasúchil.

Objetivos particulares

- i. Conocer el efecto de los mejoradores en el suelo.
- ii. Conocer los efectos significativos de diferentes dosis de enmiendas sobre el proceso de salinización y sodificación del suelo.
- iii. Aumentar la mejor producción de zempasúchil.
- iv. Valorar los cambios en los parámetros organolépticos y químicos en el cultivo de zempasúchil.

HIPÓTESIS

La adición de ácidos húmicos, composta y ácido láctico disminuyen la salinidad y sodicidad de un suelo de Tláhuac y aumentan la producción de zempasúchil.

Objetivos particulares e hipótesis

1. Conocer el efecto de los mejoradores en el suelo.

Hipótesis. La aplicación de las enmiendas con un diseño trifactorial determinan las mejores combinaciones de las enmiendas.

2. Obtener los efectos significativos de diferentes dosis de enmiendas sobre el proceso de salinización y sodificación del suelo.

Hipótesis. La valoración estadística en las variables de respuesta indica la significancia de la interacción de las enmiendas.

3. Aumentar la mejor producción de zempasúchil.

Hipótesis. La mejor interacción determina la combinación de las mejores dosis de producción.

4. Valorar los cambios en los parámetros organolépticos y químicos en el cultivo de zempasúchil.

Hipótesis. Al analizar la caracterización del suelo y su relación con las variables de respuesta demuestra la correspondencia de los efectos de las enmiendas.

4.1.1 Origen de las sales

La superficie terrestre presenta 145 millones de kilómetros cuadrados, el ensalitramiento se distribuye en áreas confinadas, en general de las regiones áridas, semiáridas y húmedas. Sin embargo Szabolcs (1989), afirma que aproximadamente el 20 % de la superficie mundial bajo riego manifiesta degradación por salinidad (Brady, 2002; Laor y Avnimelech, 2002; Qadir y Oster, 2004). Por otro lado la FAO estima 135 millones de hectáreas de la superficie clasificada como Solonetz (Clark, 2007).

Los países afectados mayormente por el problema de salinidad y alcalinidad a nivel mundial son: Argentina, Irán, India, Paraguay, Etiopía, Chile, Nigeria, Bolivia, Brasil, Egipto, Kenia y múltiples investigaciones al respecto. Los suelos salinos presentan sales que influyen como electrolitos en las fases sólida o líquida y alteran sus propiedades físicas, químicas, biológicas y de fertilidad (Szabolcs, 1989; Tejada *et al.*, 2006; Wong *et al.*, 2010).

El proceso de salinización que degrada el suelo presente a nivel mundial en Tailandia, suelos bajos con cultivos de arroz se encuentran muy afectados, se acumulan las sales solubles en la zona radicular y limitan el crecimiento de la mayoría de plantas, principalmente debido a estrés osmótico y toxicidad relacionada con problemas de las propiedades físicas del suelo (Laor y Avnimelech, 2002). La acumulación de sales trae cambios drásticos en las propiedades físicas y químicas (Qadir *et al.*, 2000).

En climas áridos el balance hídrico entre la precipitación y la evaporación es negativo, resulta el ascenso capilar de aguas subterráneas salinas durante la estación seca, con la precipitación de sales en la superficie del suelo. Se ha demostrado que la acumulación de soluciones salinas en secano arrozales, ocurre principalmente durante la temporada de lluvias, mientras que la superficie del suelo permanece inundada.

El origen de las sales se debe a eventos geomorfológicos realizados en distintas épocas geológicas se debe el origen de las sales (Ortega, 1983). Transgresiones marinas que formaron depósitos salinos en los continentes, fenómenos volcánicos, excesiva evaporación y baja precipitación pluvial, la geoquímica de las sales, el intemperismo de los iones y el mal manejo antropogénico. En cuencas endorreicas sin drenaje, favorece la acumulación de las sales solubles (Kovda *et al.*, 1967).

Estudios realizados en Italia, demostraron que los suelos salino-sódicos de esa zona causan desequilibrio nutricional para el crecimiento pobre de las plantas por los efectos osmóticos ocasionados por aumento de la concentración de sal y toxicidad de iones, debido a la menor entrada de materiales orgánicos en el suelo (Wong *et al.*, 2010) y disminución de la actividad microbiana (Marinari *et al.*, 2012).

La FAO 1998 considera que los Solonchak interfieren en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y la FAO de 1990 afirma que los suelos sódicos Solonetz, contienen sodio intercambiable que afecta adversamente a la producción de cultivos y la estructura en la mayoría de suelos. Así, la salinización es una de las amenazas a largo plazo para la sustentabilidad de los recursos terrestres e hídricos del mundo (Zhang, 2010).

Los problemas salinos no se limitan a regiones áridas o semiáridas, también pueden presentarse en regiones húmedas y subhúmedas (FAO, 1988).

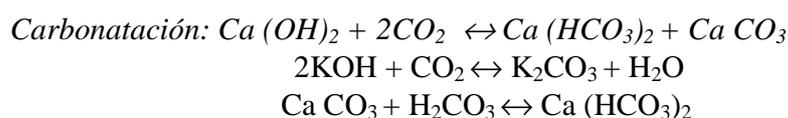
En México, la superficie se estima en más de 8 millones de hectáreas 500 000 corresponden a zonas agrícolas de riego (Aceves, 1981; Ortíz, 1992). La problemática de la salinidad y el mal manejo del agua lo enfrentará la humanidad en próximos años (FAO, 1985), ambos directamente relacionados. El proceso del origen de las sales solubles o salinización está distribuido en el mundo y se incrementa a medida que se presentan cambios en la hidrología superficial y subterránea, en la redistribución de materiales debido a procesos geomorfológicos, factores litológicos, hidrológicos, climáticos y antrópicos (Ortega, 1983; Flores, 1996; Porta, 2003).

Los suelos sulfatados ácidos, se producen en planicies costeras de Australia en un clima mediterráneo. Con el ascenso de las capas salinas subterráneas sulfáticas que son

indicadores bio-geoquímicos, se han encontrado áreas de infiltración y pantanos afectados por la salinidad de áreas secas, estas zonas se han ampliado. La formación de suelos salinos sulfáticos está relacionada con la cristalización de Fe y S. La acumulación de estos minerales en los suelos depende de muchos factores como el flujo de agua, las concentraciones iónicas, pH. La distribución en el paisaje de sus características salinas sulfurosos y las condiciones hidro-geoquímica de formación no se han descrito en detalle (Fitzpatrick y Fritsch, 1996). Su detección se ha probado con espectro de halita (NaCl) en suelos salinos de zonas áridas y semiáridas (Farifteh *et al.*, 2008).

Los suelos salinos con la acumulación de sales más solubles que el yeso en los horizontes superiores, se da preponderancia a los iones OH⁻ sobre los H⁺ en la solución del suelo, por lo que el suelo es alcalino cuando el carbonato de sodio presenta un pH de 9 a 10 (Buckman y Brady, 1991). El origen de las sales de los suelos salinos reside en las rocas que se meteorizan y liberan Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, su redistribución, movimiento y acumulación se orienta a una cuenca a distancia de la roca original (Kovda, 1967; Pizarro, 1978; Tanji, 1996; Porta, 2003).

4.1.2 Las reacciones que predominan en la formación de carbonatos son:

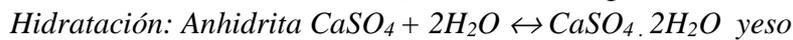
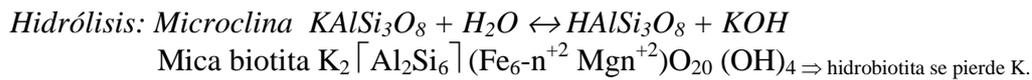


Consisten en la formación de carbonatos a partir de CO₂ y H₂CO₃ que al reaccionar con las bases del suelo forman sales.

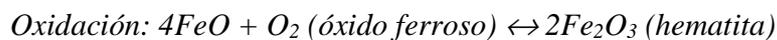
4.1.3 Procesos que originan suelos salinos

Los minerales primarios de la corteza terrestre forman las sales solubles del suelo liberadas por procesos geoquímicos, geomorfológicos, como transgresiones marinas, que sedimentaron en depósitos salinos en los continentes por fenómenos volcánicos, que al

generar ácidos estos favorecieron las reacciones químicas que dan lugar a nuevas formas de: intemperización química: hidrólisis, hidratación, oxidación, reducción, carbonatación y solución. Por lo tanto los materiales parentales meteorizados proporcionan cantidades elevadas de bases con alta concentración en los suelos jóvenes (Pizarro, 1978; Stanley, 2002).



Unión rígida del agua a un mineral o sal.



Sucede en minerales de Fe o Mg se presenta en la desintegración de cristales.



Se presenta cuando hay deficiencia de O₂

1. La evaporación en regiones áridas, semiáridas y estepas se presenta mayor que la precipitación suficiente para lavar el suelo. Las aguas freáticas transportan bases a suelos situados en topografías bajas donde se concentran y evaporan (Flores, 1996).
2. Los ciclos continentales, con formación al interior de los continentes.
 - Acumulación primaria. Las sales producto de meteorización se acumulan *in situ*.
 - Acumulación secundaria. Movilización, redistribución y acumulación a cierta distancia de la roca original (Kovda, 1967; Porta, 2003).
3. La precipitación atmosférica, con sales procedentes de lluvias.
4. La acumulación de sales en suelos de riego (Ayers, 1985), con relieves bajos que suelen ser las áreas que se riegan con mayor facilidad (Thompson, 1988). El uso de aguas blandas (efluente de desecho) tratado con fines de riego puede aumentar rápidamente el contenido de sodio en el suelo. Como resultado se afecta la estructura del suelo y la filtración del agua (Guzmán, 1995).
5. La acumulación de origen marino, formado por la presencia de manantiales de aguas salinas, aguas cercanas al mar, costas, pantanos, lagunas, litorales, bahías, marismas y yacimientos salinos, con acumulación principal de cloruro sódico.
6. Los ciclos deltaicos. Son áreas de captación para la agricultura de riego.

7. Los ciclos artesianos, con aguas profundas freáticas que ascienden, la evaporación forma pequeñas áreas encharcadas.
8. La acumulación de origen antropogénico. Las actividades agrícolas con uso inadecuado de fertilizantes, riego con exceso de electrolitos. Desconocimiento de los procesos y factores de salinización, el mal drenaje, elevación de mantos freáticos (Ayers, 1985; Szabolcs, 1989; Porta, 2003).

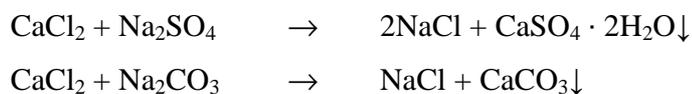
Cuadro 1. Sales que predominan en suelos salinos.

Clase sales	Presencia en:		
		suelos salinos $g\ l^{-1}$	plantas
Cloruros			
Sódico	común	262	+++
Magnésico	común	353	++++
Cálcico	raro	400-500	++
Potásico	baja	elevada	+
Sulfático			
Sódico	común	f(t)	++
Magnésico	común	262	++++
Potásico	baja	elevada	+
Carbonato sódico	Suelos sódicos	178	+++++
Bicarbonato sódico	Suelos sódicos	262	++++

(de: Porta, *et al.*, 2003).

La presencia de cloruro magnésico da lugar a que la superficie del suelo se mantenga húmeda mucho tiempo después de una lluvia, debido a que esta sal es muy higroscópica y puede absorber agua del aire cuando la atmósfera no está seca. El sabor de las eflorescencias por el magnesio es amargo. La mejora de estos suelos es difícil porque el Mg^{2+} tiene que desplazar iones monovalentes en el lavado.

El cloruro de calcio es una sal poco frecuente en los suelos, principalmente por la mayor estabilidad de otras sales a las que puede dar lugar. El yeso y el carbonato cálcico precipitan y el cloruro sódico formado se puede perder por lavado:



El cloruro potásico es una sal análoga al cloruro sódico. Es una sal poco frecuente en los suelos salinos debido a que el K^+ puede quedar retenido por las superficies de algunas arcillas. El K^+ es un macronutriente que queda en forma intercambiable o inmovilizado.

La solubilidad de los sulfatos depende del catión. El sulfato sódico está frecuentemente en suelos salinos. El sabor de las eflorescencias es a jabón y salado. Debido a la humedad varía su composición molecular la tenardita $Na_2SO_4 \rightarrow$ mirabilita $Na_2SO_4 \cdot H_2O$. La solubilidad se afecta directamente por la temperatura, a bajas temperaturas se disuelve lentamente.

4.1.4 Comportamiento de las sales en el suelo

La acumulación de las sales en el paisaje se distribuye en forma baja sobre elementos geofísicos y es transportada por el agua a diferentes lugares, con composición química heterogénea a lo largo de la pendiente, la distribución de sedimentos continentales y desplazamiento sigue una trayectoria desde el material parental hasta la zona de captación.

Las sales se acumulan con intensidad en las cuencas endorreicas, donde el balance de las aguas freáticas es regulado por la evaporación y transpiración. La distribución de los elementos continentales se muestra a partir de la roca primaria, eluviación desde las partes altas y sobre la capa de la pendiente hasta la zona de captación del nivel freático. Se distinguen en la región baja de la pendiente la salinización sulfato clorhídrica, cercana a la zona de captación, la región de acumulación de carbonatos en la pendiente y la región de acumulación sialítica cercana a la cima (Szabolcs, 1989).

4.1.5 Distribución de tipos de intemperismo en depresiones salinas

- a) Los materiales aluviales con un contenido de $CaCO_3$ cubren puntos elevados de las cuencas, mientras en los sedimentos los sulfatos y cloruros que se presentan en las

depresiones o en los lagos salinos, se localizan en Armenia, la Península Arábiga , Chile, en la parte Oeste de Australia y en el Desierto de Kalahari en Africa.

- b) En las terrazas de ríos, la acumulación de sedimentos calcáreos en declives situando encima los sulfatos y los cloruros, pueden ser encontrados en las depresiones. Característicos de los lagos salinos, en desiertos y en las regiones semidesérticas.
- c) La acumulación de sales asociada con las rocas lateríticas en los lugares más elevados del paisaje. Este tipo se desarrolla en valles como en el Río Congo, en el desierto de Kalahari. Con acumulación de sulfatos y cloruros en las depresiones cubiertas por sedimentos de carbonato y un anillo sialítico formado en el declive.

El paisaje con su geomorfología es importante para la distribución de materiales. El agua es el principal transporte en la superficie del suelo y en el subsuelo, traslada a las sales hacia los lugares donde se acumulan, remueve las sales después de los procesos de intemperismo a otros territorios, lixiviando los suelos y sedimentos (Szabolcs 1989).

4.1.6 La salinización sódica en los suelos tropicales

En la superficie se forman costras rojas formadas por intemperismo con caolinita, gibbsita e hidrargilita. En la parte baja los suelos argílicos montmorilloníticos con características de salinidad sódica, con acumulación de CaCO_3 y bajo la superficie los basaltos, lavas, cenizas (Szabolcs, 1989).

4.1.7 La fracción de arcilla montmorillonita acumulada en el paisaje de la montaña

En la parte superior de los suelos de pradera de alta montaña se presenta la caolinita $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}[\text{OH}]_8$. En la parte baja de las montañas se acumula montmorillonita $\text{KA}_{17}\text{Si}_{11}\text{O}_{30}[\text{OH}]_6$ (Szabolcs, 1989).

El enriquecimiento de los suelos sódico-salinos con montmorillonita se presenta debido a los cambios de los minerales de arcilla en el medio alcalino, con silicio y agua presentes en los suelos. Los minerales con silicio relativamente bajos están sujetos a la silización bajo

estas condiciones. La caolinita e illita son transformadas en vermiculita o montmorillonita. Esta transformación fue probada por Jackson y observó el proceso en suelos húmico-calcareos. La transformación de caolinita-illita a illita-vermiculita-motmorillonita en los suelos de planicies inundadas. La transformación a través de pérdidas de potasio por las capas de illita, a través de la hidratación, de silización, en una menor extensión la ferritización. La transformación de caolinita a montmorillonita se realiza cuando una capa adicional de sílice-oxígeno de tetraedros se combina con las dos capas de caolinita, puede observarse como un camino para el proceso de montmorillinización. Kovda (1967) describe varios paisajes con afluentes geoquímicos que conducen a la formación de suelos salinos en Rusia.

4.1.8 Distribución de los sedimentos y acumulación de sales en cuencas endorreicas en el paisaje

El desplazamiento y acumulación de diferentes compuestos químicos se observa desde la roca madre hacia abajo de la lámina de agua subterránea y el área de desagüe. La salinización de los suelos se presenta generalmente en cuencas endorreicas sin drenaje localizadas en zonas áridas y semiáridas, en donde las condiciones climáticas se caracterizan por fuerte evaporación y baja precipitación, así las sales producto del intemperismo, se acumulan en las capas superficiales. La escasa precipitación pluvial en Chihuahua es insuficiente para formar ríos, el drenaje es interno y el agua llega a cuencas cerradas endorreicas, (bolsones), la mayoría de los lagos se forman en cuencas temporales (Challenger, 1998).

La geoquímica del paisaje en las zonas áridas forma suelos afectados por la sales, diferente de otros suelos ácidos sulfatados. Kovda describe el desarrollo y acumulación de sales en los deltas de los ríos que llevan a cabo cambios periódicos y permanentes, donde el nivel se hunde gradualmente, resultando la distribución de los puntos inundados y lugares secos. La migración de agua es alterada. La captación y almacenamiento de sales se realiza en distintas zonas: planicies aluviales, grandes ríos, trópicos húmedos, regiones áridas,

semiáridas, el ártico, más frecuente se almacenan sales en planicies aluviales y terrazas. Los factores que determinan el proceso de salinización son la composición con arcilla compacta, el elevado pH, el clima árido, el intemperismo químico, la corta profundidad del manto freático, el mal sistema de drenaje, la abrupta topografía de la pendiente, la abundante evaporación, el exceso de sales y sodio que afectan la estructura, con la dispersión de agregados por lo que generan baja permeabilidad y la baja infiltración (Szabolcs, 1989; Richards, 1994; Porta, 1997).

Los iones distribuidos boratos y bicarbonatos con una solubilidad baja, concentrados en la parte superior del suelo, cloruros y nitratos fácilmente son lixiviados, se acumulan en el subsuelo, sulfatos y sodio dominan en el horizonte medio; el calcio representado mayormente en la cubierta arenosa y en el subsuelo. La acumulación de sodio y cloruros son resultado del incremento de la adsorción de sodio por el complejo de arcilla o por las diferencias en la solubilidad de sales (Beyer, *et. al.*, 1998).

En México surgió el problema de salinización como proceso de deterioro urbano ecológico de los ecosistemas en las cuencas y valles semiáridos del Centro de México entre 7500 y 5000 años antes de nuestra era y desde el año 200 aparece en Teotihuacan la agricultura intensiva de altos rendimientos, se utilizaban los lagos de la “cuenca de México” (9600 y 5000 km), para construir chinampas, obras hidráulicas para impedir el paso de aguas saladas a los mantos de aguas dulces.

La salinización en manantiales salinos, inició la deforestación y salinización de grandes áreas de la cuenca con el funcionamiento de canales desde 1849, además con hundimiento, erosión, inundaciones, urbanización e incremento de población, ha conducido a la ruptura de ecosistemas con el incremento de la salinización en la cuenca y no se permitió que los ecosistemas se recuperaran (Flores, 1996).

Una zona natural de desierto protegida más extensa de México en Baja California Sur, interviene directamente en la producción de sales, esta laguna de Ojo de Liebre en la cuenca por evaporación salinizadora, en 1989 produjo 5 millones de toneladas. El

incremento de la salinización es una problemática permanente. La geomorfología de los suelos, la textura, el clima, la cantidad y distribución de lluvias, como factores determinantes, se correlacionan con la diversidad de las especies (Challenger, 1998).

La fuerte alcalinidad en estos horizontes se caracteriza por Na_2CO_3 (NaHCO_3), lo que ocasiona más abajo el $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y luego por NaCl . En los horizontes más profundos principalmente CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y NaNO_3 son acumulados y causan disminución del pH.

En todos los suelos la solubilidad de las sales se incrementa con la profundidad. Esto indica una distribución de las sales por lixiviaciones debido a la precipitación. El contenido bajo de sales y su distribución demuestra que las sales residuales incrementan la capilaridad, en la formación de láminas de agua del subsuelo. Existen sales difícilmente solubles como CaCO_3 y CaSO_4 . Las sales solubles fácilmente se lixivian y la salinización se debe a la disminución de las aguas subterráneas. La temperatura del suelo está relacionada con la distribución de las sales, altas temperaturas favorecen la precipitación de Na_2CO_3 y CaCO_3 y la solubilidad del Na_2CO_3 . Esto decrece en horizontes más profundos con la temperatura.

Cuadro 2. Solubilidad de las sales
(Raucher *et al.*, 1982)

Sales	mol/LH ₂ O	g/100 g H ₂ O
Ca CO ₃	1:5 x 10 ⁻⁴	1:5 x 10 ⁻³
Mg CO ₃	1:3 x 10 ⁻³	1:1 x 10 ⁻²
Ca SO ₄ 2H ₂ O	1:5 x 10 ⁻²	0.2
H ₃ BO ₃	0.7	4.9
NaHCO ₃	1.1	9.6
Na ₂ SO ₄	1.1	19.1
Na ₂ CO ₃	2	21.6
Mg SO ₄	3	35.6
KNO ₃	3.1	31.5
KCl	4.6	34.4
Mg Cl ₂	5.7	54.3
Na Cl	6.2	35.9
Ca Cl ₂	6.7	74.5
Ca (NO ₃) ₂	7.7	127

La salinización en relación al clima permite la acumulación y distribución de las sales por causa de la precipitación. La distribución de cloruros en los suelos desérticos refleja el régimen de humedad reciente. El frente de agua debe alcanzar más de 50 cm en suelos arenosos, los cloruros y los nitratos presentan la misma movilidad (Smettan, 1987). La disminución del pH del suelo, el porcentaje de sodio intercambiable, la edad de la planta, la densidad de población son determinantes para que el carbono orgánico, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} aumenten el crecimiento de plantas (Jain, R. K. y S. Bajrang. 1998; Mavi, 2010).

4.2.1 Suelos salinos, sódicos y salino sódicos

Los suelos salinos contienen más del 0.2% de sales solubles. La presencia de sales eleva la presión osmótica y dificulta la absorción de agua por las plantas. La mayoría de las sales presenta una reacción neutra o casi neutra, pero algunas son alcalinas, por lo que el pH del suelo oscila entre 7.3 y 8.5. Las sales en el suelo se desplazan junto con la solución del suelo. Durante la estación seca se pueden formar costras blancas de sales en la superficie del suelo, que desaparecen con las lluvias, llamados álcali blanco (Cuadro 2). Los suelos se han clasificado como salinos, si la CE de su extracto de saturación excede los $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Se definen suelos de mayor salinidad cuyos extractos presenten CE superior a 8 y $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Los suelos sódicos poseen más de un 15 % en sus sitios de intercambio iones de sodio y son pobres en sales solubles. Esta combinación da lugar a una dispersión de los coloides a un pH por encima de 8.5. La elevación del pH resulta de la presencia de iones sodio en la solución, ya que el NaOH es una base fuerte.

Algunas sales sódicas como el Na_2CO_3 absorben H^+ del agua y liberan iones Na^+ y OH^- que producen la intensa reacción alcalina del NaOH en disolución. Los suelos son los más alcalinos y los más difíciles de corregir. Presentan coloides dispersos, permeabilidad baja, elevado pH. Parte de la MO se disuelve y acumula en la superficie formando una fina capa negruzca o álcali negro. Los suelos salinos sódicos (Cuadro 2) presentan un contenido elevado en sales solubles que se expresa en términos de CE de la solución que puede extraerse de un suelo saturado (Richards, 1994).

Cuadro 3. Diferencian entre los tipos de suelos

Suelo salino	Suelo sódico	Suelo salino-sódico	Suelo normal
CE mayor 4 dS m ⁻¹	CE menor de 4 dS m ⁻¹	CE mayor de 4 dS m ⁻¹	CE menor 4 dS m ⁻¹
PSI menor de 15%	PSI más de 15 % de sitios pH 8.5 a 10 ó más debido al Na ⁺	PSI más de 15 % de sitios	PSI menor de 15%
El pH oscila 7.3 y 8.5		pH oscila 8 y 8.5 ó más.	pH 7
Las sales solubles están en más del 0.2%	Las micelas adsorben Na ⁺ Pobres en sales solubles	Las micelas adsorben Na ⁺ más que en suelos salinos. Contiene exceso de Na ⁺ , se tiene más salinización que en comparación con los suelos sódicos.	
	Dispersión alta de los coloides del suelo.		
Las sales elevan la presión osmótica y dificultan e imposibilitan la absorción de H ₂ O por las plantas.		Sus propiedades similares con suelos salinos excepto cuando el lavado los transforma en suelos sódicos.	
	El Na ₂ CO ₃ absorbe H ⁺ del H ₂ O libera iones Na ⁺ y OH- produciendo una reacción alcalina del NaOH.		
Las sales se desplazan junto el H ₂ O.			
En sequía se presentan costras blancas y en la superficie, desaparecen con las lluvias.	Con agua aumenta la hidrólisis de Na ⁺ y sube el pH		
Suelos llamados “álcali blanco” “Solonchaks”	Sódicos alcalinos “degradados” son los más difíciles.	La solución es eliminar el exceso de sales y sodio intercambiable (bajar el pH).	
	Permeabilidad muy baja, aporta poco crecimiento a las plantas.		
Fáciles de corregir con lavado se eliminan las sales.	Regiones áridas y semiáridas		
Los suelos se encuentran floculados por las sales y poco Na+	Con la MO se forma “álcali negro” “Solonetz”		
Los suelos salinos y salino-sódicos presentan el mismo aspecto, pero es importante distinguirlos.			
Los suelos salinos pueden recuperarse sólo con el lavado mientras los salino-sódicos se arruinan, si reciben ese tratamiento sin una enmienda previa al suelo (Thompson 1988; Richards, 1994).			

4.3.1 Problemas de los suelos afectados por sales

1. La acumulación y exceso de sales en el complejo de cambio o en la solución del suelo.
2. En los suelos sódicos es el contenido de sodio intercambiable que interfiere en el crecimiento de las plantas, con estructura física deficiente.
3. En los suelos salinos alcalinos y sódicos el contenido excesivo de sodio, predomina en la solución del suelo, se forman suelos alcalinos.
4. La saturación del complejo de cambio con Na^+ y sales.
5. La dispersión de los coloides del suelo formando costras y bloqueando los poros.
6. La permeabilidad baja a valores inferiores de la tasa de evaporación.
7. El efecto osmótico se atribuye al efecto de las sales sobre la posibilidad de la planta de absorber agua para sus procesos de crecimiento “disponibilidad de agua o sequía fisiológica” (Porta, 2003).
8. La dificultad en la aplicación de enmiendas químicas para corregir el problema (Thompson, 1988; Richards, 1994).
9. La baja disponibilidad de P y de la mayoría de los micronutrientes. Las deficiencias en Fe^{2+} son frecuentes en suelos alcalinos.
10. El aumento del contenido de las sales genera disminución en el crecimiento de las plantas y reduce la respuesta de cereales, hortalizas a las aplicaciones de fertilizantes (Fassbender, 1987; Ortiz, 1992; Thompson, 1988; Russell y Greacen, 1977; Tejada *et al.*, 2006; Wong *et al.*, 2010).

4.4.1 Zona de chinampas

Tláhuac se localiza en la cuenca de México, al suroeste del Distrito Federal su origen es prehispánico, se fundó a fines del siglo XII. Tláhuac significa "el lugar de quien cuida el agua", con suelos de chinampa o Antrosoles, con áreas de cultivo salino sódicas, presenta esta problemática agrícola en San Andrés Mixquic, San Nicolás Tetelco, San Juan Ixtayopan, San Pedro Tláhuac, Santa Catarina Yecahuizotl, Santiago Zapotitlán y San

Francisco Tlaltenco. La zona lacustre está rodeada por montañas de origen volcánico del período Terciario, durante la estación lluviosa se formaron varios lagos en el Valle de México, en Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco siendo los más prósperos los dos últimos por presentar fuentes de agua dulce abundantes permanentes y con su propio desagüe natural. A través del tiempo estos lagos se han secado y al introducir aguas semitratadas han provocado uso inadecuado del suelo y del agua, las aguas freáticas transportan bases a los suelos situados en topografías bajas y las concentran en ellos al evaporarse. Estos suelos salinos sódicos caracterizados por defloculación, permeabilidad reducida y acumulación de materia orgánica solubilizada en la superficie, pegajosa cuando húmeda y dura cuando seca, han afectado las áreas agrícolas. Al acumularse sales de sodio en el suelo han disminuido la productividad de los cultivos y afectado directamente la agricultura por los efectos necrosantes a nivel de la zona de absorción en las raíces (Galicia 1990. Mejía, 2002).

La zona chinampera presenta en muchos de sus suelos la contaminación salino sódica por el manejo irracional del riego con agua contaminada y aplicación excesiva de fertilizantes (Reyes, 1992. Reyes, 1997). El sistema de chinampa agrosistema diverso que se preserva, requiere de la conservación del suelo y el aumento de su fertilidad (Ruíz, 2003).

4.4.2 Resumiendo, en las chinampas las sales se han acumulado por varios procesos:

1. Evaporación (Flores, 1996).
2. Acumulación de origen antropogénico (Ayers, 1985; Szabolcs, 1989; Porta, 2003).
3. Acumulación de sales en suelo de riego (Ayers, 1985. Thompson, 1988).
4. Uso de aguas de desecho con fines de riego que aumentan el contenido de sodio en el suelo, que afecta la estructura del suelo y la filtración del agua (Guzmán, 1995).
5. Ciclos artesianos. Las aguas profundas freáticas ascienden, la evaporación forma pequeñas áreas encharcadas.

4.4.3 Rehabilitación

1. El lavado eficiente debe disolver y transportar las sales solubles.
2. La aplicación de enmiendas a los suelos salino-sódicos deben aplicarse antes de ser lavados. Las enmiendas más frecuentes para los suelos alcalinos son el yeso (CaSO_4), el azufre, corregir el riego, el drenaje previo al lavado (Fassbender, 1987; Richards, 1994; Buckman y Brady, 1991; Fuentes, 1999; Zambrano, 2011; Wu *et al.*, 2013).

4.4.4 Propuesta

1. La aplicación de las enmiendas orgánicas: ácidos húmicos (H), composta (C) y ácido láctico (M).
1. La enmienda ácidos húmicos contribuye con su carga negativa a la movilidad de cationes y favorece el pH del suelo.
2. La aplicación del lavado disminuye el contenido de sales, para obtener CE menor de $4 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ para la especie que se cultive.
3. Sembrar cultivos tolerantes a valores de 8 de CE como remolacha, alfalfa y algodón.
4. La aplicación del ácido láctico sustituye la mayoría de los iones Na^+ presentes en los sitios de intercambio por Ca^{2+} .

Otras propuestas de biorremediación con especies tolerantes a las sales que toleren y aprovechen las aguas de desecho, reutilizables para que las aguas se reutilicen dentro de las zonas donde se generan (Qadir y Oster, 2004) y la forestación que reducen la sodicidad, mejoran la fertilidad de especies nativas y recuperan suelos degradados. Se rehabilitan las propiedades físico-químicas (DA, pH, CE, PSI) de los suelos, la actividad microbiana y enzimática, se enriquece la fertilidad con C orgánico y los nutrientes (Singh *et al.*, 2012).

4.5.1 Mecanismos que desarrollan las plantas para adaptarse a la salinidad del suelo

Las halófitas son plantas que tienen su ciclo de vida en hábitat salino donde usualmente los niveles de NaCl son altos. La tolerancia salina es a niveles enzimáticos y por algunas bacterias que pueden soportar contenidos altos de sales. Hay dos tipos de halófitas las que evitan las sales que han desarrollado fuerte selectividad iónica a que no entre Na^+ y Cl^- y las que las absorben. Presentan altos niveles iónicos en sus células con efectos tóxicos y bajos potenciales osmóticos. Los efectos de la salinidad no solamente limitan el crecimiento de las plantas, a la menor disponibilidad de agua, se han desarrollado evoluciones adaptativas a los medios salinos (Porta, 2003). La adaptación de las plantas al medio ambiente salino es un mecanismo que regula el contenido mineral de muchas plantas halófitas, como la excreción de iones por glándulas.

Históricamente el género *Atriplex* familia Chenopodiaceae, comprende alrededor de 200 especies en el mundo, se ha adaptado a contenidos altos de sales. La mayoría de suelos áridos y salinos, algunas especies se encuentran en pantanos salinos y otras en ciénegas de agua dulce.

4.5.2 Otros mecanismos explican la capacidad de las especies vegetales para tolerar el exceso de sales:

1. La exclusión de los iones a nivel radicular.
2. La retención de iones en las vacuolas de las raíces en crecimiento.
3. La retención de los iones dentro de la raíz y parte aérea, permiten que las plantas toleren concentraciones celulares y extracelulares muy elevadas.
4. Retraslocación de los iones a la raíz para su excreción hacia el medio, capacidad de los espacios celulares de las hojas para tolerar altas concentraciones de solutos en las vacuolas de las células, mantenimiento un aumento del tamaño en los compartimientos celulares o extracelulares, a través del aumento de la succulencia, lo que permite la dilución de los iones, de potasio, calcio y sodio en los

compartimientos extracelulares de los órganos, que hace que se mantenga la estructura y funcionamiento de las membranas celulares.

5. La eliminación del exceso de sales, a través de glándulas o estructuras especializadas como cabellos vesiculares, la pérdida de sales de las partes aéreas mediante el lavado y caída de las hojas (Flores, *et. al.*, 1996).

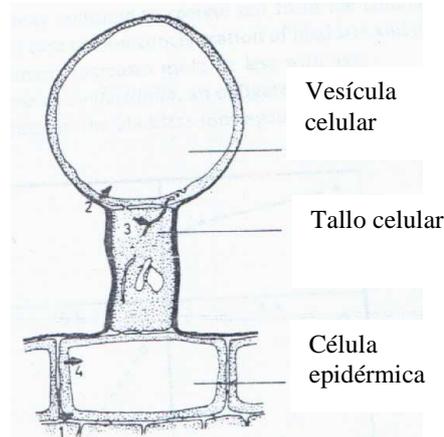


Figura 1. Estructura del sistema de la vejiga de los posibles sitios de transporte activo de Cl⁻.

El sistema de la estructura de vejiga y los sitios de transporte activo de Cl⁻ presentan una célula de vejiga que tiene una vacuola central gigantesca. La célula del tallo se caracteriza por una capa cutinizada. Algunas partes de la célula del tallo están menos cutinizadas (Thompson, 1988). Varios mecanismos de transporte activo pueden contribuir a la tolerancia de sales en las halófitas, aunque algunos parecen ser más exitosos que otros. La mayoría de las halófitas soportan alto contenido de sales en los tejidos. Técnicas genéticas estudian estos mecanismos de adaptación (Malcolm, 1996).

Las halófitas con la plasticidad fisiológica presentan capacidad para soportar el estrés oxidativo por el exceso de sales, con múltiples mecanismos bioquímicos, facilitan retención o la adquisición de agua. Exhiben un amplio espectro de propiedades medicinales antioxidantes (polifenoles). Protegen el funcionamiento del cloroplasto y mantienen la homeostasis de iones. Incluyen la síntesis de osmolitos fenólicos con actividad antioxidante, con componentes enzimáticos y no enzimáticos, proteínas específicas, y moléculas antioxidantes. Esto explica que algunas halófitas se utilicen como especies

medicinales tradicionales y dietéticas, como anti-alérgicas, anti-, anti-inflamatorias, anti-microbianas, anti-trombóticas y cardio-protectoras con efectos vasodilatadores. *Tamarix gallica* árbol halophyta conocida como detergente astringente, diurético, expectorante y laxante. *Mesembryanthemum edule* suculenta conocida como remedio tradicional contra infecciones fúngicas y bacterianas (Ksouri, 2008).

La especie halophyta, *Salvadora pérsica*, tolerante en la agricultura de cultivo de semillas oleaginosas, es valiosa para suelos salinos, la semilla contiene 40-45% de aceite láurico de importancia industrial (Muppala, 2008).

La germinación de halófitas se inhibe por el aumento del contenido de salinidad (Ungar, 2001; Wetson *et al.*, 2008). El polimorfismo ofrece múltiples oportunidades para mantener su continuidad frente a la variación extrema de contenidos de sales, algunas especies con polimorfismo de semillas permanecen inactivas al inicio de temporada y germinan en primavera al aumentar la temperatura (Gul, 2012).

4.5.3 Las especies se agrupan en:

1. **Glicófitas o no halófilas.** Especies cultivadas que no han desarrollado mecanismos de adaptación.
2. **Halófilas.** Especies adaptadas a vivir en medios salinos.
3. **Euhalófilas.** Acumulan sales en sus tejidos. Por ejemplo las más tolerantes a las sales son *Salicornia sp.*, *Artrocnemum sp.*
4. **Crinihalófilas.** Tienen glándulas excretoras por lo general en el envés de las hojas que eliminan soluciones altamente salinas (*Limonium sp.* *Frankenia pulverulenta*).
5. **Glicohalófilas:** Tienen la capacidad de realizar una absorción selectiva de las sales.
6. **Localhalófilas:** Localizan sales en estructuras especiales con lo que controlan su distribución en los tejidos (Porta, 2003).

Estas especies transportan sales acumuladas en tricomas desarrollados en la superficie de sus hojas. Las halófitas han sido restringidas a zonas salinas por su incapacidad de competir con glicofitas en condiciones no salinas (Kelley *et. al.*, 1982).

Las glándulas salinas comunes en muchas especies de plantas presentan excreción cuando son transferidas del hábitat glicofítico al hábitat semihalofítico o halofítico, como las gramíneas. Se han identificado en 11 familias con 17 géneros de dicotiledóneas y una familia de las monocotiledóneas (gramíneas).

La estructura de las glándulas salinas varía en las especies de plantas, son similares en especies de la misma familia. El tipo más simple de glándulas está en gramíneas. Las glándulas están en ambos lados de las hojas en filas longitudinales y paralelas a las nervaduras, cada glándula consiste de dos células: Una célula basal y una cubierta celular. La célula basal es la colectora y la célula superior es la excretora. Las células contienen un citoplasma denso y un núcleo prominente, pero carecen de vacuola central. La glándula se caracteriza por pared celular de cutina o suberina, la cutinización es más marcada en las paredes exteriores de la célula excretora superior, que en paredes celulares inferiores. La paredes de la célula basal son lignificadas en su parte superior alrededor de la región del cuello de botella de la glándula (Liphshitz, 1982).

Un mecanismo contra los niveles tóxicos de iones es la succulencia. Los altos niveles salinos se compensan con grandes cantidades de agua en los órganos de la planta (*Salicornia europea*), presentan tallo succulento. Otros sistemas tienen hojas succulentas (*Suaeda*).

Las estructuras importantes en las halofitas son las glándulas salinas. Las halófitas evolucionaron convergentemente en muchas familias como la Plumbaginaceae, Tamaricaceae, Primilaceae (Schirmer, 1982).

Una función similar para la excreción de la sal se le adjudica a los tricomas vesiculares de algunas Chenopodiaceae, como en *Atriplex*. La acumulación y exceso de sales en las vesículas celulares es un proceso de excreción de iones, seguido por desalinación, fuera de la planta por abscisión de vesículas maduras. Los tricomas vesiculares como organelos de *Atriplex* succulenta almacenan agua. Estas vesículas se encuentran en varios géneros de Chenopodiaceae (*Atriplex*, *Chenopodium*, *Halimione*, *Obione*, *Salsola*), en 400 especies de

Atriplex. Se piensa que son la estructura básica de la tolerancia salina en *Atriplex*, es importante conocer más sobre su tolerancia a las sales, dados los resultados (Schirmer, 1982).

4.6.1 Selectividad de cationes y aniones por las plantas

Si bien las plantas absorben los iones que se encuentran disponibles, existe selectividad en su absorción. La mayoría de las plantas absorben mayor cantidad de K^+ en relación a la provisión de Ca^{2+} , Mg^{2+} o Na^+ . Entre los distintos aniones las plantas absorben mayor cantidad de NO_3^- que de cualquier otro anión (Thompson, 1988).

La asimilación de nutrimentos por las plantas destaca la influencia del pH que permite el crecimiento en un intervalo de pH de 4 a 8, siempre que los nutrimentos sean disponibles y suficientes. El rango óptimo de crecimiento para las plantas es entre pH 5 y 5.5 (Ansorena, 1994).

Los iones que contribuyen a la salinidad del suelo: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y NO_3^- , K^+ . Cada uno de estos iones puede tener efectos específicos. El contenido de sales produce efectos osmóticos. El exceso de iones es tóxico para procesos fisiológicos en las plantas y causa desórdenes nutricionales. Las hojas de especies arbóreas acumulan más del 0.5 % de Cl^- , o 0.2 % de Na^+ en peso seco, desarrollan quemaduras en la punta y puntos necróticos Bresler *et. al.*, (1982).

El bronceamiento de la hoja más que la quemadura indica toxicidad por cloruros. Las plantas más sensibles a los cloruros son dañadas en extractos saturados del suelo y exceden de 5 a 10 meq/L, mientras que las más tolerantes a los cloruros están en mayores contenidos de 30 meq/L. La temperatura ambiental es un factor importante en la toxicidad del Cl^- y Na^+ . En primavera las hojas pueden contener alto contenido de Na^+ y Cl^- , sin presentar síntomas de toxicidad. La quemadura de hoja aparece después del principio de un clima cálido El Cl^- y el Na^+ interfieren con los mecanismos de la transpiración.

Las plantas reaccionan de forma diferente ante las sales ya que éstas pueden afectar el crecimiento de las plantas. Por ejemplo CaCl_2 es más nocivo para las plantas de frijol que el NaCl . El frijol absorbe el Ca^{2+} K^+ y Mg^{2+} con un desbalance nutricional. Inversamente el maíz tolera CaCl_2 mejor que en concentraciones isosmóticas de otras sales.

4.7.1 Efectos de la salinidad

Cuando por riego las plantas absorben sales rápidamente a través de las hojas, la tolerancia a la salinidad es reducida, 5 mg de sal/L. La aplicación del riego con acumulación de Cl^- o Na^+ daña la cosecha de frutos con 2 a 3 mg/L de Na^+ o Cl^- . El riego de rocío puede causar severos daños, ninguna especie leñosa se daña con 10 a 20 mg/L de Na^+ o Cl^- .

La sensibilidad de la planta a la salinidad varía con la etapa de crecimiento en el maíz, arroz y trigo son más sensibles durante la emergencia y etapas tempranas de crecimiento de las plántulas (Bresler, 1982). La sensibilidad a la salinidad varía de unas especies de plantas a otras dentro de una misma especie (Porta, 2003).

La salinidad de una solución se mide por su contenido en sales disueltas (mg/L o ppm), por su capacidad para conducir la corriente eléctrica o CE ($\text{dS}\cdot\text{m}$). Cuanto más elevada sea la concentración de sales disueltas, mayor será la conductividad de la solución y menor la germinación (Ansorena, 1994).

Para evaluar el efecto de las sales sobre los cultivos se considera que la CE que constituye un mejor criterio para predecir el rendimiento del cultivo como consecuencia de la salinidad en la zona radicular (Porta, 2003). Los valores de CE máxima de la solución del suelo deberían mantenerse con un valor menor a 4 dS/m . Cultivos de remolacha, alfalfa y algodón considerados tolerantes con valores de 8 y cultivos de cebada considerados muy tolerantes pueden rendir bastante bien con 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ o más (Richards, 1994).

Los mecanismos para ajustes osmóticos varían entre las especies de plantas. Los efectos osmóticos están en relación con la reducción de la productividad y del crecimiento. La CE

del extracto de saturación del suelo se utiliza como el índice de salinidad en el suelo. Se atribuye el efecto osmótico a las sales cuando la planta absorbe agua para sus procesos de crecimiento en la “disponibilidad de agua o de sequía fisiológica” esta teoría postula que en condiciones de salinidad a pesar de que el suelo contenga agua, la planta no es capaz de absorberla y por consiguiente, su citoplasma tiene una baja hidratación. La planta sufre estrés hídrico, se seca y acaba por morir (Porta, 2003).

El absorber agua en condiciones de salinidad requiere mayor consumo de energía. El potencial osmótico es determinante para la productividad de un cultivo. La disminución del potencial osmótico tiene efecto sobre la disponibilidad de agua para las plantas (Porta, 2003).

El potencial osmótico puede relacionarse con la CE del extracto de pasta de saturación:

$$\psi = - a \text{ CEs (en condiciones de saturación)}$$

ψ =Potencial osmótico

a=Constante a que varía según la sal disuelta

a = 36 se toma como el valor medio, se toma para NaCl, KCl.

a = 30 para sales

a = 28 para Mg SO₄

4.8.1 Efectos de los iones que contribuyen a la sodicidad

Los suelos alcalinos se forman a causa de una o más de las siguientes condiciones: Regiones áridas con precipitación insuficiente para lavar el suelo. Las aguas freáticas transportan bases a los suelos situados en topografías bajas y las concentran en ellos al evaporarse. Algunos materiales parentales proporcionan cantidades de bases elevadas, manteniendo alta la concentración de en los suelos jóvenes. Estas condiciones proporcionan suelos alcalinos en la agricultura de riego en relieves bajos (Thompson, 1988). El Na⁺ causa dispersión de suelo que limita la infiltración de agua, aire y penetración de las raíces. Los efectos fisiológicos de Na⁺ presentes con alto contenido y sales totales, se presentan con el bajo contenido de sales, pero con el contenido alto de Na⁺ soluble.

En efecto del Na^+ es tóxico para frutales, su nivel crítico para las plantas sensibles es de 0.05 %. El K^+ no tiene efectos sobre el pH, no forma compuestos insolubles, aumenta la CE. El Mg^{2+} disminuye la absorción de Ca^{2+} .

Los efectos de los suelos salinos sódicos están caracterizados por una floculación aparente, permeabilidad menor de agua y de aire, acumulación de materia orgánica solubilizada sobre la superficie pegajosa cuando húmeda y dura cuando seca. La permeabilidad de suelos salino sódicos va en proporción cuando las sales no son removidas y el contenido de sales totales de Na^+ , Cl^- , intercambiables bajo de 0.2 a 0.5 mg/L requerido para el crecimiento normal de las plantas.

La mayor tolerancia de las plantas al Cl^- absorbido es más lenta y continúa en el contenido de Cl^- en la hoja, que no son plantas tolerantes y susceptibles. La diferente tolerancia al Cl^- sucede en variedades de soya.

4.9.1 Características e importancia de la flor de zempasúchil

En 1649 las aportaciones Fray Juan Caballero sobre la flor de zempasúchil fueron sobre las creencias medicinales, la llamó flor de Jupiter o de Dios. Se consideró planta de una flor y por la gran multitud de hojas se le llama cempoalxochitl.

Hernández (1649) Felipe II, la llama cempoalxochitl. Se nombra como flor de diferentes formas: zempasúchil, cempasúchil, *Tagetes erecta*. Proviene del náhuatl. Cempōhualxōchitl que significa "veinte flores".

O'Gorman, en 1961 la identifica como *Tagetes erecta* y la nombra como cempoalxóchitl, cempaxuchil, zempoaxochitl (Larrea-Reynoso, 1985) o flor de muerto, rosa de muerto, clavelón africana, o clavelón azteca. Por los mexicanos es llamada cempoalxochitl. Los nombres comunes en México son Apátsicua, cempoalxóchitl (veinte flores en náhuatl),

guie'biguá, guie'coba, picoa, quiepi-goá, kalhpu'xa'm, ita-cuaan, jondri, musá, musajoyó, tiringuini, cempaxúchil y xumpatsnchitl (Anuario, 1969).

Los españoles la llaman Caryo Phillum, clavel índico. Se encontraron siete especies en la Nueva España. Se cultiva anualmente el 20 de julio y termina el 31 de octubre. La flor supera a las flores de otros géneros por la amplitud de sus hojas y por su número. Se consideran dos tipos de flor una simple y otra multifloral.

La distribución de *Tagetes erecta* L. Es nativa de México y está ampliamente distribuida. Pertenece a la familia Asteraceae (Nikkon *et. al.*, 2011). Se cultiva en San Luis Potosí, Chiapas, Estado de México, Puebla, Sinaloa, Tlaxcala, Veracruz y Tlaxcala. Los españoles las llevaron a jardines de monasterios en África y Francia.



Figura 2. *Tagetes erecta* L. Diseño gráfico.

Tagetes erecta es herbácea erecta, raíz fibrosa, con tallo estriado, acostillado, pubescente, con hojas apinadas, dentadas, lineales, opuestas y alternas. Con botones, inflorescencias en una sola cabeza floral de 11 a 17 foliolos (de 5 cm de largo y 1.5 cm de ancho), ápices triangulares y cabezuelas con dos hileras de glándulas. Las flores de color amarillo intenso

uniforme, anaranjadas, fuertemente aromáticas. Las cabezuelas con 150 a 250 pétalos, lígulas de 8 a 10 mm de largo (Schoenhals, 1988).

La utilidad del zempasúchil desde la Nueva España ha sido medicinal para la cagrecia (débil constitución física) por causa de afecciones del hígado, *Tagetes erecta* presenta propiedades repelentes, se recomienda en te para afecciones gastrointestinales, de la raíz se obtiene un jugo amargo que limpia el estómago (Osuna *et al.*, 2005). Las hojas molidas con agua o vino se untan. Se cuecen las ramas con o sin flores o fritas para aplicar de forma local en cataplasmas; en baños, fomentos o inhalada. Sirve para enfermedades respiratorias. Su aceite presenta efectos antimicóticos para la candidiasis Los extractos de *T. erecta* tienen actividad larvicida (Nikkon *et. al.*, 2011).

La flor se utiliza por el contenido de luteína (Figura 1) como medicamento, actúa como antioxidante (Piccaglia *et al.*, 1998; Osuna *et al.*, 2005; Del Villar, *et. al.*, 2007) y protege a las células de la retina, donde proporcionan protección contra la aparición de enfermedades oculares (Zuorro and Lavecchia. 2010).

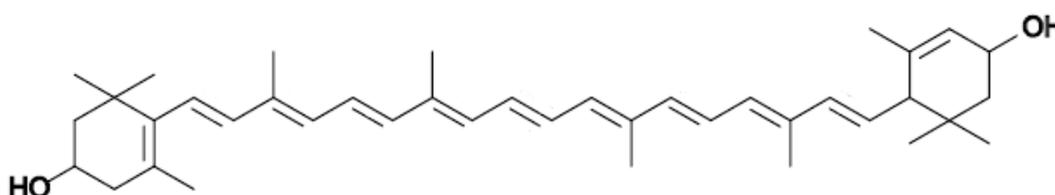


Figura 3. La luteína derivado dihidroxilado del α -caroteno, es una xantófilas, pigmento amarillo presente en plantas, algas, bacterias fotosintéticas y en la yema del huevo.

En México *Tagetes erecta* L. desde la antigüedad se utiliza en la industria alimenticia, como colorante vegetal, por alto contenido de carotenos en las flores (Mahmoud, *et al.*, 2012) para teñir algunos textiles, sopas y como pigmento natural y orgánico, aditivo para el alimento de aves, producción de huevos con yemas más coloridas, para la piel, para la carne de los pollos (Cardona, 2007), para pan, azúcar, polvo, papel, tortas de pollo (Alvarez, 1987). Como plaguicida la raíz contiene tiofeno con efecto inhibitor sobre los nemátodos. Actúa como repelente de hormigas. Puede usarse como biofumigante.

El zempasúchil en México destaca como flor de ornato, se ocupa en forma especial desde las fiestas prehispánicas, con el calendario solar prehispánico Tonalamatl al honrar al dios de la guerra Huitzilopochtli, al cual cubrían su imagen con estas flores. Se utiliza para rituales religiosos en las celebraciones de tradición en las parroquias, las flores amarillas adornan puertas y altares, como ofrendas florales durante el 1 y 2 de noviembre. Se relaciona con ritos por la creencia del color encendido ilumina el camino de las almas, como símbolo del amanecer con el olor característico. Se cultiva en Zimatlán de Álvarez, Oaxaca, en un suelo Cambisol cálcico con clima templado, por el alto contenido de carotenoides, con importancia económica industrial se produce en México, Perú, Chile, España y Estados Unidos.

México es el principal productor en el mundo. La siembra de zempasúchil se realiza entre 12 mil a 15 mil hectáreas por año, con rendimientos promedio de 10 toneladas por hectárea. Se produce en Sinaloa, Michoacán, Guanajuato, Morelos y Puebla. Las exportaciones de productos elaborados a partir de la flor de zempasúchil han sido superiores a 10 millones de dólares, los principales países que la han adquirido son Estados Unidos, Francia, Austria, Italia y Australia. Los productos elaborados a partir de la flor de zempasúchil, aumentan su demanda a causa del crecimiento de la producción avícola y la sustitución de pigmentos sintéticos por naturales. El maíz que normalmente produce el mismo efecto está destinado al consumo alimenticio.

La empresa mexicana Laboratorios Bioquimex constituida en 1970 evoluciona en las propiedades de la harina. Sus volúmenes de producción y venta permiten establecer tres plantas de deshidratación localizadas en Sinaloa, Michoacán y Morelos y la principal en Querétaro. Se realiza la extracción, concentración y envasado de los productos. La compra de la materia prima durante 1986 generó una ocupación de mano de obra de 6 300 personas. La producción nacional ha disminuido y el mercado internacional de carotenoides está siendo cubierto por China, Perú y la India, se busca modificar genéticamente esta especie para obtener mejores pigmentos.

4.9.2 Importancia de los colorantes

En la industria alimentaria la importancia es de origen vegetal con contenidos de: raíces, hojas, flores, frutos y semillas. Los carotenos se encuentran combinados como cromoproteínas. El colorante B caroteno, ester etílico del ácido beta carotenoico y la cantaxantina de color amarillo a rojo. Es provitamina se convierte en vitamina "A". Los carotenoides mejoran las propiedades fisiológicas nutricionales. Su aplicación amplia, se utiliza en bebidas (jarabes, jugos de frutas), quesos, polvos para sopa, productos de tomate, manteca, productos de panadería, repostería y para dulces.

Los carotenos constituyen un importante grupo de pigmentos liposolubles ampliamente distribuidos, se determinan por cromatografía y espectrofotometría. Los *Tageteae* constituyen un taxa definido que se caracterizan por la presencia de glándulas oleíferas en filarias y hojas, existen cincuenta o más especies de *Tagetes* determinados en el continente americano (Israilev, 1983). Los carotenos poseen resistencia al calor y los álcalis, regulan a los ácidos de frutas, todos son hidrosolubles. Se comercializan en polvo o en solución, se utilizan en productos medicinales, grageas, comprimidos, shampoo, detergentes, desodorantes, cosméticos, gelatinas, bombones, postres en polvo, cáscaras de quesos, fruta brillantada, alimentos para perros, cáscaras de frutas secas.

4.10.1 Germinación del zempasúchil criollo (silvestre).

El zempasúchitl presenta 2 ciclos de cultivo: Del 1 de diciembre a mayo (5 meses), es el cultivo de riego y de junio a noviembre (5 meses) es el cultivo de temporal. Se identifican a las flores que presentan más de 200 pétalos como femeninas y masculinas cuando presentan de 15 a 17 pétalos.

La germinación de zempasúchil depende del tipo de semilla; con semilla criolla se logra el 70% a 80% y con la americana el 90% a 92%.

La altura de la especie criolla (silvestre) alcanza 1.10 m y la híbrida o americana 60 cm. El riego de la especie criolla es escaso en temporal y la especie americana, requiere una

frecuencia de 12 a 15 días, con una lámina de agua de 15 a 20 cm. Se obtiene una producción de 10 % en harina de flor.

El cultivo de zempasúchil presenta importancia por su utilidad agronómica, contribuye la producción de la variedad de semillas Doble Hawai (doble amarillo-anaranjado). El precio por un gramo de harina de flor fue \$1.30 y el kilo \$1 300.00, actualmente el costo de peso seco de 1kg es \$ 4 640.00 y el costo por un kilogramo de semillas es \$ 600.00. La relación de producción por un kilo de harina corresponde a 8 kilos de flor de zempasúchil. El método realizado es por deshidratación y secado a una temperatura de 85 °C, se muele y se obtiene el pigmento en harina de flor.

4.11.1 Materia orgánica

El estudio de la materia orgánica se inicia en el siglo XIX, los contenidos de MO están relacionados con los factores formadores del suelo $MO=f$ (tiempo, clima, vegetación, material parental y topografía). La MO procede de la acumulación de restos, residuos de plantas, animales, es el resultado de la degradación y reorganización de resíntesis microbianas de nuevos componentes orgánicos, interviene de forma activa en el suelo (Kumada, 1987).

Los tejidos vegetales están constituidos por 25% de materia seca, formada a su vez por 10% de componentes minerales y 15% de carbohidratos de 30-80%, ligninas de 10-30% (fenoles polimerizados), proteínas de 1-15 %, ceras, grasas, resinas y otros de 1-8 %. La celulosa es el componente más importante de la MO, las ligninas son polímeros derivados del fenilpropano y precursores de los ácidos húmicos, requieren de múltiples actividades enzimáticas y mecanismos de despolimerización (Porta, 2003). La MO se encuentra en mínimas cantidades en los suelos minerales, participa en la formación de suelos, influye en el movimiento y almacenamiento de agua, intercambio catiónico, constituye una fuente de nutrimentos en forma directa e indirecta (Fernández-Luqueño, 2008).

La MO como fuente de energía de organismos, de numerosas bacterias, actinomicetes y hongos en el suelo está relacionada con el humus. Las lombrices y otros organismos son afectados por el material de residuos de plantas que regresan al suelo. Las lombrices son importantes agentes que favorecen al suelo, permiten aireación y drenaje por los canales que forman (Xing *et al.*, 2005).

4.11.2 Transformaciones de la MO distribución y función en el suelo

Stevenson (1994) describe que la descomposición de restos de plantas y animales en los constituyentes del suelo es la base de los procesos biológicos, que el C y el N recirculan a la atmósfera y son aprovechables como amonio NH_4^+ y nitratos NO_3^- así como elementos asociados P, S y varios micronutrientes requeridos por las plantas. Los procesos de humificación implican cambios en las estructuras orgánicas (Kononova, 1982).

Por diversos procesos el C es fijado dentro del tejido microbiano (la biomasa del suelo) y luego es convertido en humus estable. El contenido de MO del suelo varía notoriamente. Un suelo de pradera contiene de 5 a 6% a los 15 cm de superficie. Los suelos pobremente drenados tienen 10% y los suelos típicos presentan una baja cantidad de MO. La relación C/N de MO generalmente media de 10 a 12, aunque valores altos no son raros. La determinación del N se utiliza como un índice de MO.

4.11.3 Efectos de las enmiendas en el suelo

Los problemas químicos se originan por la reducida disponibilidad de fósforo, de potasio y de la mayoría de los micronutrientes. Las deficiencias en hierro son especialmente frecuentes en suelos. El suelo alcalino contiene tal cantidad de sales solubles, que las plantas tienen dificultades para absorber el agua. Por tal motivo la presión osmótica en la solución del suelo puede superar a la de las células vegetales normales. Se comprobó que el aumento de la concentración de las sales reducía la respuesta de los cereales y hortalizas a las aplicaciones de fertilizantes Thompson (1988).

Las enmiendas modifican las propiedades del suelo, el efecto directo consiste en provocar una variación de pH. Los efectos indirectos son cambios en propiedades salinas, que afectan el crecimiento de las plantas y producen una mejora (Miramontes, 1997). Las enmiendas más utilizadas para los suelos alcalinos son el yeso (CaSO_4) y el azufre. Este último se utiliza para reducir su alcalinidad. La mayoría de los iones Na^+ presentes en los sitios de intercambio son sustituidos por Ca^{2+} de manera que se impide la dispersión (Ilyas, 1997; Pa *et al.*, 2006).

Se espera que la aplicación de los ácidos húmicos como enmienda con su carga negativa contribuya a la movilidad de cationes y favorezca mantener neutro el pH del suelo.

4.12.1 Composta y su función

El composteo es un proceso bio-oxidativo de los residuos sólidos orgánicos generados antropogénicamente transformándose se favorece el proceso biooxidativo para la producción de composta, como un producto que suministra nutrientes y sustancias húmicas al suelo (Chen y De Novili, 2004).

La composta mejora la capacidad de retención de nutrientes y fomenta una gran actividad biológica, ayuda a crear una estructura del suelo. Un tipo especial es la composta de la producción de hongos, un subproducto que consta de suelo, paja, abono, madera o turba y minerales agrícolas. Este tipo de composta aporta una cantidad moderada de nutrientes y un bajo contenido de humus a las mezclas del suelo.

4.12.2 Sustancias húmicas

Las sustancias húmicas (SHs) materiales orgánicos de elevado peso molecular, se determinan por no presentar características físicas y químicas específicas. Son constituyentes de la fase sólida del suelo. Las SHs son los ácidos húmicos (AHs), fúlvicos (AFs), y huminas (compuestos químicos policondensados), producto de humificación directa de compuestos orgánicos a SHs de humificación lenta (Stevenson, 1994).

Su estudio se realiza por fraccionamiento y se basa en su distinta solubilidad en ácidos y en álcalis, presentan composición elemental definida, punto de fusión concreto, son de color, oscuro, presentan carga negativa, con carácter ácido. Son predominantemente aromáticos, hidrófilos, son compuestos relativamente oxidados. El término humus se emplea para referirse a las sustancias orgánicas que resultan de los procesos de humificación que implican descomposición, degradación y síntesis (Porta, 2003).

4.12.3 El origen y la formación de las sustancias húmicas

Las SHs provienen en su mayoría de tejidos vegetales se producen por cambios bioquímicos. Producen ruptura de membranas celulares, realizan autooxidación y polimerización de compuestos de tipo fenólico. En condiciones de humedad, temperatura, aireación y pH óptimos se producen las diferentes SHs, mediante la humificación: reacciones de oxidación, condensación y polimerización (MacCarthy, 1990; Stevenson, 1994). Las SHs presentan un núcleo aromático unido en su periferia a grupos radicales que confieren las propiedades químicas, fisico-químicas y grupos de enlace, favorecen la polimerización. Las SHs intervienen en las reacciones de intercambio catiónico, presentan una elevada CIC (150 y $300 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$).

Los ácidos húmicos son extraíbles con reactivos alcalinos, precipitan en forma de flóculos pardos en medio ácido, el color va de pardo a negro. Están formados por macromoléculas aromáticas unidas a aminoácidos, péptidos, aminoazúcares, ácidos alifáticos. Los ácidos fúlvicos no se precipitan con los ácidos después de la extracción. Su tamaño molecular es de $2\ 000$ a $10\ 000$ D. Su composición química no es específica. Las huminas son compuestos no extraíbles por los reactivos alcalinos y difíciles de aislar. Existen muchas formas de huminas. Humina microbiana (formada por cuerpos microbianos y compuestos alifáticos. Humina heredada (próxima a la MO fresca), son los constituyentes de las membranas. Humina neoformada (se obtiene de procesos de inmovilización por los cationes y no es extraíble con reactivos alcalinos. Humina estabilizada resulta de la

evolución lenta de los AHs provocan la polimerización de los núcleos aromáticos (Duchaufour, 1984).

4.12.4 Fraccionamiento basado en características de solubilidad

Stevenson (1994) explica que la MO se extrae de suelos y sedimentos con NaOH al 0.5 N y 0.15 M de pirofosfato de Na⁺. Es fraccionado por las características de solubilidad. Las fracciones que se obtienen son AHs solubles en álcali e insolubles en ácidos y los AFs son solubles en básico y en ácido. Por ejemplo el ácido himatomelánico tiene una parte de AHs en alcohol y es insoluble en álcali.

Los AHs se dividen en dos grupos por precipitación parcial con electrolítos en solución salina. El primer grupo los AHs pardos, no se coagulan con electrolitos y el segundo grupo los AHs grises y fácilmente coagulados. Influyen diferentes factores en la solubilidad, a menor concentración del extractante mayor cantidad de extracción de AHs con Na₄P₂O₇ y NaOH 0.1 M.

4.12.5 Efectos de los ácidos húmicos

Las propiedades generales del humus asociado con sus efectos en el suelo juegan un papel continuo sobre los nutrimentos en las plantas: i. El color típico oscuro causado por la MO en muchos suelos. ii. La MO permite la retención de humedad, previene el secado y la contracción, cementa las partículas del suelo dentro de agregados, permite el cambio de gases, estabiliza la estructura del suelo, incrementa la permeabilidad. iii. Forma quelatos estables con Cu²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺, mejora la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. iii. La insolubilidad de la MO está asociada con arcilla. iv. La acción buffer de la MO presenta amortiguamiento. Mantiene uniformes las reacciones en el suelo. v. Aumenta el intercambio de cationes del suelo de 20 a 70%, La acidez de los ácidos húmicos presenta

rangos de 300 a 1 400 mg/100g. vi. La mineralización de la MO produce CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_3^- , PO_4^- y SO_2^- , SO_4^{2-} .

La MO tiene efectos directo e indirecto sobre la capacidad de los nutrientes en el crecimiento de las plantas, sirve como fuente de N, P y S continua a través de mineralización por los microorganismos del suelo. Por lo que la MO es requerida como una fuente de energía en primera instancia.

El humus como una fuente de nutrientes declina en un período de 10 a 30 años, hasta lograr un nivel nuevo de equilibrio, con la liberación de nutrientes por la actividad microbiana. El humus tiene efectos sobre la estructura de muchos suelos. El deterioro de la estructura que acompaña la labranza intensiva, es menos severa en suelos provistos con humus (Stevenson, 1994).

El humus aumenta la capacidad del suelo a resistir la erosión. Las sustancias orgánicas en el suelo tienen efectos fisiológicos directos en el crecimiento de las plantas. Algunos compuestos como fenoles ácidos, tienen propiedades fitotóxicas, otros similares como las auxinas favorecen el crecimiento. Los humatos (ligninas o ácidos húmicos) son utilizados como enmiendas. Numerosos estudios demuestran que los AHs pueden estimular el crecimiento de las plantas (Stevenson, 1994). Por lo tanto el estudio de la composición elemental de las SHs permite obtener información del balance de elementos de C, N, e H, sobre el desarrollo de humificación y las diferencias entre un tipo de suelo y otro.

El hidrógeno del ácido COOH puede ionizarse y abandonar la molécula, dejando un sitio con carga negativa capaz de atraer cationes. Los grupos hidroxilo fenólicos (anillo de C con OH) presentan varios grupos reactivos en la MO del suelo proporcionan la capacidad para atraer y almacenar nutrientes en forma disponible para las plantas. Además, esos grupos tienden a enlazar la MO con partículas de arcilla, estabilizando así la estructura del suelo y proporcionando al material orgánico una mayor resistencia a la descomposición (Thompson, 1988).

Almendros (1995) afirma que se dan diferentes cambios estructurales en AHs de la turba, inducidos por tratamientos de eliminación de grupos funcionales. Once productos fueron

obtenidos después de la acetilación, amidación, metilación, nitración, sulfonación y degradaciones selectivas. Además se valoró el mayor efecto de la materia húmica en mejorar la sorción en suelos cálcicos. Los AHs son una fracción activa del suelo. Los AHs brindan la búsqueda de efectos químicos para modificar propiedades específicas en condiciones ambientales específicas en el suelo y en la planta, como al probar efectos del fuego en las modificaciones de las SHs, o el efecto de la concentración de algunos cationes intercambiables sobre el comportamiento pirolítico de los AFs, que consiste en la liberación de alquilbencenos (Almendros, 1999), por lo que las SHs tienen amplia importancia.

Estudios valoran las características físico químicas de los AHs de algunos tipos de suelos mediante potenciometría y se encontró que los ácidos están entre 4 y 9 de pK y pueden corresponder a grupos OH fenólicos y carboxílicos de distinta naturaleza. La descomposición de los AHs ha sido lograda por actynomyces, lo que permite obtener trazas de compuestos fenólicos: ferúlico, vanílico, protocatechuico, cafeico, sirigico y ácidos hidroxibenzoicos que fueron detectados por pruebas cromatográficas (Hussein, 1988).

4.12.6 Mejorador ácido láctico

El ácido láctico ácido orgánico natural, $C_3H_6O_3$ ampliamente utilizado en la industria alimentaria como acidulante, conservante y como ingrediente en muchos productos farmacéuticos, cosméticos, textiles, cuero, productos de panadería, por su biodegradabilidad, compatibilidad y disponibilidad bioambiental. El l-ácido láctico se obtiene por síntesis química o fermentación de carbohidratos. El mayor costo de producción de ácido láctico se debe a su separación o purificación eficiente (Sikder, 2012).

La aplicación del ácido láctico en esta investigación presenta la capacidad de bajar el pH del suelo alcalino. Se espera que los iones de Na^+ sean sustituidos por el catión que contenga el mejorador y disminuya la concentración de sodio.

El ácido láctico o su forma ionizada de lactato, ácido 2-hidroxi-propanoico o ácido α -hidroxi-propanoico, líquido translúcido, incoloro o amarillo pálido, de olor característico favorece su actividad por las propiedades físicas de masa molecular 90.08 uma, punto de ebullición 122°C, punto de fusión 16.8°C. Las propiedades químicas del ácido láctico, $C_3H_6O_3$, α -hidroxipropiónico, son 85% de pureza, es cáustico en soluciones concentradas, soluble en agua y el valor de $pK=3.86$ de la constante de disociación ácida permite una prolongada actividad, por lo lento de su reacción.

La producción de ácido láctico que es una de las moléculas más pequeñas ópticamente activas, se obtiene por animales, plantas y por los microorganismos en la naturaleza, o deriva de productos intermedios renovables (acetaldehído, etanol, etileno). Se aísla a partir de la leche, se obtiene por auto-esterificación de un catión, dimerización de ácido láctico a lactida polycondensada y la polimerización por apertura de anillo y diferentes composiciones de polímeros a base de ácido láctico con diferentes copolímeros, unidades lactilo y polímeros de ácido láctico.

El ácido láctico se sintetizó a partir de piruvato bajo condiciones limitantes de oxígeno en una reacción catalizada con ácido láctico deshidrogenasa, en la que se determina la proporción de estereoisómeros de ácido D-y L-láctico. La fermentación y recuperación de ácido láctico, L-ácido láctico está presente en sistemas de mamíferos y ambos estereoisómeros se encuentran en sistemas bacterianos.

La producción fermentativa de ácido láctico se hace por bacterias del ácido láctico capaces de convertir hexosas en ácido láctico. Se puede preparar por otras bacterias, hongos, o por levaduras. Las bacterias lácticas pueden producir ambos estereoisómeros, así como diversos subproductos. Los parámetros en la fermentación son pH, temperatura, atmósfera y en algunos casos la agitación. El pH en la fermentación se mantiene constante con la adición de agentes neutralizantes como $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$, NaOH o NH_4OH .

La fermentación se realiza a partir de la concentración de azúcar al 5% y en presencia de un nutrimento que contiene nitrógeno. La conversión de ácido láctico alcanza de $90 \pm 99\%$ en

dos días. Los polímeros derivados de ácido láctico por policondensación se refieren a poli (ácido láctico) y los preparados a partir de lactida, mediante polimerización por apertura de anillo como poli (lactida). El ácido láctico se puede polycondensar terminando en prepolímeros. Otros polímeros son los copolímeros de lactidas de estereoformas diferentes.

Los polímeros a base de ácido láctico son productos comerciales se introdujeron en el mercado a base de convertir ácido láctico en el polímero. La principal aplicación ha sido médica. El envasado de alimentos. Ésteres de ácido láctico en la utilización, como disolventes, resistencia, capacidad de descomposición y el uso de poliésteres alifáticos, debido a su degradabilidad hidrolítica y a la baja toxicidad. Estas propiedades se ven afectadas por el diseño de partículas y las propiedades del polímero. El diseño de partículas (tamaño, porosidad, carga de fármaco) que está relacionado con el tipo de fármaco y los parámetros, como disolvente, no disolvente del sistema, velocidad de agitación y la temperatura.

Las propiedades mecánicas de los polímeros a base de ácido láctico se pueden variar, desde plásticos blandos y elásticos a materiales de resistencia y rigidez. La estabilidad térmica de los polímeros a base de ácido láctico es en consecuencia pobre a temperaturas elevadas, pero están en relación con poli (ácido L-láctico), poli (L-lactida), y poli (ácido rac-lactida).

La temperatura durante la hidrólisis es importante para la velocidad de degradación. Un copolímero al azar se degrada más rápido al aumentar la cantidad de enlaces éster incorporados. La capacidad de microorganismos al utilizar polímeros a base de ácido láctico como fuente de carbono *Fusarium moniliforme* y *Penicillium roqueforti* fueron capaces de asimilar polímeros hidrolizados de rac-lactida y una cepa de *Fusarium moniliforme* copolímeros de rac-lactida y glicolida. Los polímeros de ácido láctico se discuten como modificadores preparados por policondensación (Sodergard y Stolt, 2002).

Caracterización de las enmiendas

4.13.1 Mineralización del carbono de los suelos

La evaluación del carbono mineralizable como índice de estabilidad o madurez de la MO en condiciones de laboratorio se basa en la incubación aeróbica.

4.13.2 Coagulación de sustancias húmicas por polielectrolitos.

Los AHs y AFs coloides orgánicos pueden ser precipitados de una solución por electrolitos. Ocurre la floculación que depende de factores como el pH y la naturaleza del electrolito. La concentración del coloide es importante, para cationes monovalentes (Stevenson, 1994). Por sus altos pesos moleculares los AHs son más fácilmente coagulados que los AFs y para los antiguos AHs grises floculan a concentraciones más bajas de electrolitos que los AHs cafés. Varios intentos han subdividido a los AHs basándose en el peso molecular por precipitación fraccional con sulfato de amonio a pH 7. De acuerdo con la ley de Schultz y Hardy, los cationes trivalentes son más efectivos en la coagulación de materia húmica que los cationes divalentes, quienes a su vez son más efectivos que los monovalentes. Para cationes polivalentes el orden es: $Al^{3+} > Fe^{3+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Mn^{2+}$

Cuando los iones trivalentes Fe^{3+} y Al^{3+} se añaden a AHs la precipitación ocurre a concentraciones bajas, pero el precipitado se disuelve en tanto el pH sube sobre 7 durante la titración. Esto ha sido atribuido a la formación de complejos solubles hidróxidos. Para cationes mono y divalentes el poder de coagulación sube con radios menores del ión hidratado, el orden de efectividad creciente siendo $K^+ > Na^+ > Li^+ & Ca^{2+} > Mg^{2+}$. Debe ser afirmar que una precipitación completa con sales de cationes monovalentes es rara vez alcanzada. Para los aniones de potasio sigue el siguiente orden: $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$

Se han hecho intentos para explicar el extraño poder del $CaCl_2$ como poderoso coagulador relativo a la sal monovalente (KCl o NaCl). Este último siendo más de dos veces más efectivo (del orden de las 100 veces o más). De acuerdo con una teoría de coagulación de

coloides, como (Stevenson, 1994) revisaron la concentración crítica de iones requeridos para iniciar la floculación es inversamente proporcional con la sexta potencia de su valencia.

Los resultados obtenidos para coloides orgánicos del suelo siguen esta relación. Sin embargo. La coagulación es sólo válida para coloides hidrofóbicos. Para coloides de humus se postula que en la presencia del electrolito, la macromolécula del humus cambia de un coloide hidrofílico a uno hidrofóbico. En solución acuosa ácida los grupos funcionales del coloide húmico son disociados y el polímero asume una configuración estirada por la mutua repulsión de grupos negativamente cargados, de ahí que causa una reducción en la repulsión intermolecular en la cadena del polímero. Esto a su vez, favorece el enroscamiento de la cadena y causa una reducción en la cantidad de agua de hidratación contenida por el coloide.

Almendros (1994) estudió las características espectroscópicas de los ácidos húmicos en la turba en relación a las propiedades del suelo y crecimiento de las plantas. Los AHs de la turba fueron sometidos a varios tratamientos en orden para modificar su estructura y su funcionalidad, o para introducir diferentes formas de nitrógeno incluyeron metilación, sulfonación, de peróxido de hidrógeno, hidrólisis alcalina y ácida, nitración, fijación de amonio, amidación, acetilación, oximación y fijación de ácidos esteáricos. En suma el efecto de los humatos fue probado en dos suelos, donde las propiedades físicas y químicas, también como el crecimiento de las plantas fueron evaluados por experimentos de invernadero. Algunos de los resultados se reflejaron en modelos espectroscópicos de los ácidos húmicos utilizados. En este estudio las propiedades positivas de los ácidos húmicos fueron en el mejor suelo, y se relacionaron con la cantidad de estructuras alifáticas.

4.13.3 Ultravioleta y visible

La absorción en regiones ultravioleta (200 a 400 nm y visible 400 a 800 nm), es causada por vibración atómica y electrométrica e involucran elevación de electrones en sigma, y en

pi, y en orbitales de estado base a altos niveles de energía. Los constituyentes contienen electrones no enlazados sobre el O₂, sulfuro y átomos halógenos, son capaces de mostrar absorción, tan bien como sistemas conteniendo uniones dobles conjugadas de C=C.

4.13.4 La relación E₄/E₆.

La relación de absorbancia 465 y 665 nm ha sido ampliamente utilizada para fines de caracterización. Esta relación para los AH es generalmente menor que 5.0; la de los AF va desde 6 hasta 8.5. El mejor procedimiento para determinar esta relación es disolver de 2 a 4 mg de AH o AF en 10 ml de 0.5 N Na HCO₃, lo que da un pH óptimo para la medición de la absorbancia de longitudes de onda de 465-665. Esta relación es inversamente proporcional al peso molecular y a la condensación, además se considera como un índice de humificación. De allí que una relación baja indica de un alto grado de condensación de constituyentes aromáticos; una relación alta refleja un bajo grado de condensación aromática e infiere la presencia de relativamente más estructuras alifáticas. En un estudio exhaustivo Chen concluyó que la relación E₄/E₆ de los AHs y AFs se gobernaba primariamente por los tamaños de las partículas y los pesos; secundariamente se vieron relaciones entre la relación y la acidez, con el contenido carboxílico de oxígeno y carbono. Una relación inversamente proporcional ha sido encontrada con el tiempo de permanencia de los AHs; indicando que las sustancias aromáticas más humificadas y más altamente condensadas tienen un origen más antiguo (Chen *et al.*, 1977; Stevenson (1982).

El índice E₄/E₆ es la relación de densidades ópticas de los AHs (465 nm/665 nm); que indican la relación inversa entre el grado de humificación y el de condensación de sus componentes alifáticos y aromáticos (Chen *et al.*, 1977). Las fracciones húmicas con mayor tamaño molecular y baja relación E₄/E₆ están constituidas por componentes alifáticos, principalmente, mientras que aquéllas con menor tamaño molecular tienen mayores componentes aromáticos. La absorción de la luz de los AHs depende directamente del grado de condensación de sus anillos aromáticos. Una baja relación E₄/E₆ indica alto grado de condensación de constituyentes húmicos aromáticos; inversamente, una alta relación

E_4/E_6 indica bajo grado de condensación aromática (Kononova et al., 1966). Relaciones E_4/E_6 bajas están asociadas con tamaños moleculares, pesos moleculares y contenido de C alto, y con contenido de O, grupos carboxílicos y acidez total bajo (Chen y Nobili, 2004).

4.13.5 Espectro de AHs y AFs

El espectro de absorción de los AHs y AFs en ambas regiones ultravioleta (200 – 400 nm) y visibles (400-700 nm) no tienen características bien definidas. Sin embargo está frecuentemente indicado en las regiones entre 260 a 300 nm del espectro ultravioleta. El espectro de los AHs varía con respecto a su origen, lo que está relacionado con diferentes grados de humificación. Se encontró que la absorbancia a alguna longitud de onda decrece notoriamente con el descenso del pH y su resultado se atribuye a cambios de las propiedades estructurales, como el grado de disociación de los grupos COOH y fenol OH. La absorción cercana a 465 nm ha sido utilizada por análisis cuantitativos, la variación considerable existe en la densidad óptica de varias fuentes de SHs. La densidad óptica de los AHs es menor (0.45) con una longitud de onda ultravioleta, pero es mayor el valor de densidad óptica de AHs de (17) en una longitud del espectro visible de 400 a 700 nm.

Las relaciones entre absorción y concentración son dadas por la ley de Lambert y Beer: *que afirma que la cantidad de luz absorbida es proporcional al número de moléculas de sustancias absorbentes. A través de las cuales pasa la luz.* El coeficiente de extinción, k , es igual a la densidad óptica o absorbancia ($\log I_0/I$) cuando la longitud de la celda es 1 cm y la concentración es 1 mol/L. Para los AHs y AFs donde el peso molecular es variable o no conocido, el coeficiente de extinción es expresado en términos de cantidad de C (0.1 a 0.2 g de C/L frecuentemente). El coeficiente de extinción de compuestos húmicos ha sido observado que aumenta con un incremento en peso, el % de C, el grado de condensación y la porción de anillos aromáticos a estructuras alifáticas de C. Los AFs tienen una menor capacidad relativa para la absorción de la luz y el coeficiente de extinción es similar de la fuente de los AFs.

4.13.6 Espectroscopia de las sustancias húmicas

En contraste con las relativamente pocas bandas de absorción observadas en las regiones visible y ultravioleta, los espectros IR de las SHs y sus derivados contienen una variedad de bandas que son diagnóstico de estructuras moleculares.

4.13.7 Infrarrojo

La espectroscopía infrarroja es un valuarde en la investigación de humus porque aporta: 1. Información clave de la naturaleza, reactividad, y arreglo estructural de los grupos funcionales que contienen oxígeno. 2. Contenido de proteína y constituyentes de carbohidratos. 3. Presencia o ausencia de impurezas inorgánicas (iones metálicos, barro) en fracciones húmicas aisladas. 4. Cuantifica el análisis.

Otras aplicaciones de la espectroscopia se incluyen en la interacción de pesticidas, moléculas orgánicas definidas por AHs y la caracterización de complejos metal-orgánicos. Se muestran mediciones espectroscópicas en las diferentes regiones del espectro electromagnético para informar sobre la naturaleza de las SHs del suelo. Las características de estos métodos son no destructivos y experimentalmente simples, no requieren una habilidad especial de manipulación (Stevenson, 1994).

La absorción en la región infrarroja es causada por movimientos rotacionales y vibracionales de grupos moleculares y enlaces químicos de una molécula. Hay dos vibraciones para las moléculas; estiramiento, donde los átomos permanecen en el mismo enlace pero la distancia entre ellos incrementa o disminuye y dobléz (deformación) donde las posiciones de los átomos cambian relativamente con el eje del enlace original. Cuando la luz infrarroja de la misma frecuencia con unas vibraciones de estiramiento y un dobléz dados es incidente en la muestra, hay energía absorbida y la amplitud de esa vibración aumenta. Por la absorción de energía en la frecuencia de resonancia se determina el punto máximo de absorción para esa longitud de onda. Las vibraciones de flexión requieren

menos energía que las de estiramiento de los enlaces, por lo que es más difícil estirar dobles y triples enlaces que sencillos.

En la investigación en Tláhuac los efectos benéficos de los ácidos húmicos sobre los procesos físico químicos involucrados en la fertilidad del suelo han sido graduales. El carácter coloidal de componentes, sus grupos funcionales y su tendencia a formar derivados órgano-minerales han sido considerados como factores de regulación y dinamismo. Se han verificado efectos empíricos de los ácidos húmicos sobre parámetros ambientales y han sido gradualmente limitados por la composición compleja de los ácidos húmicos. En el presente estudio los AHs derivados o transformados químicamente se estudiaron por espectroscopía IR (infrarrojo) La información aporta la correlación espectroscópica con parámetros de importancia estructural e interés agronómico.

5.1. Ubicación

La investigación para la rehabilitación de un suelo de chinampa de Tláhuac se realizó en invernadero y en campo, la parcela experimental ubicada en Santa Cecilia, Delegación Tláhuac, D.F. (Figura 4). Se localiza entre los paralelos 19° 16' 06'' N y 99° 00' 16'' O, con una altitud de 2 200 m. El clima templado subhúmedo, C (1) (w) b (i), con lluvias en verano, lluvia invernal menor de 5%, temperatura media anual de 12 °C, con precipitación de 600 a 800 mm. Colinda al norte con la Delegación Iztapalapa, Milpa Alta al sur, Xochimilco al oeste y el Estado de México al este.



Figura 4. Localización del sitio experimental Chinampería de Tláhuac. DF, México (↘), 600×600 píxeles. INEGI, 2011.



Figura 5a. Aspecto inicial del paisaje en el suelo salino-sódico de Tláhuac antes de aplicar el lavado y las enmiendas: AHs, composta, ácido láctico.



Figura 5b. Costras salinas blancas del suelo de Santa Cecilia, Tláhuac D. F.

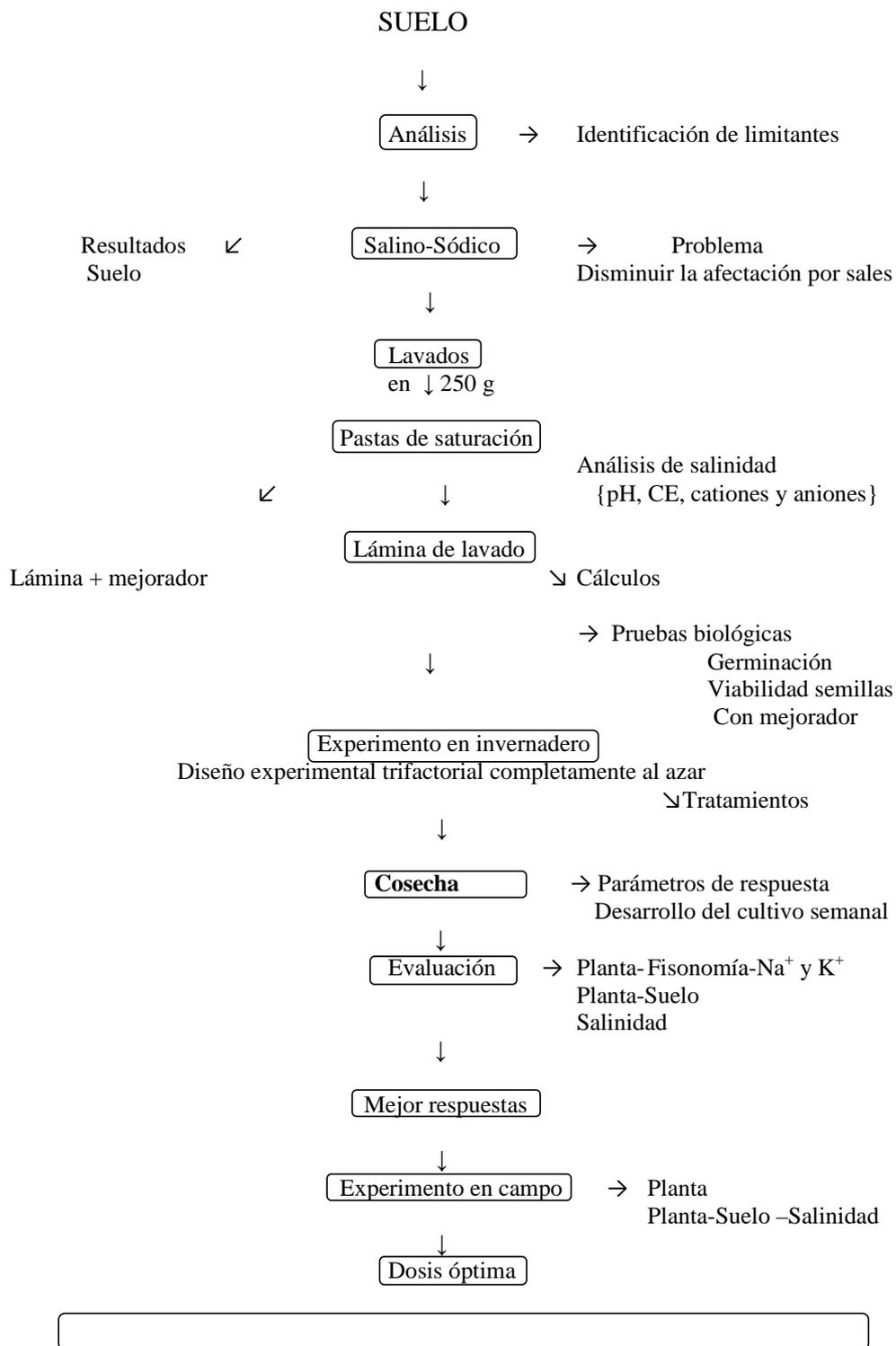


Figura 6. Diagrama investigación. Rehabilitación de un suelo salino sódico con enmiendas orgánicas y su efecto en el desarrollo del zempasúchil (*Tagetes erecta* L.) en Tláhuac, D. F.

5. 2. Descripción del perfil

Se hizo un perfil del suelo en el área de estudio de 1.10 cm de profundidad con 2 m de largo por 1.5 de ancho, se realizó la descripción de siete horizontes (Cuadro 7), se tomaron las muestras que se trasladaron al laboratorio, se secaron a temperatura ambiente para sus análisis físicos y químicos (Siebe, 1996).

5.3. Análisis físicos y químicos del suelo y de las enmiendas

Se realizaron pruebas de caracterización físicas y químicas del suelo a una profundidad de 0-20 cm y de las enmiendas aplicadas al suelo. Las muestras se secaron al aire y se tamizaron por apertura 2 mm. Se determinó el pH con agua en relación 1.5 en un potenciómetro Corning, modelo 7. Para CIC se valoró por el método del acetato de amonio (ISRIC, 2002).

5.4. Determinación del contenido de carbono total

El contenido C_{total} oxidable se valoró por el método de (Walkley y Black, 1960; Jackson, 1982). Se repite la extracción con solución Kononova, para conocer la eficiencia de extracción del método (ANEXO 4).

El contenido de N_{total} se determinó por el método de Kjeldahl modificado con un destilador Büchi B-316 y un digestor Büchi 426 (Page, 1982).



Figura 7. Canal de riego antrópico del área de estudio.

5.5. Enmienda composta

La composta provino del proceso de composteo realizado en el Departamento de Áreas Verdes y Forestación, Jardín Botánico de la UNAM; con la acumulación de materiales de desechos de eucalipto, estiércol de conejo y de basura de la UNAM, con previa selección de materiales inorgánicos que se retiraron en la zona de acarreo y almacenamiento del Vivero Alto (Figura 8^a, 8b).

5.6. Proceso de composteo

El composteo se realizó durante 180 días comprendió tres fases: psicrófila, mesófila y termófila con una técnica de aireación y humedecimiento, con volteos periódicos con un promedio de tres veces por mes. Los materiales orgánicos obtenidos se colocaron en molinos mecánicos, se trituraron para disminuir el tamaño de partícula y se mezclaron (Figura 8a, 8b). Se realizó el riego que garantizó el porcentaje de humedad y la actividad microbiana (Figura 9^a, 9b). Se hizo la remoción con humedecimiento mediante el uso de un trascabo con pala cargadora y brazo de retro excavación, para favorecer la aireación. La

degradación de los materiales de desecho y la producción de vapor de agua emerge (Figura 9c, 9d). Este proceso se repitió durante tres meses hasta obtener la composta madura a 80°C, para favorecer el menor tamaño de partículas, con color oscuro y olor dulce a fruta.



Figura 8 a. Inicio del proceso de transformación de partículas grandes.



Figura 8 b. Remoción de la MO.



Figura 9 a. Humedecimiento.



Figura 9 b. Actividad microbiana con emisión de vapor de H₂O.



Figura 9 c.



Figura 9 d.

Figura 9. Proceso de composteo realizado en la UNAM. Transformación de la MO a partículas de menor tamaño como producto del composteo en la fase termófila que alcanzó hasta a 80 °C.

5.7. Mineralización del carbono de los suelos

En matraces Erlenmeyer de 250 ml con 25 g de suelo homogeneizado a 2 mm, a una humedad de 60 % de la capacidad de campo, manteniéndolos en una cámara de cultivo a 30°C, se obtiene el desprendimiento de CO₂, de las muestras de suelo se midió conectando el tubo de salida a un analizador de C Carmograph-12 (Wösthoff), mientras el tubo de entrada al matraz se conectó a una columna de cal sodada para permitir la renovación de la atmósfera del matraz mediante aire libre de CO₂. Las mediciones del CO₂ desprendido se realizaron durante 19 días, en la actividad respiratoria de los suelos se expresó en mg C 100 g de suelo⁻¹ (Almendros *et al.*, 1990).

5.8. Caracterización de los ácidos húmicos

En los AHs extraídos de la composta y del suelo se analizaron algunas de sus características estructurales, se profundizó obteniendo sus propiedades ópticas, espectroscopía visible; propiedades coloidales por el método de umbral de coagulación, espectroscopía de infrarrojo y electroforesis.

5.9. Extracción de ácidos húmicos de la composta

La composta se secó al medio ambiente, se molió en un mortero de ágata y se tamizó por malla 10, las sustancias húmicas (SHs) se obtuvieron con el método de extracción (Dabin, 1971).

Conforme al contenido de C se pesaron 16 g de composta (para obtener 1 g de C) se agregaron 150 ml de H₃PO₄ 2M, se agitó 5 minutos y centrifugó a 3 500 g durante 5 min. El sobrenadante se decantó sobre papel filtro previamente pesado. El tratamiento se repitió tres veces. La fracción retenida en el papel filtro correspondió a la materia orgánica libre MO, se lavó con H₂O destilada, se secó a 40°C y se pesó. El residuo se lavó con H₂O hasta

pH 4, fue sometido a tratamientos repetidos con $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0.1M (2 veces) y con NaOH 0.1M hasta la extracción total de las sustancias húmicas extraíbles (AHs y AFs). Se juntaron los extractos de los tratamientos sucesivos y se determinó su volumen (ANEXO 4).

Para la cuantificación de los contenidos de C de los AH se tomaron alícuotas de 5 ml del extracto. Del mismo extracto total (AHs + AFs) se tomó una alícuota de 200 ml, acidificándola con H_2SO_4 1:1 hasta pH 1.5. Se dejó reposar una noche. Se centrifugó a 3000 g se obtuvieron en el precipitado los AHs, que se disolvieron a pH 12 (NaOH 0.5M), se aforó a 50 ml, se valoró el contenido de C por el método de Walkley y Black en una alícuota de 5 ml. El contenido en C de AFs se obtuvo por diferencia entre la concentración de AHs y AFs en una alícuota de 5 ml desecado.

5.10. Germinación del zempasúchil

Se obtuvieron las semillas (Figura 10) de la variedad criolla (silvestre) mejoradas y certificadas (Figura 6). Se hicieron pruebas de germinación en 400 cajas de Petri con cuatro repeticiones, para cuantificar la viabilidad de las semillas de zempasúchil y obtener el porcentaje de germinación para valorar el efecto del ácido láctico con 3 diluciones (1:10, 1:100 y 1:1000).



Figura 10. *Tagetes erecta* L. Semillade zempasúchil criolla (Escala real 1 cm).

5.11. Dosis de los mejoradores

Los cálculos de las dosis de ácido láctico se realizaron para aplicarlas a las unidades experimentales con 2kg de suelo (Cuadro 5 y ANEXO 1). La elección de las dosis para los ácidos húmicos y la composta se basaron en dosis probadas de 60 ton/ha para ácidos húmicos H1= 60 ppm y para composta C1= 60 ton·ha (García Calderón *et. al.*, 1994) y C2=90 ton·ha.

Caracterización

5.12. Umbral de coagulación

Método de Kononova y Bel'chikova (1960)

- i. La solución de los AHs de pH 12 se centrifugó a 12 000 rpm en un tubo de Nalgene con tapa, durante 20 minutos.
- ii. Se desechó el sedimento de las arcillas.
- iii. El sobrenadante de los AHs se transfirió a un matraz de Erlenmeyer y se precipitó con H₂SO₄ hasta 1.5 de pH.
- iv. Se dejó reposar, se decantó y el precipitado se centrifugó 10 minutos a 2 500 rpm para concentrarlos. Se colocaron en un tubo para diálisis Spectrapor con sensibilidad de paso de 6 000 UD.
- v. Se lavaron durante dos a cuatro días en agua destilada hasta eliminar las sales.
- vi. Una vez lavados se trasvasaron al matraz aforado de 125 ml para tomar una alícuota de 10 ml y determinar el contenido de C por el método de Walkley y Black.
- vii. Con los resultados se realizaron cálculos para obtener los mililitros necesarios para aforar a 100 ml.

Cálculos para el suelo

$$Y = \text{ml blanco (23.4)} - 19.6 \text{ ml} = 3.8 \cdot 0.1596 = 0.6064$$

$$13.6 / y = 13.6 / 0.6064 = 22.43 \text{ ml}$$

Para la composta

$$Y = 23.4 - 19.15 \cdot 0.1596 = 0.6783$$

$$13.6 / y = 13.6 / 0.6783 = 20 \text{ ml}$$

- viii. Una vez calculadas las alícuotas correspondientes se aforaron a 100 ml con NaHCO_3 (0.02N).
- ix. Se dejaron reposar 4 días para que se estabilizara el pH a 7 y asegurar su dispersión homogénea.
- x. Se prepararon las muestras en dos series de tubos con agua y con CaCl_2 , una para la muestra de suelo y la otra para la composta.
- xi. Se agregó la muestra a cada tubo, se agitó y se dejó reposar durante 2 horas. Se hizo una primera lectura de cada uno de los tubos con respecto al grado de coagulación o turbidez del coloide, se continuó el reposo 2 horas más y se hizo la última valoración de la formación de precipitados en cada uno de los tubos.
- xii. Con las lecturas anteriores se valoró la cantidad de Ca^{2+} en $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}$ comparativamente, para en las muestras de Suelo como en Composta.

5.13. Espectroscopía visible

El procedimiento para la determinación espectroscopía visible y la determinación de la relación E_4/E_6 de los AHs con el método de espectrofotometría. Para obtener las curvas de la espectroscopía visible se midió la relación E_4/E_6 y la absorbancia en el rango de 465 a 665 nm (Chen *et al.*, 2004), con el espectrofotómetro Perkin Elmer UV/Vis Lambda 2.

5.14. Purificación de los ácidos húmicos

Los AHs se purificaron por redisolución en NaOH 1M, centrifugando la solución alcalina resultante a 12,000 g. Se decantaron los AHs en solución y se acidificaron con HCl a pH 1.5, el precipitado se desmineralizó con la mezcla HCl-HF 1M durante 24 h repitiéndose

tres veces el tratamiento. Los AHs obtenidos se lavaron en tubo de diálisis (Visking ® Medicell # 6, 27/32) y se desecaron en cápsulas de porcelana a 40°C (Almendros *et al.*, 1982; Stevenson, 1994).

5.15. Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)

Los espectros FTIR de los AHs se obtuvieron en un espectrofotómetro Bruker IFS28 con transformada de Fourier a partir de pastillas preparadas con 3 mg de muestra de AHs y 200 mg de KBr. Los AHs se homogeneizaron en un mortero de ágata y se secaron a 40 °C durante 8 h. El rango de adquisición de los espectros fue de 4 000 a 400 cm^{-1} . Para ello se realizaron mediciones de la intensidad de diferentes bandas correspondientes a los principales grupos funcionales de la molécula. Para facilitar el reconocimiento de patrones a partir de los espectros, se aplicó un procedimiento matemático para aumentar su resolución, basado en la sustracción digital del espectro original de un múltiplo positivo de su 2ª derivada (Rosenfeld y Kak, 1982).

5.16. Electroforesis de los ácidos húmicos

Para el estudio de los AHs por electroforesis, se utilizó un soporte de celulosa, una fuente de electroforesis Desaga y una cubeta Elphor. Añadiendo bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, 9.54 g L^{-1}) como tampón. Se disolvieron 3 mg de cada muestra en NaOH 1 M y se depositaron sobre tiras de papel Whatman #1 (Freifelder, 1991). En los electroforegramas se determinaron las áreas por porcentaje y la relación (AHs inmóviles/AHs móviles (Jambu, 1970; Jacquin, *et al.*, 1970).

5.17. Experimento de Invernadero

Se realizaron los cálculos para conocer la cantidad de ácido láctico·ha que se requirió para cambiar al suelo de 0 a 30 cm, a una densidad $0.97 \text{ Mg}\cdot\text{m}^3$ y el volumen obtenido fue de 310 400 litros (ANEXO 2).

Antes de establecer el diseño experimental se realizaron pruebas para conocer los efectos de la aplicación de la lámina de lavado y las enmiendas (ANEXO 3).

Se estableció un diseño experimental trifactorial en invernadero con arreglo combinatorio y distribución completamente al azar, con 18 tratamientos y cuatro repeticiones, constituyendo 72 unidades experimentales (Cuadro 4), con las dosis AHs, composta y ácido láctico.

Se aplicó la lámina de lavado probada de 1.250 L, se agregó ácido láctico previamente en la proporción de 40 ml a cada unidad experimental de 2 kg de suelo (Cuadro 4), para obtener la mejor respuesta del efecto de las enmiendas aplicadas al suelo salino sódico, sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de zempasúchil en Tláhuac, D. F. (Cuadros 14 y 15).

Las dosis probadas y aplicadas fueron de AHs 60 mg obteniendo la dosis equivalente $H1=120 \text{ mg}$ y la dosis doble a probar $H2=240 \text{ mg}$. El factor composta está considerado en $60 \text{ ton}\cdot\text{ha}$, la dosis equivalente es $C1=37.5 \text{ g}$ y la doble dosis a probar es $C2=56.25 \text{ g}\cdot\text{unidad experimental}$ y el mejorador ácido láctico con 40 ml como dosis única (Cuadro 5).

Se aplicaron 8 dosis con 18 tratamientos en 72 unidades experimentales (Cuadros 4 y 5). Se trataron 36 con mejorador y 36 sin mejorador, 48 con AHs y 48 con composta: 3 dosis para AHs (240 mg), 3 para composta ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y 2 para el mejorador $M0=0$ y $M1=34.10^6 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Reyes, 1992).

Cuadro 4. Diseño experimental trifactorial para conocer el efecto de los mejoradores a nivel invernadero en el desarrollo del zempasúchil

Enmienda I	Enmienda II	Enmienda III	Tratamientos			Número de Tratamiento
AHs	Composta	Ácido láctico				
AH0	C0	M0	AH0	C0	M0	1
AH0	C0	M1	AH0	C0	M1	2
AH0	C1	M0	AH0	C1	M0	3
AH0	C1	M1	AH0	C1	M1	4
AH0	C2	M0	AH0	C2	M0	5
AH0	C2	M1	AH0	C2	M1	6
AH1	C0	M0	AH1	C0	M0	7
AH1	C0	M1	AH1	C0	M1	8
AH1	C1	M0	AH1	C1	M0	9
AH1	C1	M1	AH1	C1	M1	10
AH1	C2	M0	AH1	C2	M0	11
AH1	C2	M1	AH1	C2	M1	12
AH2	C0	M0	AH2	C0	M0	13
AH2	C0	M1	AH2	C0	M1	14
AH2	C1	M0	AH2	C1	M0	15
AH2	C1	M1	AH2	C1	M1	16
AH2	C2	M0	AH2	C2	M0	17
AH2	C2	M1	AH2	C2	M1	18

Ácidos Húmicos = AH. Composta = C. Mejorador ácido láctico = M

Cuadro 5. Dosis de las enmiendas Mg.ha⁻¹

Ácidos húmicos	Dosis
	1. H0
	2. H1= 0.120 g
	3. H2 = 0.240 g
Composta	
	1. C0
	2. C1 = 37.5 g/2 000 g suelo
	3. C2 = 56.25g/2 000 g suelo
Ácido láctico	
	1. M0
	2. M1= 40 ml/2kg suelo

AHs=Ácidos húmicos. C=Composta.
M=Mejorador ácido láctico.

5.18. Unidades experimentales

En cada unidad experimental macetas con 2 kg de suelo de Tláhuac se sembraron 4 semillas de zempasúchil (Cuadro 4). Con la adición de ácidos húmicos H2=240 mg, de composta 60 ton/ha con dosis sencilla y doble g/kg^{-1} de C1=Composta 60 Mg/ha^{-1} y M1=mejorador ácido láctico=40 ml (Venegas-González, 2005). Se realizan pruebas con y sin el efecto del ácido láctico con la lámina de 1 250 L, con la variación del pH y CE.

El riego se realizó a capacidad de campo cada tercer día durante 4 meses. Las unidades experimentales se cambiaron aleatoriamente cada semana. Se valoró el efecto del ácido láctico en la germinación (ANEXOS 6) y el efecto de las enmiendas en la germinación en el invernadero (ANEXO7). El crecimiento y desarrollo de las plantas se valoró cada semana y a las 16 semanas se cosechó.

Se realizó la valoración estadística de la cosecha con 12 plantas por cada uno de los 18 tratamientos en las variables de respuesta: longitud total, grosor tallo, número de ramas, número de botones, peso húmedo, número de flores y diámetro, peso seco, peso seco flor, peso follaje, peso seco raíz y peso flor.

El diseño trifactorial en Tláhuac evaluado con ANOVA y análisis canónico, rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (h_a), porque demostró el efecto de los tres factores (ácidos húmico, composta y ácido láctico) en la interacción de 12 atributos o variables de respuesta con la significancia (longitud total, número de ramas, número de flores, diámetro, peso seco en follaje, peso seco en flores), porque presentaron diferencias significativas en los tratamientos 12-H1C2M0, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1. Se incluyen las observaciones del crecimiento obtenidas en los 18 tratamientos del cultivo del invernadero (ANEXO 8).

5.19. Análisis de cationes y aniones después del cultivo en suelo y en planta.

Determinación de parámetros diagnóstico.

De las muestras de suelo tomadas después de la cosecha del zempasúchil se cuantificaron los cationes y aniones en los extractos de las pastas de saturación, la relación sodio-potasio, sodio-calcio y el seguimiento de la relación suelo-planta (FAO 1988).

Se valoraron los niveles de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} iniciales y finales del suelo y la cosecha se valoró en: suelo follaje y flores.

5.20. Determinación de cenizas totales. Método (Arkeley, 1960).

Después de la cosecha las plantas se pesaron en fresco. Se lavaron y sumergieron en HCl 0.1N. Se enjuagaron varias veces con agua de la llave y agua destilada. Se secaron a medio ambiente y a 40 °C en la estufa. Una vez seco el material se determinó el peso seco.

Las muestras del follaje y de los capítulos (flores) se molieron en un molino Wiley con malla No. 40. Se colocó en los crisoles previamente pesados y se agregó HCl al 25 %.

Se enjuagaron y se secaron a peso constante a 110 °C y se pesaron en la balanza analítica.

Se agregó 1 g de material vegetal y 1 g de $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$. Se mezcló y calentó con mechero hasta que no se desprendieran vapores. Se colocó en la mufla durante 6 horas a 500° C. Una vez frío se pesaron los crisoles y se calculó el porcentaje de cenizas.

A las cenizas se agregaron 5 ml de HCl concentrado. Se colocaron en placa caliente a 60° C hasta disolución. Se filtraron con papel Whatman No. 2, se enjuagaron con agua destilada tibia varias veces y se aforaron a 100 ml.

Se tomaron alícuotas para calcular los contenidos de Ca^{2+} , Mg^{2+} por el método del Versenato, Na^+ y K^+ por flamometría (Jackson 1982). Se calculó el porcentaje de cenizas totales de las muestras (Cuadros 21 y 22).

5.21. Experimento en Campo

El experimento en campo se ubicó en un Antrosol térrico flúvico salino sódico (WRB, 1999) de Tláhuac, a 19° 16' 06" N y 99° 00' 16" de O. Se estableció en un área rectangular de 121m², con 16 parcelas de 3m² c/u, con cuatro repeticiones, en un arreglo al azar, separadas por franjas de 50cm (Cuadro 6).

Previamente se aplicó al suelo una lámina de lavado de 6m³ para lixiviar el exceso de sales, conforme a los resultados del primer experimento de invernadero. Se probó con la aplicación de los tres mejores tratamientos obtenidos en invernadero: el 15-H2C1M0 sin ácido láctico y el 12-H1C2M1 y el 16-H2C1M1 con ácido láctico, con respecto al testigo absoluto (González *et al.*, 2000).

Cuadro 6. Distribución de parcelas del experimento en campo con los mejores tratamientos

Tratamientos	1	15	12	16	16	16	1	15
Parcelas	1	2	3	4	5	6	7	8
Parcelas	9	10	11	12	13	14	15	16
Tratamientos	12	1	15	12	15	1	16	12

Tratamientos: 12= H1C2M1 y 16= H2C1M1 con mejorador, 15= H2C1M0 sin mejorador y 1= testigo.

Se tomaron muestras del suelo de cada parcela de 0-20 cm de profundidad, antes del trasplante y después de la cosecha, se secaron, tamizaron y se determinaron las propiedades químicas, de los suelos salinos (Allison, 1994).

Se aplicó el ácido láctico y se dejó reaccionar por 10 días. Se prepararon las dosis de los tratamientos seleccionados a probar en las 16 parcelas, y al cabo de los 10 días se adicionaron las enmiendas con sus correspondientes dosis: i) ácidos húmicos extraídos de la composta AHs. ii) composta C y iii) ácido láctico industrial M (Cuadro 5).

Se estableció el mismo tipo de semilla criolla de zempasúchil certificada que en invernadero, con siembra de almácigo en chapines (Figura 11). Se obtuvo el 100% de

germinación en el almácigo a los nueve días, se realizó el trasplante de los chapines, a la semana en 30 grupos de 4 plántulas por cada una de las 16 parcelas, se obtuvo la respuesta de la floración del cultivo de zempasúchil (*Tagetes erecta* L.) a los cuatro meses.



Figura 11. Técnica agrícola de chapines de 3x3 cm con 4 semillas de *Tagetes erecta* L.

Al cabo de 16 semanas se cosecharon 30 plantas ubicadas en la parte central de cada parcela y de cada una de las 16 parcelas (480 plantas). El rendimiento del experimento se calculó con 30 plantas por parcela.



Figura 12. Desarrollo de las plantas de *Tagetes erecta* L. del tratamiento testigo en contraste con el tratamiento 16-H2C1M0.

5.22. Variables de respuesta del cultivo en campo

Las plantas al término de la cosecha se midieron, registraron y analizaron en variables de respuesta: longitud total de la planta, número de flores por planta, diámetro de flores, peso seco de las flores y peso seco del follaje por planta (Triola, 2009).

5.23 Significancia

Se probó el análisis estadístico con ANOVA. La hipótesis basada en la nulidad de las diferencias; la diferencia de promedios de las muestras es cero (H_0) o hipótesis de nulidad (Sánchez, 2010). La hipótesis contraria la alternativa (H_a), basada en la no nulidad de las diferencias. La hipótesis H_a excluye la hipótesis H_0 , o viceversa. Se aceptó la hipótesis H_a y se rechazó la hipótesis H_0 , que resultó cierta. Es decir corren el riesgo de equivocarse 5 veces en 100 (una vez en 20) o una vez en 100α 0.05 o 0.01 o 5 % y 1 %. Por tanto la H_0 se acepta y es una variación debida a una causa y no al azar o a la casualidad.

El análisis de varianza (técnica Fisher) se utilizó cuando se tienen dos o más tratamientos. Se separó la variación total observada, las diferentes causas o factores de variación que influyeron en cualquier experimento y que afectaron en distinto grado el efecto de los tratamientos: Se separaron los grados de libertad para cada factor o causa de variación. Se calculó la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones con respecto a la media, para cada causa de variación. Se calculan las varianzas o cuadrados medios para cada factor de variación.

Se probó la hipótesis por medio de la prueba de F o relación de varianzas. Se comparan las medias de los tratamientos (discriminación de variables). Como la F resultó significativa, las conclusiones son equivalentes a indicar que los tratamientos tuvieron efectos distintos o que las diferencias entre las medias de los tratamientos fueron significativas si $p < 5\%$ o altamente significativas si $p < 1\%$.

Como los tratamientos fueron numerosos se siguen diferentes métodos para discriminar variables y clasificar los tratamientos. Se afirma que si la diferencia entre las medias de los tratamientos fue altamente significativa, los tratamientos producen efectos distintos. Las pruebas de la significancia de las diferencias entre los tratamientos, se eligieron para elegir el mejor tratamiento.

Se utilizó la prueba de F que indicó que la variabilidad entre los tratamientos no se debe al azar, sino a un efecto distinto de dichos tratamientos, lo que indicó que las diferencias fueron significativas entre las medias de las poblaciones, estimadas por las medias de las muestras. La prueba de F no indicó cuales medias son iguales o cuales son diferentes. Por lo que se hicieron las pruebas de significancia de las diferencias o las comparaciones entre las medias de los tratamientos, con la prueba de Tukey, de Duncan o comparaciones ortogonales. La prueba de F fue significativa, las comparaciones entre las medias fueron independientes y el número de comparaciones independientes (llamadas ortogonales) fue igual a $k - 1$ o al número de GL. Son independientes cuando cada media aparece únicamente en una comparación.

La prueba de ANOVA afirma que la varianza se necesita únicamente con la suma de los cuadrados entre grupos. La fórmula de los cuadrados deduce una importante regla para el análisis de varianza. “Para encontrar la suma de los cuadrados entre cualquier conjunto de grupos, se eleva al cuadrado la suma de cada grupo y se divide por su tamaño la de muestra”. Se suman los cocientes de estas operaciones y se resta a esta suma un término de corrección. Para encontrar ese término de corrección se suman todos los datos del conjunto, se eleva al cuadrado esta suma y se divide por el número de datos sobre los que se ha basado la suma. MANOVA es un análisis simultáneo de varias variables dependientes llamadas análisis de multivarianza.

La prueba de Tukey se utilizó para comparaciones múltiples. Consistió en calcular un valor teórico común o diferencia mínima significativa. Cualquier par de medias subrayadas por la misma línea son iguales o la diferencia entre ellas no es significativa. Cuando dos medias no están subrayadas por la misma línea, la diferencia entre ellas es significativa.

Esta prueba Duncan se considera de Student o de t modificada. Permitió hacer comparaciones múltiples posibles y se utilizó cuando el número de tratamientos es considerable, aún cuando la prueba de F no sea significativa. También se conoce como prueba de t múltiple o t modificada, porque se usa un valor de tabulado por Duncan para 0.05 y 0.01 y para n 2 o GL del error experimental modificando la prueba de Student.

Con los datos del análisis de varianza, como la prueba de Tukey, Duncan permitieron hacer pruebas de significancia de las diferencias o las comparaciones entre las medias de los tratamientos, pero con mayor exigencia la prueba de Newman Keuls, se utilizó para discriminar variables y de esta forma destacó el tratamiento más significativo.

6.1.1 Descripción del perfil del suelo de Tláhuac

El límite del perfil del suelo Antrosol térrico flúvico correspondió al manto freático situado a 1.10 m de profundidad (Figura 13. Cuadro 12).

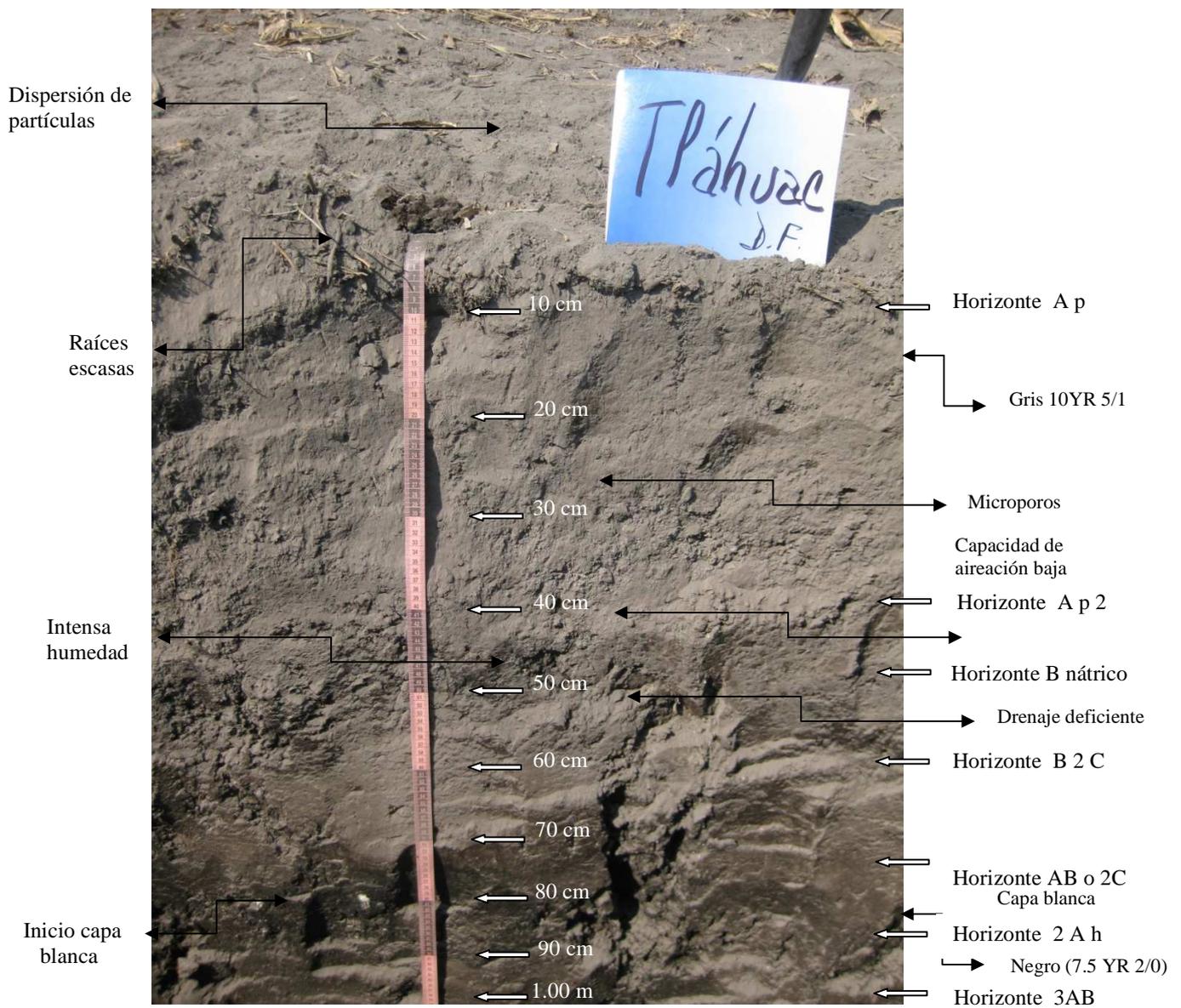


Figura 13. Perfil de Tláhuac, D. F.

El perfil presentó una profundidad de 1.10 m con 7 horizontes. Se identificó la capa blanca que separa dos tipos de horizontes, probablemente por algún evento volcánico o lacustre. Se muestra en el (Cuadro 7). La estructura en la superficie es granular y angular en la profundidad, nula pedregosidad. Con consistencia suave en seco y friable en húmedo. Las raíces son abundantes en la superficie y escasas en la profundidad. La humedad predomina y aumenta con la profundidad.

6.1.2 Características físicas del suelo

Las características físicas evidenciaron que el color del suelo en seco es gris de (10YR 6/1 hasta 10YR 4/1) y en húmedo negro (7.5 YR 2/0). En las capas de 0 a 30 cm del perfil del suelo se presentaron procesos cuya tendencia de las propiedades físicas fue semejante a estudios previos (Galicia, 1990). Se exhibió el mismo color hasta los 40 cm de profundidad, con una capa más clara de 40 a 50 cm y con la profundidad aumentó la intensidad de 50 a 110cm (Cuadro 8).

La densidad aparente presentó valor máximo de 0.97 disminuyendo a 0,71 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. En tanto que para densidad real el valor máximo fue de 1.85 a 1.02 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. La porosidad varió de 56.8 a 22.7%, siendo de 0 a 40 cm la zona más porosa con un valor promedio mayor de 50%. En granulometría las fracciones minerales, el contenido de arenas fue de 68 a 47.6%, los limos fluctuaron de 32 a 18%, aumentan con la porosidad. En tanto que las arcillas varían del 10 a 34.4%, disminuyen en la profundidad. Las fracciones arena y limo predominan en el suelo (Cuadro 8).

En el perfil de suelo se observó una tendencia a la disminución de la DA, DR, porosidad y el porcentaje de arcillas hasta los 40 cm de profundidad (Figuras 14 a, b, c y d). A partir de 50 a 110 cm la tendencia corresponde a variaciones irregulares de las características físicas entre las capas del suelo con predominancia de menor condición de drenaje (Cuadro 8).

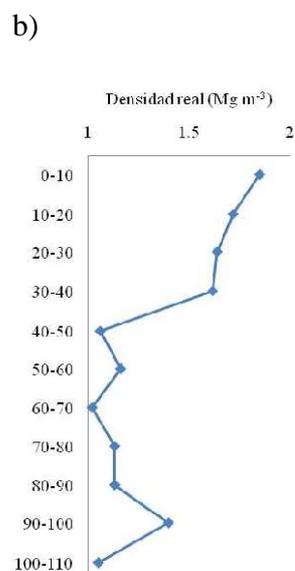
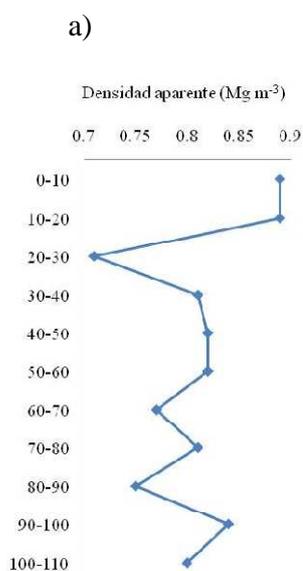
Cuadro 7. Descripción del perfil de Tláhuac, DF, Antrosol flúvico térrico (WRB, 1999)

No. de Horizontes	Horizontes	Horizontes (cm)		Características	Límites	Estructura	Pedregosidad	Consistencia		pH campo	Raíces finas	Características del perfil	D A Volumen Cilindro 115 cm ³ g/cm ³
1	A P	0-10		Partículas Dispersas	Claro uniforme	Granular migajosa Granular	Nula	Suave	Friable	8.5	Abundantes	Mayor densidad de raíces	0.66
2	A P 2	10	40	B Nátrico Diatomeas Enterrado.	Claro	subangular	Nula	Suave	Friable	8.5	Comunes	Raíces finas	0.64
3	B 2 C Nátrico	40	60	Horizonte nátrico	Claro uniforme	Na ⁺	Nula	Firme	Friable a firme	8.5	Escasas B Nátrico	Disminuyen las raíces finas	0.40
4	A B o 2 C	60	78	Capa blanca	Claro ondulado	Prismáticos medianos y grandes definidos	Nula	Firme	Firme	6.5	Escasas	Agregados firmes Mayores agregados, raíces escasas e	0.44
5	2 A h	78	83	Obscuro MO	Claro uniforme	Cenizas volcánicas. Subangular Subangular		Suave Ligera	Friable Ligera	6.5	Escasas	humedad	0.51
6	3 h 2	83	95	Obscuro MO	Claro irregular	medianos y pequeños	Nula	firmemente Ligeran	firmemente Ligeran	6	Escasas	Aumenta la humedad	0.36
7	3 A B	95	110	B	Claro regular	Angular compacto	Nula	firmemente	firmemente	8	Escasas	Se intensifica la humedad	0.47

Cuadro 8. Propiedades físicas del suelo de Tláhuac

Profundidad	Color		DA	DR	Porosidad	Tipo textural	Arena	Limo	Arcilla
	Seco	Húmedo	Mg/m ⁻³	Mg/m ⁻³	%		%	%	%
0-30	Gris 10YR 5/1	Negro 7.5YR 2/0	0.97	1.64	49.9	MAA'	46.6	27	27.4
0-10	Gris 10YR 5/1	Negro 7.5YR 2/0	0.89	1.85	51.9	MAA'	53.6	18	28.4
10-20	Gris 10YR 5/1	Negro 7.5YR 2/0	0.89	1.72	48.3	MAA'	47.6	18	34.4
20-30	Gris 10YR 5/1	Negro 7.5YR 2/0	0.71	1.64	56.8	MAA'	47.6	28	24.4
30-40	Gris 10YR 5/1	Negro 7.5YR 2/0	0.81	1.62	50	MA	60	26	14
40-50	Gris 10YR 6/1	Negro 7.5YR 2/0	0.82	1.06	22.7	MA	59.6	28	12.4
50-60	Gris 10YR 4/1	Negro 7.5YR 2/0	0.82	1.16	29.4	MA	64	23.6	12.4
60-70	Gris 10YR 5/1	Negro 7.5YR 2/0	0.77	1.02	24.6	MA	56	27.6	16.4
70-80	Gris 10YR 4/1	Negro 7.5YR 2/0	0.81	1.13	28.4	MA	64	23.6	12.4
80-90	Gris 10YR 4/1	Negro 7.5YR 2/0	0.75	1.13	33.7	MA	68	22	10
90-100	Gris 10YR 4/1	Negro 7.5YR 2/0	0.84	1.4	40	MA	64	26	10
100-110	Gris 10YR 4/1	Negro 7.5YR 2/0	0.8	1.05	23.9	MA	54	32	14

M=Migajón. A=Arenoso. A'=Arcilloso.



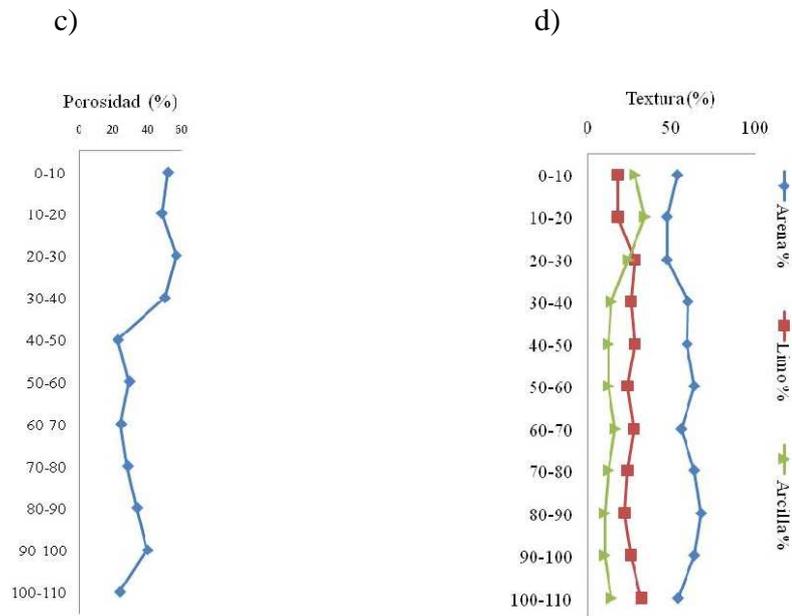


Figura 14. Propiedades físicas de los suelos de chinampa. Tláhuac (a, b, c, y d).

6.1.3 Características químicas del suelo

La reacción del suelo tuvo valores de pH en agua de 8.9 a 7.8 por lo que fue considerada de alcalina a ligeramente alcalina (Siebe *et al.*, 1996) y la tendencia fue su disminución gradual acorde con la profundidad. El pH con KCl sigue la misma tendencia a donde los valores disminuyeron a partir de los 50 cm (Cuadro 9 y Figura 15 a).

La CE en las pastas de saturación presentó de 23 a 18 dS/m índice de una elevada salinidad en los primeros 20 cm de profundidad y en ese sentido se clasifica como un suelo salino (Cuadro 9. Figura 15 b).

El contenido de COS fue de 59 a 98 g·kg⁻¹ minoritario en los primeros 20 cm con respecto a su distribución en el perfil, que aumentó en profundidad hasta 80 cm. Es importante aclarar que entre los 80 y 100 cm se encontró una capa con un contenido de 10 a 11.9 g·kg⁻¹ y en la

última capa se presentó nuevamente un incremento (Cuadro 9. Figura 15 c). La CIC fue elevada de $56 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ y en general se relacionó con los contenidos de C y de arcilla a través del perfil (Cuadro 9 y Figura 15 d).

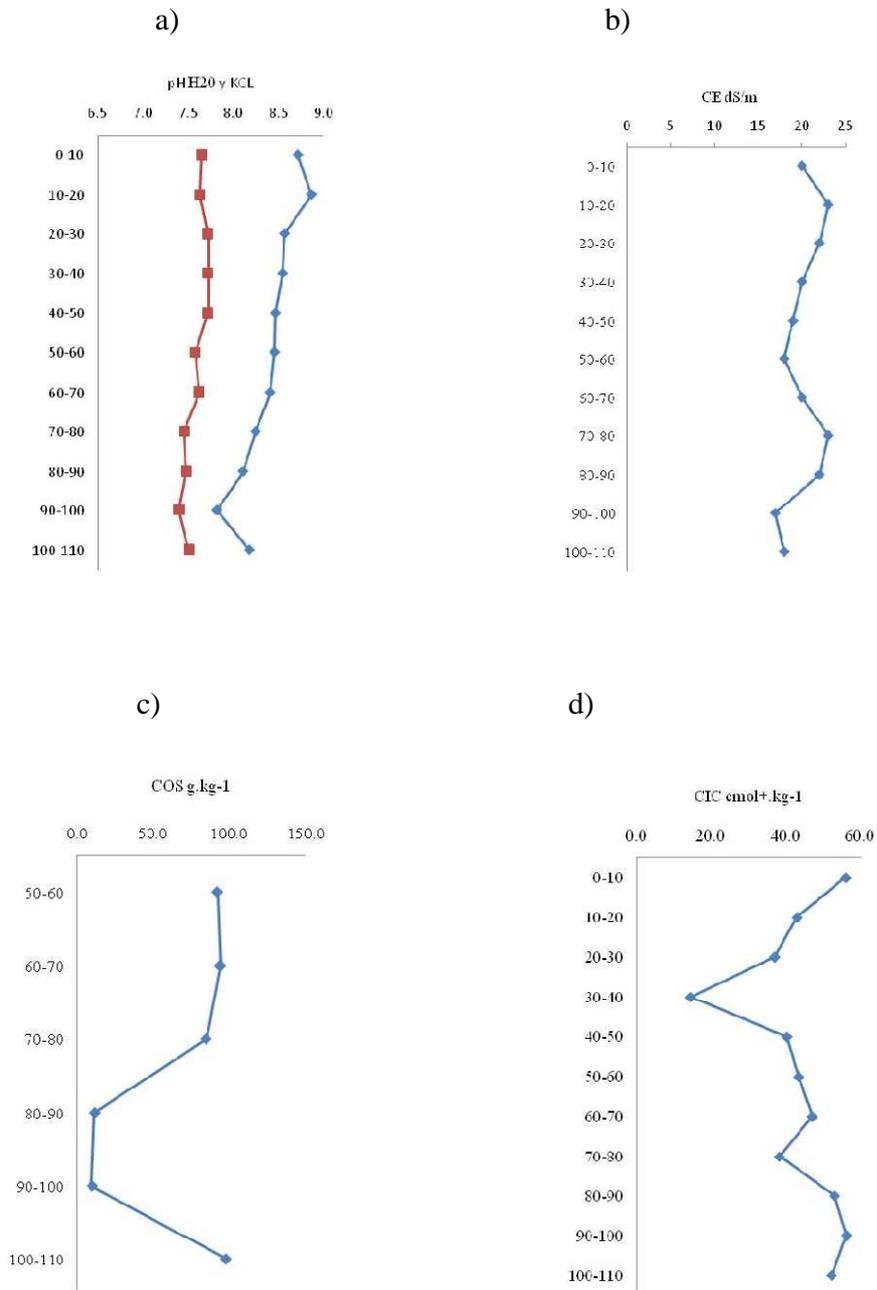


Figura 15. Propiedades químicas del suelo de chinampa. Tláhuac.

La tendencia de las propiedades químicas de pH, CE y CIC corresponde a una relación directa con el contenido de COS, que aumentó en profundidad (Figuras 16 a y b).

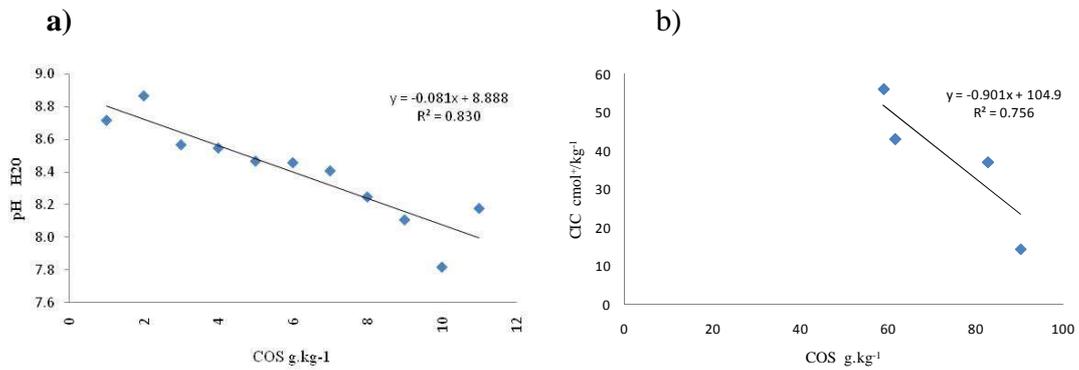


Figura 16. Relación de tendencia de COS con (a) pH y (b) CIC.

El contenido de COS presentó una relación de disminución inversa con las arcillas hasta los 80 cm (Figura 17).

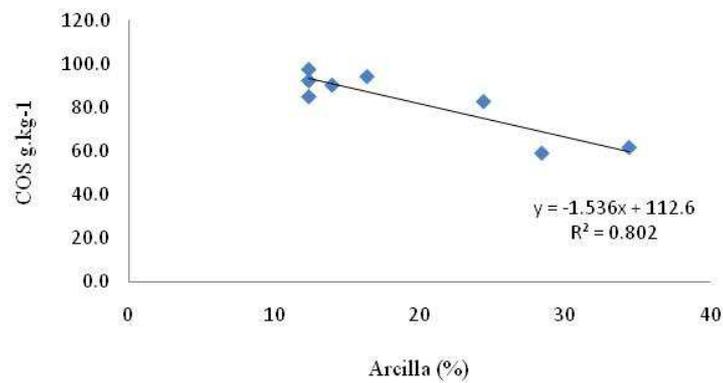


Figura 17. Relación del contenido de COS y arcillas

Cuadro 9. Caracterización química del suelo de Tláhuac

Profundidad	H ₂ O pH relación 1:5	KCl	CE dS/m	COS g.kg ⁻¹	CIC cmol ⁺ /kg ⁻¹
0-10	8.7	7.7	20	59.0	56.0
10-20	8.9	7.6	23	61.6	43.0
20-30	8.6	7.7	22	82.8	37.0
30-40	8.6	7.7	20	90.3	14.4
40-50	8.5	7.7	19	97.6	40.2
50-60	8.5	7.6	18	92.4	43.4
60-70	8.4	7.6	20	94.3	47.0
70-80	8.3	7.5	23	85.0	38.2
80-90	8.1	7.5	22	11.9	53.0
90-100	7.8	7.4	17	10.0	56.2
100-110	8.2	7.5	18	98.0	52.2

COS = Carbono orgánico del suelo.

CE = Conductividad eléctrica

6.2.1 Enmiendas. Caracterización y efectos de mejoramiento en el suelo

Los resultados de las pruebas preliminares de los mejoradores en diferentes combinaciones: composta, ácidos húmicos y ácido láctico que se adicionaron al suelo, así como la caracterización química con las láminas de lavado, presentaron disminución de CE.

Al aplicar los lavados al suelo y adicionar los mejoradores en la relación 1:100 se determinó el pH para conocer su variación durante 6 días, obteniendo un valor de 0.5 para el ácido láctico, de 1.3 a 1.7 en la combinación de ácido láctico-suelo, de 1.65 a 1.95 en ácido láctico-composta y de 1.35 de la mezcla ácido láctico-agua-suelo.

Las conductividades eléctricas obtenidas fueron: ácido láctico 0.07 dS·m⁻¹, ácido láctico-agua destilada-suelo 4.84 dS·m⁻¹, ácido láctico-agua-ácidos húmicos 2.43 dS·m⁻¹, ácido láctico-agua y ácidos húmicos 2.2 dS·m⁻¹, ácido láctico-agua-composta 2.35 dS·m⁻¹.

6.2.2. Lámina de lavado

Los resultados de la lámina de lavado donde previamente se aplicaron 5 ml de ácido láctico, se obtuvieron valores de CE decrecientes desde 23.8 a la mínima de 1.5 dS·m y con el aumento del pH de 7.5 a 8.6 con una lámina de lavado de 717 ml adicionada a 250 g de suelo (Cuadro 10. Figuras 18 y 19).

Con la aplicación de la lámina de lavado al determinar los contenidos de Na⁺ y K⁺ en las pastas de saturación con la aplicación del ácido láctico se observó el descenso de la salinidad y alcalinidad del suelo. El Na⁺ disminuyó de 30.43 cmol⁺·kg⁻¹ a 2.39 cmol⁺·kg⁻¹ y el K⁺ de 3.97 cmol⁺·kg⁻¹ a 0.61 cmol⁺·kg⁻¹. (Cuadro 10. Figura 20).

Cuadro 10. Resultados de la variación de las propiedades químicas con aplicación de la lámina de lavado y el ácido láctico

Número de lavados	CE dS·m	pH	Na ⁺ cmol ⁺ ·kg ⁻¹	K ⁺ cmol ⁺ ·kg ⁻¹	V agua del extracto ml
Inicial	23.8	7.5	30.43	3.97	100
1	13.3	7.8	7.78	3.53	50
2	10.9	8	7.39	3.05	45
3	8.8	8.1	5.86	2.53	45
4	8.1	8.2	5.39	2.30	37
5	6.8	8.1	8.78	3.53	37
6	6.1	8.2	4.26	1.84	37
7	5.3	8.3	3.69	1.82	38
8	4.2	8.2	2.82	1.41	34
9	4.0	8.4	5.86	1.15	30
10	3.3	8.5	5.00	1.05	43
11	2.7	8.3	4.26	0.89	35
12	2.2	8.2	3.47	0.79	44
13	2.0	8.4	2.82	0.74	39
14	1.7	8.5	3.30	0.76	33
15	1.5	8.6	2.82	0.79	35
16	1.5	8.6	2.39	0.61	35
V=Volumen					Total = 717

Figura 18. CE en las pruebas preliminares de las pastas de saturación

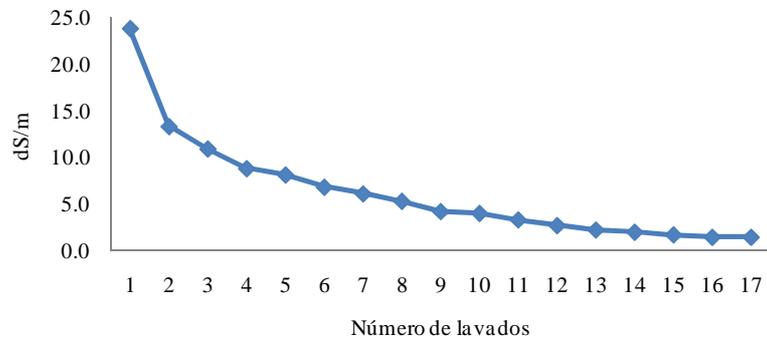


Figura 19. pH de las pruebas preliminares de las pastas de saturación

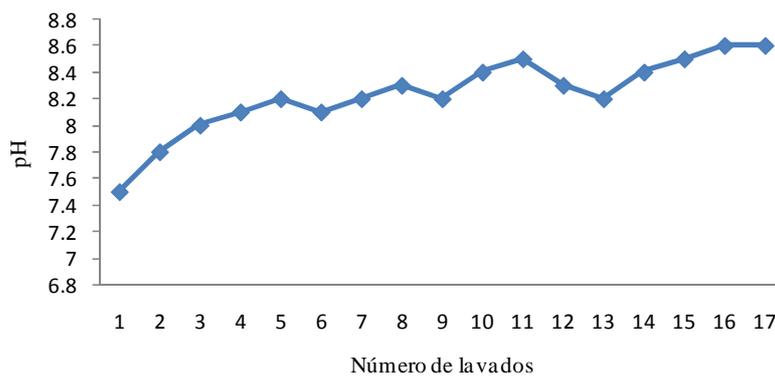
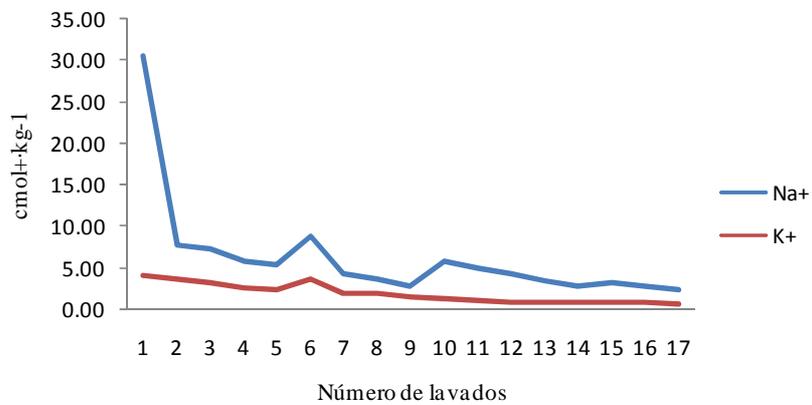


Figura 20. Contenido de cationes solubles en el extracto de pastas de saturación con ácido láctico



6.2.3 Caracterización de la composta y de las sustancias húmicas del suelo

La composta elegida presentó características químicas de contenido bajo de C equivalente a $11.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, la CE fue de $2.35 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y la CIC de $27 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$, sus AHs que se extrajeron con NH_4OH presentaron un contenido de C de $4.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Cuadro 12), con un rendimiento de extracción de 18% para AHs-AFs (ANEXOS 4 y 5). Los AHs extraídos de la composta su composición fue de % $C_{\text{org}} = 17$, $N = 1.39 \text{ g/kg}$, $C/N = 12$.

Los suelos de las parcelas tratadas: testigo con $C = 6.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $N = 0.6 \text{ g/kg}$, $C/N=11$.

Los AHs obtenidos de la composta se aplicaron a las unidades experimentales del cultivo del zempasúchil, presentaron un contenido de AHs de $15.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. En la caracterización del suelo y la composta, el contenido de AHs de la composta fue bajo de $15.80 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Cuadro 11).

Cuadro 11. Caracterización del suelo y de la composta

Cuadro 11. IS	pH	CE dS/m	C g/kg	N g/kg	C/N	CIC $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$	Relación E_4/E_6	C de AHs $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
Suelo 0.30 cm	8.70	15.30	65.00	6.00	10.83	30.00	3.90	15.70
Composta	5.90	2.40	17.00	1.39	12.20	27.40	6.30	17.00

6.2.4 Umbral de coagulación

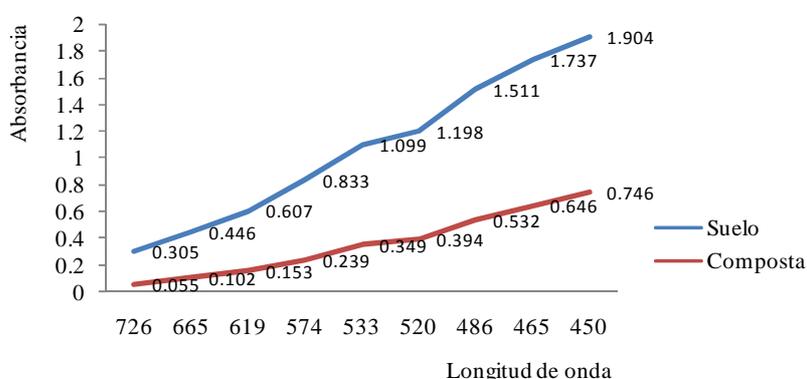
Se determinó el comportamiento de los AHs del suelo a la adición del electrolito CaCl_2 a 0.02 N con el contenido de $0.10 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ de $\text{Ca}^{2+}\cdot\text{L}^{-1}$ y determinó la capacidad de flocular con $20 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ de $\text{Ca}^{2+}\cdot\text{L}^{-1}$ de humato de Na^+ , que fue la floculación completa. Con la probabilidad de formar agregados y mayor evolución de los ácidos húmicos.

En el caso de la composta hubo una floculación incompleta con mayor concentración de electrolito, el gasto correspondió $40 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ de $\text{Ca}^{2+}\cdot\text{L}^{-1}$ de humato de sodio, la cual refleja menor floculación y menor condensación de los ácidos prehúmicos.

6.2.5 Espectroscopía visible. Propiedades ópticas de la composta y del suelo (E_4/E_6)

Se determinaron las propiedades ópticas de los AHs de la composta y del suelo. Los espectros visibles de los AHs extraídos del suelo testigo presentaron valores de la relación E_4/E_6 de densidad óptica de 3.9. Los valores más elevados obtenidos de la relación E_4/E_6 de densidad óptica (aromaticidad) de los AHs de la composta fueron de 6.3 (Figura 21).

Figura 21. Curva de las propiedades ópticas de los ácidos húmicos



6.3.1 Invernadero. Resultados químicos de las unidades experimentales

Con base a los resultados de las pruebas previas (ANEXOS 1, 2) se adicionó una lámina de lavado de 1.250 L. a cada una de las unidades experimentales (macetas) en el experimento de invernadero, observando la disminución de la CE de 23.8 a 1.8 dS/m (Cuadro 12. Figura 22 a), que repercutió en la disminución del contenido de cationes Na^+ , K^+ (Cuadro 12. Figuras 22 c y d). El pH con un aumento de 0.4 unidades después de la aplicación del ácido láctico (Figura 22 b).

Se presentan las proporciones en qué se modificaron las propiedades químicas desde el inicio al final del octavo lavado (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultados en las pastas de saturación de las pruebas preliminares

Muestras No.de lavados	CE dS/m	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	∑ Cationes cmol ⁺ ·kg ⁻¹	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	∑ Aniones
1er	23.8	8.4	182.6	4.6	26.6	146.0	359.8	94.0	34.5	ND	ND	128.5
Desviación E	6.6	8.4	56.8	2.2	6.7	74.2		41.0	-			
2o	15.8	8.2	147.8	4.6	24.7	121.0	298.2	79.0	34.5	ND	ND	113.5
Desviación E	0.9	8.3	61.6	0.9	6.7	73.5		39.6	12.2			
3o	13.4	8.7	13.0	2.3	17.1	49.0	81.4	45.0	34.5	ND	33.10	112.6
Desviación E	0.4	8.6	8.7	0.2	1.1	22.6		17.0	13.1			
4o	10.8	8.9	4.3	2.2	9.5	32.0	48.0	21.0	8.6	ND	ND	29.6
Desviación E	2.0	8.8	3.3	0.3	5.4	9.4		6.9	0.5			
5o	9	8.8	7.0	2.1	13.4	34.0	56.3	31.0	8.6	ND	27.00	66.6
Desviación E	1.3	8.7	3.1	0.2	0.7	13.9		4.9	0.0			
6o	7.6	8.6	5.6	1.4	15.2	20.0	42.1	19.0	8.6	ND	13.00	40.6
Desviación E	0.4	8.7	3.0	2.3	1.6	4.9		4.2	-			
7o	4.4	8.8	1.6	4.6	22.8	30.0	32.0	6.0	8.6	ND	12.00	26.6
Desviación E	3.1	8.7	3.0	2.0	1.3	8.5		0.7	-			
8o	1.8	8.7	1.3	1.1	16.4	43.0	61.8	14.0	8.6	ND	10.00	32.6
Desviación E	0.01	8.7	3.4	0.5	3.8	1.4		1.4	6.1			
Proporciones %	92.20	4.0	99.20	76.10	38.35	70.55		85.11	75.1	ND	69.79	

Volumen = 1.250 L

ND = Valor no detectado por el método

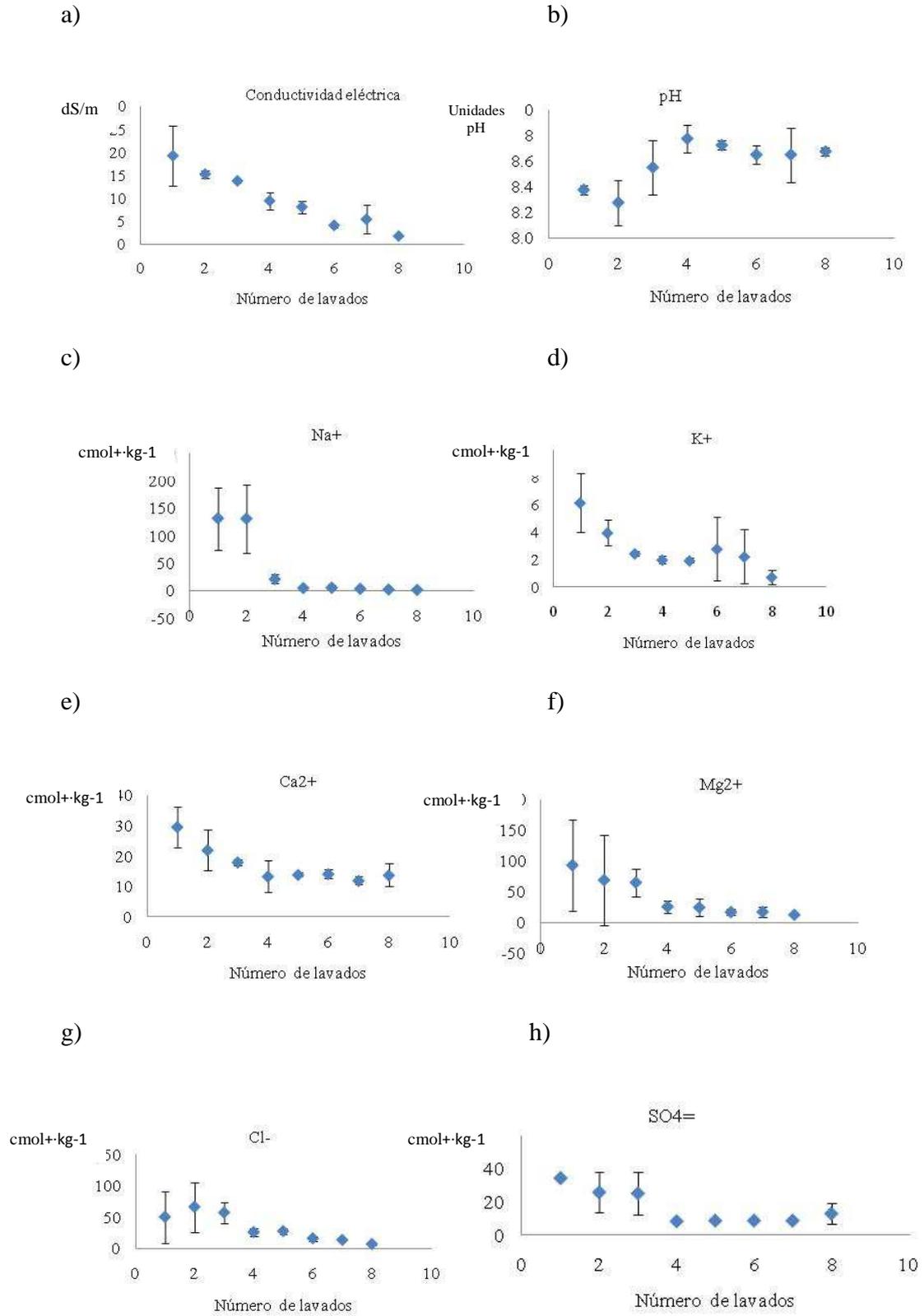


Figura 22. Desviaciones estándar en las pastas de saturación, CE, pH cationes y aniones.

El pH se manifestó resultados con un aumento 0.4 unidades después de la 4ª aplicación del ácido láctico posteriormente (Figura 22 b).

El descenso del contenido de cationes y aniones de las pastas de saturación de las unidades experimentales correspondió con la disminución de la salinidad en el suelo (Cuadro 12 y Figura 22 c, d, e, f, g y h).

La variación del contenido de cationes durante la aplicación de la lámina de lavado y la enmienda del ácido láctico disminuyó, con mayor desviación estándar para el Mg^{2+} de 74.24 a 1.41 (Cuadro 5. Figura 22 f) y el Ca^{+2} disminuyó de 6.71 a 3.81 (Cuadro 12. Figura 22 c).

La variación y disminución de la desviación estándar del contenido de cloruros fue alta de 41.01 a 1.41 y sulfatos de 0.00 a 6.09 y HCO_3^- de 33.1 a 10 (Figura 22 g y h).

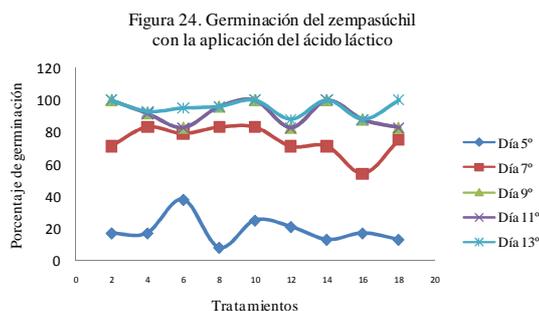
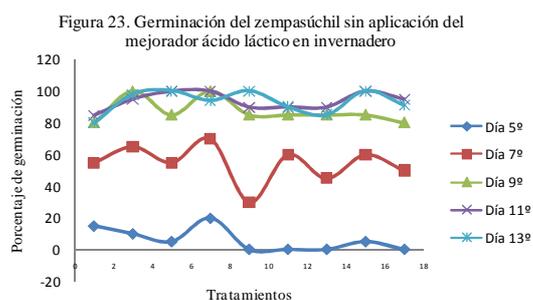
6.3.2 Experimento de invernadero. Germinación

Con las pruebas de germinación de las semillas mejoradas de zempasúchil variedad criolla silvestre, se realizaron con 3 disoluciones, durante 13 días y se evaluó, el resultado del porcentaje de semillas germinadas con la aplicación del ácido láctico a 0.0001% se obtuvo el mayor valor de 97% de germinación (ANEXO 6. Porcentaje de germinación) y sin ácido láctico se obtuvo el 87% (Cuadro 13).

Cuadro 13. Pruebas del efecto del mejorador ácido láctico

	Diluciones H ₂ O ml	Germinación	
		5 días	12 días
		%	
Testigo (control)		56	90
	1-10	4	14
Ácido láctico.	1-100	63	96
	1-1000	97	90

En el invernadero con la aplicación del ácido láctico se obtuvo el 96% de la germinación de las semillas y sin ácido láctico el 93%. El seguimiento de la germinación fue ligeramente mayor con la aplicación de ácido láctico (Figuras 23, 24 y ANEXO 7).



6.3.3 Los resultados del desarrollo del zempasúchil en invernadero

Antes de la siembra una vez adicionadas las enmiendas de los tratamientos ácidos húmicos-composta sin ácido láctico a las unidades experimentales con cuatro repeticiones y las mediciones de 24, 48 y 72 horas. Los promedios indicaron que los testigos absolutos tuvieron un pH de 8.2 a 8.4 con un pH promedio de 8.3 ligeramente alcalino, con una tendencia de aumento a 8.4 y los testigo con ácido láctico presentaron el pH menor de 7.5 a 8.0 con 7.7 de promedio.

A diferencia del pH del tratamiento 15-H2C1M0 que se mantuvo en 8.4 más alcalino y 8 ligeramente alcalino el tratamiento 16-H2C1M1, que fue de 7.8 a 8.2 ligeramente alcalino y menor con un promedio de 8 (Cuadros 14, 15).

La CE en el testigo varió entre 2 a 5.4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con un promedio de 3.6 y el tratamiento con ácido láctico presentó variaciones altas de 8.5 a 4.8 con un promedio de 6.4 a diferencia del mejor tratamiento 16-H2C1M1 que presentó CE de 9.5 a 7.4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de alta a ligeramente

alcalina, con promedio de $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, las CE de los tratamientos 15-H2C1M0 fueron ligeramente altas de $12.4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadros 14, 15).

El comportamiento del ácido láctico se reflejó en la disminución del pH de 8.3 a 7.7 en el testigo absoluto y en el aumento de la conductividad eléctrica de 3.6 a 6.4 después de aplicar la lámina de lavado. Esta tendencia de disminución del pH se observa en todos los tratamientos a diferencia de la CE que en general aumentó estos parámetros excepto, en los tratamientos 14, 16 y 18 (Cuadros 14, 15).

Cuadro 14. Resultados de cuatro repeticiones pH y CE en eluidos de las unidades experimentales de invernadero sin ácido láctico

Combinación	Tratamientos	Lecturas	pH			Promedio	CE			Promedio
			1a	2a	3a		dS/m			
			1a	2a	3a		1a	2a	3a	
AH0 C0 M0	1	Promedio	8.3	8.2	8.4	8.3	2.0	5.4	3.2	3.6
		DE	0.1	0.1	0.1		0.8	3.2	1.3	
AH0 C1 M0	3	Promedio	8.3	8.2	8.3	8.3	1.6	2.9	2.0	2.1
		DE	0.0	0.1	0.0		0.7	1.9	1.1	
AH0 C2 M0	5	Promedio	8.3	8.2	8.3	8.3	2.9	6.6	4.4	4.6
		DE	0.0	0.2	0.2		1.4	4.2	1.9	
AH1 C0 M0	7	Promedio	8.3	8.2	8.3	8.3	3.9	6.2	3.5	4.6
		DE	0.2	0.2	0.1		3.3	5.3	2.5	
AH1 C1 M0	9	Promedio	8.3	8.2	8.2	8.2	2.5	7.5	5.4	5.1
		DE	0.1	0.1	0.1		1.0	4.8	3.4	
AH1 C2 M0	11	Promedio	8.3	8.2	8.2	8.2	4.9	8.0	6.4	6.4
		DE	0.1	0.1	0.1		5.1	2.3	1.4	
AH2 C0 M0	13	Promedio	8.2	8.2	8.4	8.2	7.3	10.2	7.4	8.3
		DE	0.1	0.0	0.0		3.9	4.2	2.6	
AH2 C1 M0	15	Promedio	8.2	8.4	8.4	8.4	8.9	11.3	9.1	9.8
		DE	0.1	0.3	0.1		6.2	6.2	4.1	
AH2 C2 M0	17	Promedio	8.2	8.2	8.3	8.2	5.2	9.6	5.9	6.9
		DE	0.0	0.0	0.1		2.9	3.1	1.8	

Cuadro 15. Resultados de cuatro repeticiones pH y CE en eluídos de las unidades experimentales de invernadero con aplicación de ácido láctico

Combinación	Tratamientos	Lecturas	pH			Promedio	CE			Promedio
			1a	2a	3a		dS/m			
			1a	2a	3a		1a	2a	3a	
AH0 C0 M1	2	Promedio	7.5	7.6	8.0	7.7	8.5	4.8	5.8	6.4
		DE	0.2	0.4	0.1		1.6	1.6	1.7	
AH0 C1 M1	4	Promedio	7.7	7.9	8.0	7.9	10.1	6.3	7.0	7.8
		DE	0.1	0.1	0.1		1.5	1.6	1.2	
AH0 C2 M1	6	Promedio	7.6	7.9	8.0	7.8	7.9	6.2	5.6	6.6
		DE	0.1	0.1	0.0		2.9	1.0	0.6	
AH1 C0 M1	8	Promedio	7.5	7.8	8.0	7.8	8.7	6.3	4.6	6.5
		DE	0.8	0.1	0.1		2.0	1.7	1.0	
AH1 C1 M1	10	Promedio	7.8	8.0	8.1	8.0	10.6	8.1	6.1	8.3
		DE	0.1	0.0	0.0		2.2	1.7	0.9	
AH1 C2 M1	12	Promedio	7.7	8.0	8.1	8.0	9.2	7.6	6.5	7.8
		DE	0.1	0.1	0.1		1.3	1.1	0.4	
AH2 C0 M1	14	Promedio	7.7	8.0	8.1	7.9	7.1	5.0	6.0	6.0
		DE	0.1	0.1	0.1		3.5	1.7	1.9	
AH2 C1 M1	16	Promedio	7.8	8.0	8.2	8.0	9.5	7.5	7.4	8.1
		DE	0.1	0.1	0.2		1.7	2.0	1.8	
AH2 C2 M1	18	Promedio	7.6	8.0	8.1	7.9	11.1	7.9	7.8	8.9
		DE	0.1	0.1	0.0		3.7	1.3	1.2	

El crecimiento y desarrollo del cultivo en invernadero reflejó la respuesta directa y visible del efecto de las dosis de las enmiendas (ANEXO 3) en el invernadero.

Los resultados de las 13 variables de respuesta registrados semanalmente mostraron sobrevivencia y un crecimiento ascendente del follaje, la floración se obtuvo a los 110 días de la siembra. La diferencia que predominó entre los 18 tratamientos fue el efecto del ácido láctico en el comportamiento de los 18 tratamientos en invernadero (ANEXO 8).

Los resultados de la cosecha al término del experimento a las 16 semanas se valoraron estadísticamente y se presentan en la longitud total (Cuadro 14).

6.4. 1 Cationes y aniones en las plantas de invernadero

Al principio y al final de la cosecha se valoró el contenido de cationes y aniones. El Na^+ se inició en $147.82 \text{ cmol}^+ \cdot \text{L}^{-1}$ y finalizó en $54.52 \text{ cmol}^+ \cdot \text{L}^{-1}$ en suelo. En el follaje 68.48 y baja a $54.52 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ y en flores con el contenido de $0.002 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$, con la aplicación de las enmiendas ácidos húmicos y composta (Cuadro 16). Con una mayor disminución del contenido de Na^+ favorecida por la aplicación del ácido láctico, en el tratamiento 16-H2C1M1 de 89.78 a $52.17 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$, con $0.45 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ en follaje e igual en flores (Cuadro 17).

Cuadro 16. Comportamiento del contenido de Na^+ en el suelo y de la cosecha, en el diseño experimental sin ácido láctico

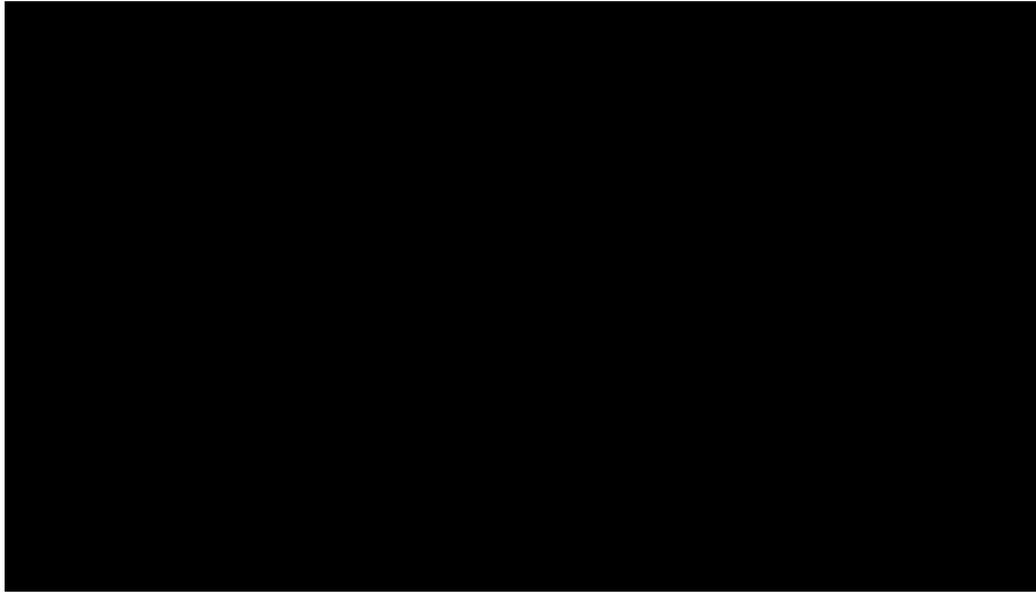
Tratamientos	Número de tratamiento	Na^+ inicial	Na^+ final	Cosecha	
				Na^+ Follaje $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$	Na^+ Flores
AH0 C0 M0	1	147.82	68.48	0.60	0.002
AH0 C1 M0	3	147.82	54.52	0.55	0.012
AH0 C2 M0	5	147.82	71.22	0.52	0.002
AH1 C0 M0	7	147.82	72.78	0.52	0.002
AH1 C1 M0	9	147.82	78.26	0.90	0.003
AH1 C2 M0	11	147.82	63.39	0.38	0.025
AH2 C0 M0	13	147.82	54.52	0.55	0.001
AH2 C1 M0	15	147.82	54.52	0.55	0.002
AH2 C2 M0	17	147.82	55.56	0.48	0.003
Promedio		147.82	63.69	0.56	0.01

Cuadro 17. Comportamiento del contenido de Na⁺ en suelo, en la cosecha con el efecto del ácido láctico

Tratamientos	Número de tratamiento	Na ⁺ inicial	Na ⁺ Final	Cosecha	
				Na ⁺ Follaje	Na ⁺ Flores
				cmol ⁺ ·kg ⁻¹	
AH0 C0 M1	2	147.82	89.78	0.28	0.001
AH0 C1 M1	4	147.82	58.70	0.48	0.001
AH0 C2 M1	6	147.82	60.52	0.18	0.002
AH1 C0 M1	8	147.82	61.83	0.50	0.001
AH1 C1 M1	10	147.82	58.70	0.74	0.002
AH1 C2 M1	12	147.82	78.26	0.55	0.002
AH2 C0 M1	14	147.82	68.09	0.58	0.003
AH2 C1 M1	16	147.82	52.17	0.45	0.002
AH2 C2 M1	18	147.82	57.65	0.52	0.002
Promedio		147.82	65.08	0.48	0.00

La disminución del contenido de K⁺ se presentó en suelo, follaje y flores con la aplicación de ácidos húmicos y composta. Las concentraciones en la planta son diferenciales, el K⁺ se inicia en 46.15 cmol⁺·L⁻¹ disminuye de 1.59 a 0.90 cmol⁺·L⁻¹ en la pasta, en follaje de 0.37 a 0.31 cmol⁺·L⁻¹ y en flores de 0.03 a 0.010 cmol⁺·L⁻¹ (Cuadro 18).

Con la aplicación de las tres enmiendas se observó la mayor disminución en el contenido de K⁺ en suelo con el efecto del ácido láctico, en follaje fue irregular de 0.37 a 0.20 y en flores de 0.02 a 0.01 cmol⁺·L⁻¹ (Cuadros 19).



Cuadro 19. Comportamiento del contenido de K^+ con las tres enmiendas: ácidos húmicos, composta y ácido láctico en suelo, en cosecha de follaje y flores en invernadero

Fórmula	Tratamientos con las tres enmiendas	K ⁺ Inicial	K ⁺ Final	Cosecha		
				Pasta	Follaje	Flores
		cmol ⁺ /kg ⁻¹		mg•kg ⁻¹		
AH0	C0 M1	2	46.15	1.67	0.24	0.02
AH0	C1 M1	4	46.15	1.26	0.29	0.02
AH0	C2 M1	6	46.15	1.21	0.24	0.01
AH1	C0 M1	8	46.15	1.74	0.24	0.02
AH1	C1 M1	10	46.15	1.79	0.21	0.02
AH1	C2 M1	12	46.15	1.03	0.20	0.02
AH2	C0 M1	14	46.15	0.92	0.30	0.02
AH2	C1 M1	16	46.15	0.90	0.31	0.01
AH2	C2 M1	18	46.15	0.67	0.20	0.00

6.5.1 Campo. Valoración de los cationes y aniones de las plantas en campo

En el (Cuadro 20) el contenido de cationes y aniones solubles y la CE tuvieron la misma tendencia en invernadero que en campo, con la aplicación de las tres enmiendas. La

concentración de cationes se comportó en el siguiente orden el $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ y $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ esto ratificó el efecto benéfico de las enmiendas sobre el suelo salino sódico (Richards, 1994).

Cuadro 20. Resultados de los extractos de saturación iniciales y finales del experimento en campo

Lot	Trat	pH	CE dSm ⁻¹	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
cmol ⁺ ·m ⁻¹											
1	1	7.1	27.4	143.9	6.9	56.8	184.6	0.0	109.0	20.0	20.0
7	1	7.1	58.0	342.8	11.1	67.2	576.0	138.0	268.0	20.0	0.0
10	1	7.4	36.6	168.3	8.4	29.6	346.0	106.3	148.0	0.0	0.0
14	1	7.2	63.6	380.9	15.5	80.0	197.2	146.5	277.0	40.0	0.0
Promedios		7.2	46.4	258.9	10.5	58.4	326.0	97.7	200.5	20.0	5.0
3	12	7.6	27.3	143.9	10.3	43.2	262.8	95.1	117.0	40.0	0.0
9	12	8.0	16.2	78.3	9.2	74.4	157.4	102.0	63.0	20.0	0.0
12	12	7.6	35.4	187.8	9.5	52.8	203.6	109.7	129.0	20.0	0.0
16	12	7.4	42.1	212.2	8.8	69.6	122.2	110.5	158.0	20.0	0.0
Promedios		7.7	30.3	155.5	9.4	60.0	186.5	104.3	116.8	25.0	0.0
8	15	7.2	46.5	253.9	17.4	76.8	421.0	106.3	208.0	20.0	0.0
11	15	7.3	36.9	213.9	8.3	56.0	226.8	108.0	142.0	20.0	0.0
13	15	7.2	45.3	257.4	14.2	49.6	270.2	123.4	180.0	20.0	0.0
Promedios		7.2	42.9	241.7	13.3	60.8	306.0	112.5	176.7	20.0	0.0
4	16	7.7	44.0	257.4	14.8	48.0	391.0	124.2	794.0	20.0	0.0
5	16	7.6	46.8	261.6	12.1	56.8	450.0	134.5	224.0	120.0	0.0
6	16	7.5	44.2	253.9	13.1	16.8	434.0	133.7	647.0	20.0	0.0
15	16	7.7	47.9	273.6	15.8	60.8	127.6	152.5	186.0	40.0	0.0
Promedios		7.6	45.7	261.6	13.9	45.6	350.7	136.2	462.8	50.0	0.0

Los resultados del contenido de cationes en el suelo de los tratamientos al final de la cosecha de zempasúchil entre las parcelas testigo y las parcelas de los mejores tratamientos en campo y en el follaje mantuvieron la misma tendencia de disminución que en el experimento en invernadero (Cuadros 16, 17, 18, 19 y 21).

El contenido de cationes en la cosecha de zempasúchil en el campo en Tláhuac, los capítulos de las plantas (flores) tuvieron la respuesta con la misma tendencia de disminución (Cuadros 16, 17 y 18, 19). El contenido de cenizas en peso seco del follaje y en las flores presentaron aumentó en los mejores tratamientos (Cuadro 22).

Cuadro 21 . Contenido de cationes en el follaje de la cosecha en campo

Tratamiento	Cenizas	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
mg.kg ⁻¹					
1	18.5	33.6	18.6	38.4	7.6
1	17.2	7.2	29.2	39.6	6.5
1	19.1	13.6	31.2	36.4	6.6
1	10.0	23.4	31.2	32.8	11.9
Promedios	16.2	19.5	27.6	36.8	8.1
12	14.7	9.0	25.6	42.4	3.8
12	19.8	33.6	18.0	41.2	6.7
12	15.2	6.8	22.2	37.6	6.4
12	18.5	22.6	30.2	54.4	9.8
Promedios	17.1	18.0	24.0	43.9	6.7
15	15.3	18.8	31.6	40.0	7.7
15	17.6	19.4	18.0	40.0	6.7
15	17.3	34.8	30.6	35.6	7.9
15	17.4	7.6	16.0	38.4	6.2
Promedios	16.9	20.2	24.1	38.5	7.1
16	21.0	7.2	31.2	35.6	7.8
16	21.1	21.6	19.6	33.2	8.4
16	17.5	17.6	22.2	42.4	5.9
16	21.5	24.8	20.2	25.6	9.5
Promedios	20.3	17.8	23.3	34.2	7.9

Cuadro 22. Contenido de cationes en los capítulos de las plantas de la cosecha en campo

Tratamientos	Cenizas	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
%		mg.kg ⁻¹			
1	8.5	3.4	25.6	0.1	0.1
1	8.6	4.0	25.0	0.2	0.1
1	8.9	15.8	27.0	0.2	0.2
1	9.0	7.8	24.0	0.2	0.1
Promedios	8.8	7.8	25.4	0.2	0.1
12	8.2	7.0	22.4	0.4	0.2
12	8.3	4.4	24.6	0.2	0.1
12	10.2	8.6	29.2	0.2	0.1
12	8.8	5.0	24.0	0.2	0.1
Promedios	8.9	6.3	25.1	0.3	0.1
15	9.2	4.0	26.4	0.4	0.1
15	8.4	3.0	23.6	0.3	0.1
15	8.9	9.6	24.6	0.4	0.1
15	10.0	6.6	23.6	0.1	0.2
Promedios	9.1	5.8	24.6	0.3	0.1
16	9.1	7.6	25.4	0.2	0.2
16	9.1	6.6	23.0	0.1	0.1
16	9.7	5.0	25.0	0.3	0.1
16	8.7	9.6	26.4	0.1	0.1
Promedios	9.2	7.2	25.0	0.2	0.1

6.5.2 Valoración comparativa de los cationes, aniones, inicial y final en campo

Al comparar los contenidos de cationes finales con los iniciales del experimento se observó la disminución de las sales de los testigos, en contraste con los tres mejores tratamientos 12, 15 y 16 Se presentó la disminución de la CE (Cuadros 23, 24. Figura 25) y disminución del Na^+ en el tratamiento 16-H2C1M1 (Figuras 26, 27).

Cuadro 23. Comparación de pastas iniciales con finales en campo después de la cosecha

Lote	Tratamientos	pH		CE		Na^+		K^+		Ca^{2+}		Mg^{2+}			
		I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F		
				dS/m ⁻¹				cmol ⁺ kg ⁻¹							
1	1	7.1	7.8	<u>27.4</u>	<u>15.4</u>	143.9	69.6	6.9	10.8	56.8	47.6	184.6	82.0		
7	1	7.1	7.9	<u>58.0</u>	<u>23.6</u>	78.3	123.9	11.1	11.7	76.8	51.2	576.0	104.8		
10	1	7.4	8.1	<u>36.6</u>	<u>12.4</u>	187.8	60.9	8.4	31.4	56.0	30.8	346.0	59.2		
14	1	7.2	7.7	<u>63.6</u>	<u>25.7</u>	212.2	14.1	15.5	28.9	80.0	53.2	197.2	106.4		
	Promedios	7.2	7.9	46.4	19.3	155.5	67.1	10.5	20.7	67.4	45.7	326.0	88.1		
3	12	7.6	8.1	27.3	12.0	261.6	47.8	10.3	12.9	48.0	34.4	262.8	67.6		
9	12	8.0	8.0	16.2	17.1	213.9	95.7	9.2	17.9	29.6	38.0	157.4	89.2		
12	12	7.6	7.9	35.4	18.9	380.9	91.3	9.5	17.9	49.6	48.0	203.6	95.6		
16	12	7.4	7.9	42.1	14.4	212.2	106.5	8.8	12.0	69.6	33.6	122.2	68.0		
	Promedios	7.7	8.0	30.3	15.6	267.1	85.3	9.4	15.2	49.2	38.5	186.5	80.1		
2	15	7.2	7.9	<u>18.6</u>	14.6	257.4	65.2	6.3	21.1	43.2	39.2	189.2	72.4		
8	15	7.2	7.9	46.5	16.2	168.3	85.2	17.4	12.3	74.4	36.8	421.0	72.8		
11	15	7.3	7.9	36.9	18.5	257.4	137.0	8.3	12.3	52.8	46.8	226.8	83.2		
13	15	7.2	8.2	45.3	4.9	273.6	14.8	14.2	12.9	66.4	17.6	270.2	32.0		
	Promedios	7.2	8.0	36.8	13.5	239.2	75.5	11.6	14.7	59.2	35.1	276.8	65.1		
4	16	7.7	8.1	44.0	13.0	253.9	68.7	14.8	12.9	56.8	32.8	391.0	71.6		
5	16	7.6	8.2	46.8	8.6	342.8	33.9	12.1	12.0	16.8	26.0	450.0	54.0		
6	16	7.5	8.1	44.2	9.0	253.9	39.1	13.1	11.7	67.2	24.4	434.0	53.6		
15	16	7.7	7.8	47.9	21.2	273.6	12.8	15.8	54.8	60.8	43.2	127.6	92.8		
	Promedios	7.6	8.1	45.7	12.9	281.0	38.6	13.9	22.8	50.4	31.6	350.7	68.0		

La valoración de los aniones en campo con la aplicación de las tres enmiendas presentó la misma tendencia de disminución que en invernadero, excepto los SO_4^{2-} y los Cl^- que aumentaron ligeramente en campo después de la cosecha (Cuadro 24).

Cuadro 24. Comparación de pastas iniciales con finales en campo

Lote	Tratamientos	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	
		I	F	I	F	I	F	I	F	
cmol ⁺ kg ⁻¹										
1	1	125.0	112.2	109.0	76.0	20.0	2.0	20.0	0.3	
7	1	138.0	145.7	268.0	103.0	20.0	2.0	0.0	0.7	
10	1	106.3	130.2	148.0	45.0	0.0	2.0	0.0	0.8	
14	1	146.5	114.8	277.0	96.0	40.0	2.0	0.0	0.6	
	Promedios	128.9	125.7	200.5	80.0	20.0	2.0	5.0	3.6	
3	12	95.1	102.8	117.0	54.0	40.0	4.0	0.0	0.5	
9	12	102.0	368.4	63.0	63.0	20.0	4.0	0.0	0.6	
12	12	109.7	11.4	129.0	78.0	20.0	2.0	0.0	0.7	
16	12	110.5	132.8	158.0	42.0	20.0	2.0	0.0	0.8	
	Promedios	104.3	153.9	116.8	59.3	25.0	3.0	0.0	0.7	
2	15	117.4	66.8	63.0	56.0	20.0	2.0	0.0	0.4	
8	15	524.4	106.3	208.0	66.0	20.0	2.0	0.0	0.4	
11	15	109.7	108.0	142.0	78.0	20.0	2.0	0.0	0.7	
13	15	84.0	123.4	180.0	20.0	20.0	2.0	0.0	0.5	
	Promedios	208.8	101.1	148.3	55.0	20.0	2.0	0.0	0.5	
4	16	124.2	124.2	794.0	50.0	20.0	2.0	0.0	0.4	
5	16	226.2	134.5	224.0	37.0	120.0	2.0	0.0	0.5	
6	16	107.1	133.7	647.0	27.0	20.0	2.0	0.0	0.4	
15	16	119.1	152.5	186.0	55.0	40.0	2.0	0.0	0.8	
	Promedios	144.2	136.2	462.8	42.3	50.0	2.0	0.0	0.5	

6.5.3 Comparación cationes intercambiables

Se presenta la disminución del contenido de cationes intercambiables entre el suelo inicial testigo y el suelo final del mejor tratamiento 16-H2C1M1 al aplicar las enmiendas ácidos húmicos, composta y ácido láctico (Cuadros 25, 26. Figura 25). Se muestra la disminución del Na⁺ intercambiable y la disminución del RAS (Figuras 25, 26, 27).

Cuadro 25 . Comparación del contenido de cationes intercambiables entre testigos y con la aplicación de las enmiendas al suelo en Tláhuac

Muestras	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Suma de Cationes	RAS
						después de la cosecha
cmol ⁺ ·kg ⁻¹						
T1	22.38	1.79	15	75	114.17	3.34
T2	16.19	2.07	26	130	174.26	1.83
T3	89.84	0.56	31	155	276.40	9.32
T4	85.57	0.76	25	125	236.33	9.88
Promedios	53.50	1.30	24.25	121.25	200.29	6.09
16 1a	18.65	0.54	25	125	169.19	2.15
16 1b	14.98	0.40	11.5	57.5	84.38	2.55
16 1c	17.44	0.48	12	60	89.92	2.91
16 1d	14.98	0.62	12	60	87.60	2.5
16 2a	22.35	0.62	17	85	124.97	3.13
16 2b	22.35	0.62	16.5	82.5	121.97	3.18
16 2c	19.9	0.59	12	60	92.49	3.32
16 2d	6.33	0.48	19	95	120.81	0.84
16 3a	13.73	0.79	23.5	117.5	155.52	1.64
16 3b	16.19	0.59	19	95	130.78	2.14
16 3c	14.98	0.45	8	40	63.43	3.06
16 3d	21.14	0.62	18.5	92.5	132.76	2.84
Promedios	16.92	0.57	16.17	80.83	114.49	2.52

Cuadro 26. Significancia de cationes intercambiables entre los lotes testigo y los lotes del mejor tratamiento con prueba de t

Bases intercambiables	Medias iniciales	Medias finales	Valor de t		Valor de N inicial	Valor de N final	Desviación estándar inicial	Desviación estándar ifinal	Varianzas Relación F	Varianzas p	
			df	p							
Na+	53.4950	16.9183	3.375119	14	0.004532	4	12	39.62142	4.50323	77.41267	0.000000
K+	1.2950	0.5667	3.526455	14	0.003354	4	12	0.74657	0.10421	51.32003	0.000002
Ca2+	24.2500	16.1667	2.527992	14	0.024125	4	12	6.70199	5.17570	1.67675	0.458217
Mg2+	121.2500	80.8333	2.527992	14	0.024125	4	12	33.50995	25.87850	1.67675	0.458217
Scatio	200.2900	114.4850	3.449275	14	0.003910	4	12	71.14733	31.34112	5.15333	0.036350
Ras	6.0925	2.5217	3.081987	14	0.008118	4	12	4.10313	0.73070	31.53199	0.000021

Figura 25. Disminución de cationes intercambiables

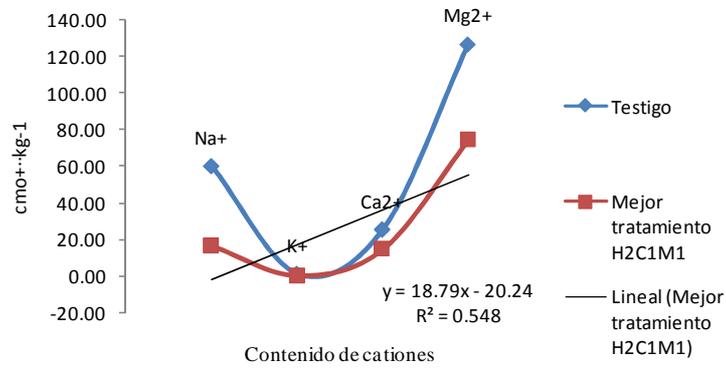


Figura 26 Comparación de sodio intercambiable inicial y final con una $p = 0.00453$

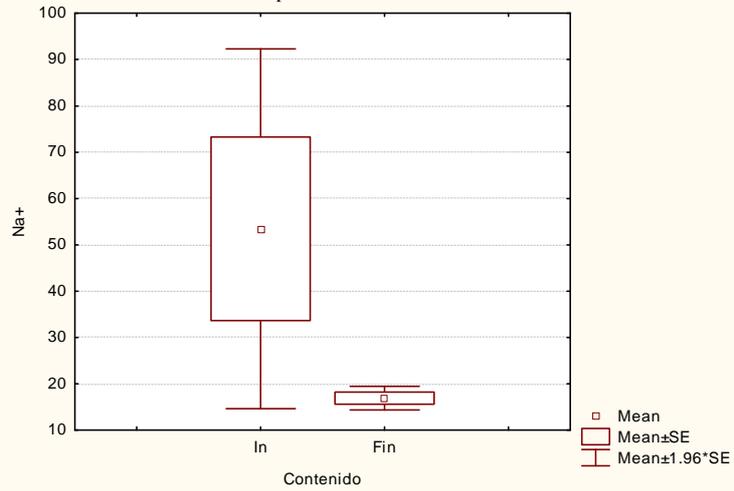
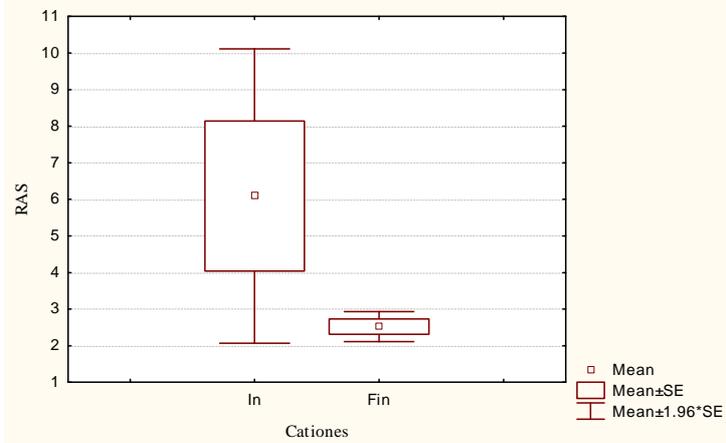


Figura 27. Comparativo inicial y final del RAS con una $p = 0.00811$



6.6.1 Mineralización del C de los suelos

En la (Figura 28 y Cuadro 27) se muestran los resultados previos de los tratamientos seleccionados para la caracterización. En cuanto a la mineralización de carbono fue mayor en los tratamientos 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1 con respecto al testigo. El desprendimiento del CO₂ fue mayor en los tratamientos mejorados que en el control.

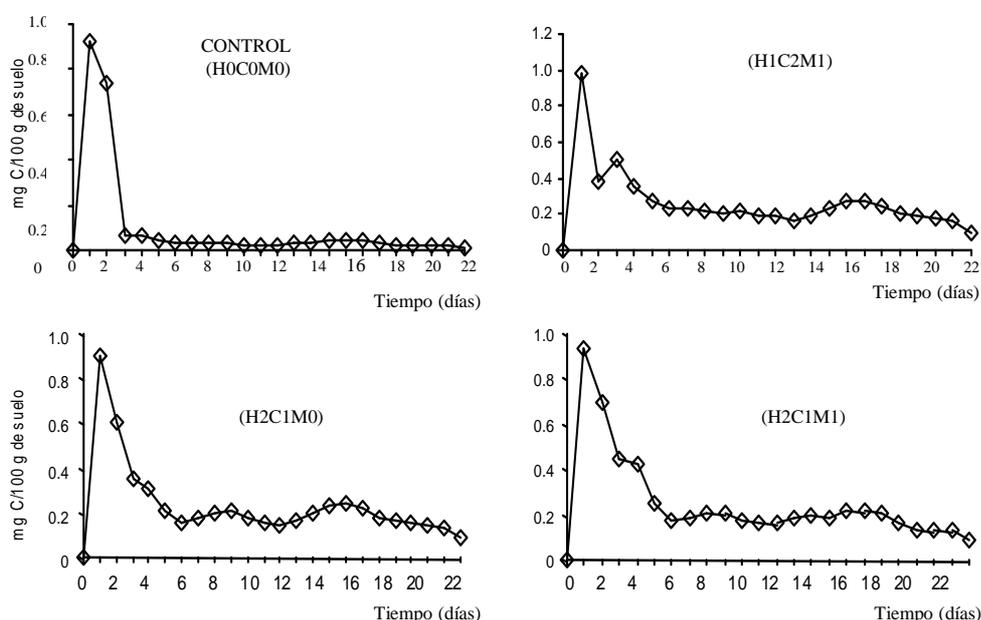


Figura 2. Curvas de producción de CO₂ en suelos control y suelos tratados con las enmiendas

Figura 28. Curvas de producción de CO₂ en suelo control (testigo) y suelos tratados con las enmiendas

Cuadro 27. Tratamientos y dosis aplicadas de AH, composta y ácido láctico

Número de tratamiento	Tratamientos	Dosis AHs	Dosis Composta	Dosis ácido láctico
		AH(Mg · ha ¹)	C (Mg · ha ¹)	MI (L · m ⁻²)
Testigo	H0 C0 M0	0	0	0
12	H1 C2 M1	H1=120	C2=90	3.4
15	H2 C1 M0	H2=240	C1=60	0
16	H2 C1 M1	H2=240	C1=60	3.4

Ácidos húmicos = H1, H2 = Dosis sencilla y doble de AHs, Composta = C1 , C2 Dosis sencilla y doble. M1=Ácido láctico.

6.6.2 Caracterización. Espectroscopía visible

Las curvas de los espectros visibles de los AHs extraídos del suelo con valores de E_4 testigo (1.183), presentaron valores más elevados de densidad óptica (aromaticidad), que los AHs de la composta (1.102) utilizada como enmienda, que presentó altas proporciones de estructuras alifáticas que los tratamientos (Cuadro 28).

Cuadro 28. Parámetros en relación con los tamaños moleculares y aromaticidad de los AHs obtenidos a partir de los electroforegramas

Muestras	Fracción 1 (inmóvil)	Fracción 2 (intermedia)	Fracción 3 (inmóvil)	Inmóvil/móvil	E_4/E_6	Tamaños moleculares aromaticidad
Composta	9.2	13.9	77.8	1.0	6.33	1.102
Testigo	18.0	41.5	40.4	0.4	2.76	1.183
12-H1C2M1	11.9	33.9	54.0	0.2	2.93	1.165
15-H2C1M0	12.6	34.9	53.8	0.2	3.04	0.917
16-H2C1M1	6.1	41.2	54.5	0.1	2.78	1.067

* La relación E_4/E_6 es inversamente proporcional a la cantidad de estructuras alifáticas en el testigo con respecto a los tratamientos y a la composta.

6.6.3 Espectroscopía IR

Los espectros FTIR de los AH extraídos de los suelos (testigo y 12-H1C2M1, 15-H2C1M0, 16-H2C1M1), no presentaron diferencias cualitativas sustanciales (Figura 29).

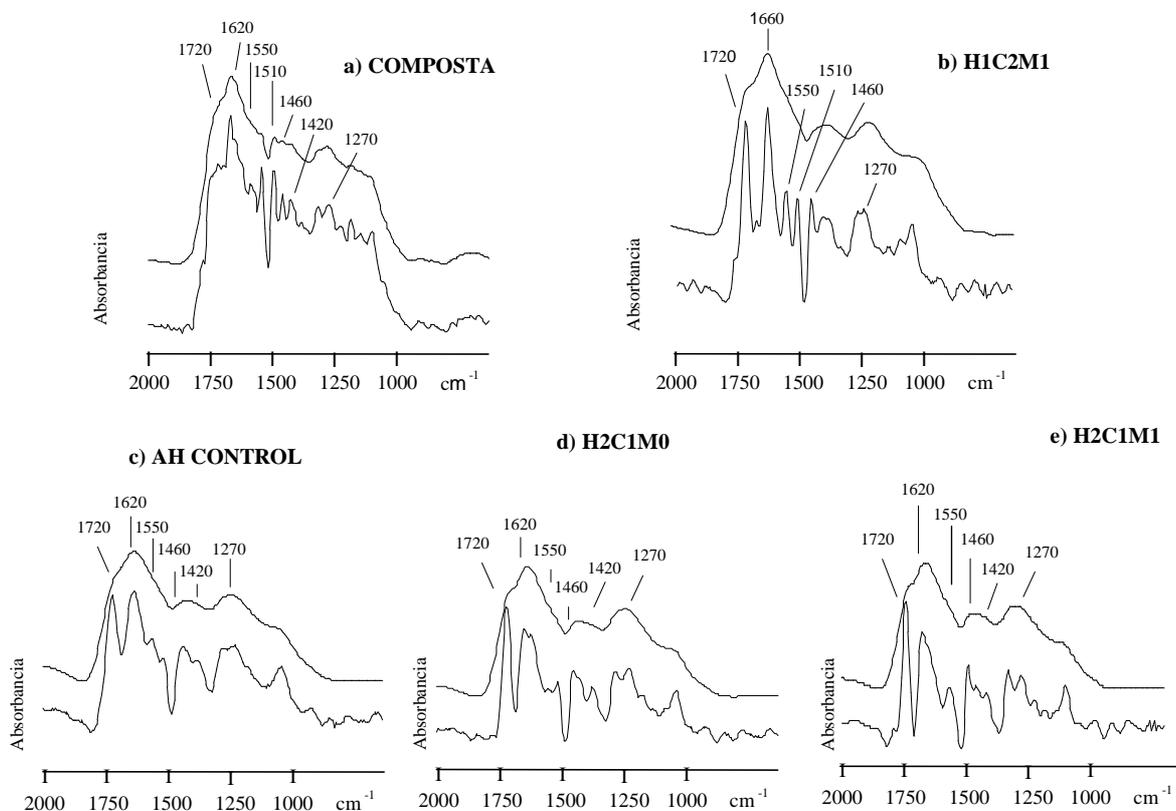


Figura 29. Espectros de infrarrojo de los ácidos húmicos, se muestra el espectro mejorado en la parte inferior de cada uno.

6.6.4 Electroforesis

Se observa la presencia de una proporción de macromoléculas de elevada movilidad electroforética en los AHs extraídos de la composta, con tamaños moleculares elevados.

Los electroforegramas de los AHs muestran de dos o cuatro fracciones más o menos definidas, donde pueden distinguirse en el testigo sustancias de alto peso molecular (fracción inmóvil) y de peso molecular comparativamente reducido (fracción móvil), quedando una apreciable proporción de AHs con valores de movilidad intermedia (Figura 30).

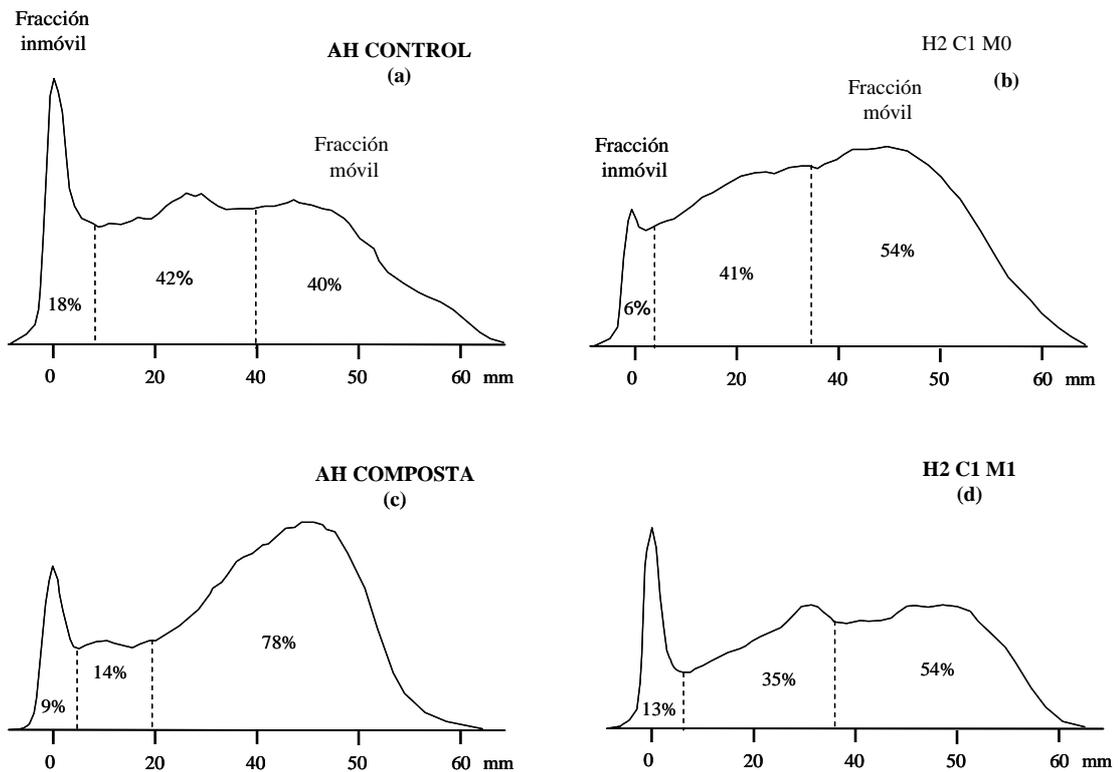


Figura 30. Electroforegramas de los ácidos húmicos extraídos de los suelos sometidos a distintos tratamientos

Los resultados muestran los tamaños moleculares de los AHs extraídos de los suelos enmendados (13%), superiores a los de la composta (9%) en la fracción inmóvil y el peso molecular en los tratamientos (54%) en la fracción móvil.

La aplicación de la composta (78%) aumenta la movilidad y aporta coloides de tamaño molecular moderado al suelo (Cuadro 28).

6.7.1 Resultados. Análisis estadístico del efecto de las enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico en invernadero

El cultivo en invernadero se analizó al término de la cosecha. La respuesta se obtuvo desde la décimo cuarta a la décimo sexta semanas en el crecimiento del zempasúchil en los 18 tratamientos, con doce variables de respuesta: 1. Longitud total (décimo cuarta semana). 2. Longitud total (décimo sexta semana). 3. Número de flores. 4. Diámetro. 5. Grosor de

tallo. 6. Peso seco y 7. Peso seco de flor, las cuales fueron significativas (Cuadro 29. ANEXO 9).

Se obtuvieron los efectos favorables de las enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico que se sumaron en distintas combinaciones en cada una de las doce variables de respuesta, los efectos con triple interacción tuvieron significancia en siete variables de producción del cultivo del zempasúchil en los mejores tratamientos: 16-H2C1M1, 12-H1C2M1 y 15-H2C1M0.

Cuadro 29. Análisis estadístico del efecto de las enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico de 12 parámetros en los 18 tratamientos, en la cosecha del cultivo de zempasúchil en invernadero															
	S.14	1	S.16	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Variable	L. Total	L. Total	No. ramas	No. botones	No. flores	Diámetro	Grosor tallo	P. Húmedo	P. Seco	P.Seco Flor	P. Seco Rafz	P.Seco Rafz-Flor			
	cm	cm				cm	cm	g	g	g	g	g			
Enmienda	Mejorador	Mejorador	Mejorador	Mejorador	Composta	Composta	Mejorador	Mejorador	Mejorador	Composta	Composta	Composta			
Dosis	M1	M1	M1	M1	C1	C1	M1	M1	M1	C2	C2	C2			
p	P = 0.00024	P = 0.000217	P = 0.002522	P = 0.000288	P = 0.006623	P = 0.003925	P = 0.008084	P = 0.003801	P=0.030028	P = 0.031827	P =.027839	P = 0.03141			
Tratamientos	2,4,6,8,10,12	2,4,6,8,10,12	2,4,6,8,10,12	2,4,6,8,10,12	3,4,9,10,15,16	3,4,9,10,15,16	2,4,6,8,10,12,14	2,4,6,8,10,12	2,4,6,8,10,12	5,6,11,12,17,18	5,6,11,12,17	5,6,11,12,17			
	14,16,18.	14,16,18.	14,16,18.	14,16,18			16,18	14,16,18	14,16,18		18	18			
	G.5	G.13	G.21	G.28	G. 34	G.40	G.48	G.56	G.61	G.68	G. 77	G. 89			
Interacción	Doble Int.				Doble Int.	Doble Int.	Composta		Composta	Mejorador		Mejorador			
	1. 2 AH. C.				1. 2 AH. C.	1. 2 AH. C.	C2		C2	M1		M1			
							P 0.042953		P=0.019594	P=0.026479		P= 0.040719			
Interacción	H1 C2				H2 C1	H2 C1			T. 5,6	T. 2,4,6,8,10		T. 2,4,6,8,10			
	P = 0.02613				P = 0.03606	**P = 0.000307			11,12,17,18	12,14,16,18		12,14,16,18			
							T. 5,6 11,12 17,18		G.60	G. 68		G. 90			
							G. 47						***		
	T. 11 y 12 G.6				T. 15 y 16 G.35		T. 15 y 16 G.41			Doble Int.	* Doble Int.		* Doble Int.		
									1-2 H2C1	1-2 H2C1		1-2 H2C1			
									T. 15 y 16	T. 15 y 16		T. 15 y 16			
Interacción	Triple Int.	Triple Int.							P=0.01479	P=0.018177		P=0.037556			
	1.2,3.AH.C.M	1.2,3.AH.C.M					Doble Int.	Triple Int.	G. 62	G. 69		G. 91			
	P = 0.046161	P = 0.036847					1. 3 AH. M	1,2,3 AH. C. M.							
							P = 0.032937	P = 0.041975							
									Doble Int.	Doble Int.					
							H1 C0 M1	B) H1 C2 M1	2-3 C2 M1	2-3 C2 M1					
							T. 12 G.49		T. 6,12,18	T. 6,12,18					
	H1 C2 M1	H1 C2 M1					T. 8,10,12 G.42		P=0.021498	P=0.044103					
	T12 G.7B	T12 G.14B							G.63	G. 70					
	**Por lo tanto														
Mejores tratamientos	T. 12 y 15	T. 12 y 15	T. con M1	T. con M1	T. 15 y 16	T. 15 y 16	T. 12	T. con M1	T. 15 y 16	T. 15 y 16	T. 6,12,18	T. 6,12,18			
	12	15	15	15	16	15	12	15	16	15	16	15	16		

6.8.1 Efecto de las enmiendas

En las gráficas de barras verticales se obtuvo el mejor efecto del ácido láctico con las tres combinaciones para producción de capítulos (flores) donde se obtuvo alta significancia en las variables de respuesta: peso seco de las flores con una $p=0.0010$ (Figura 31 a), para el diámetro con una $p=0.00004$ (Figura 31 b), para el número de flores con una $p=0.00106$ (Figura 32 a) y para el número de ramas (Figura 31 b).

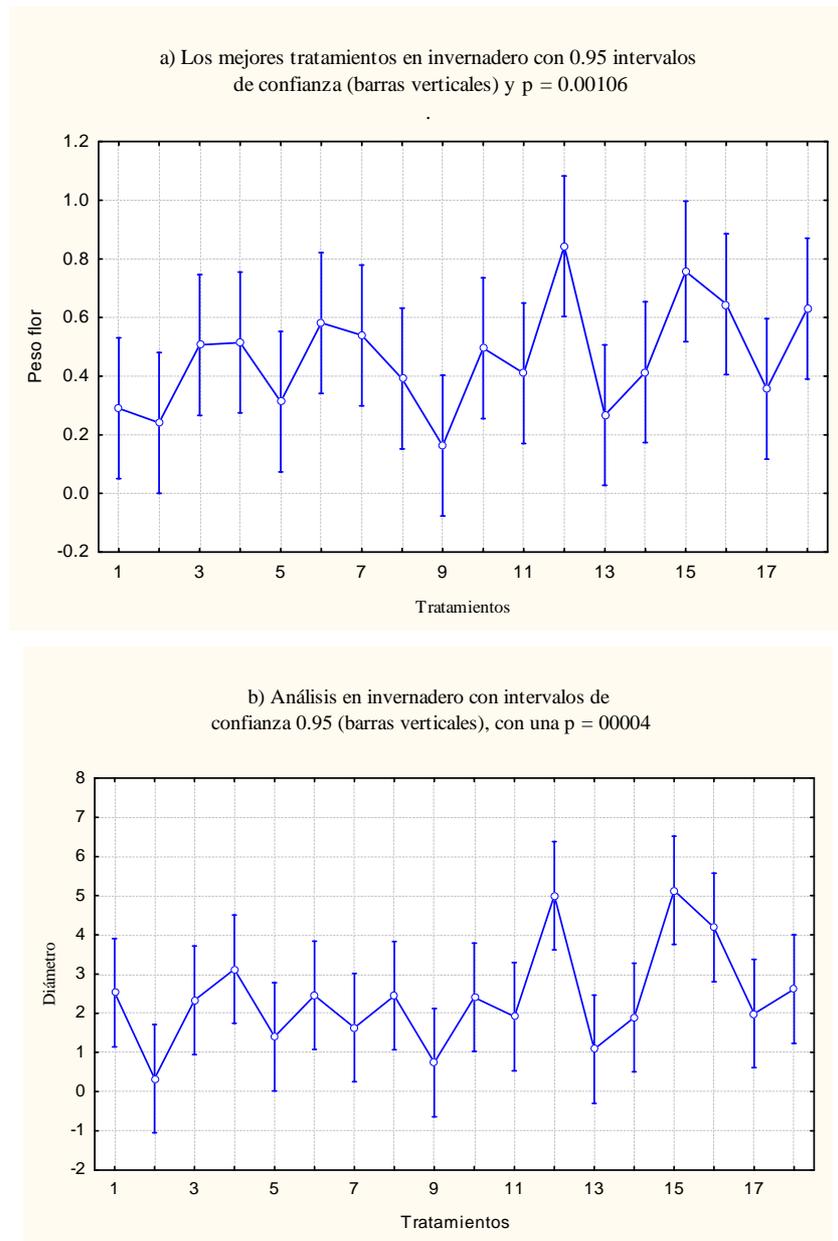


Figura 31 a y b. Análisis del efecto de las mejores combinaciones de las enmiendas con barras verticales

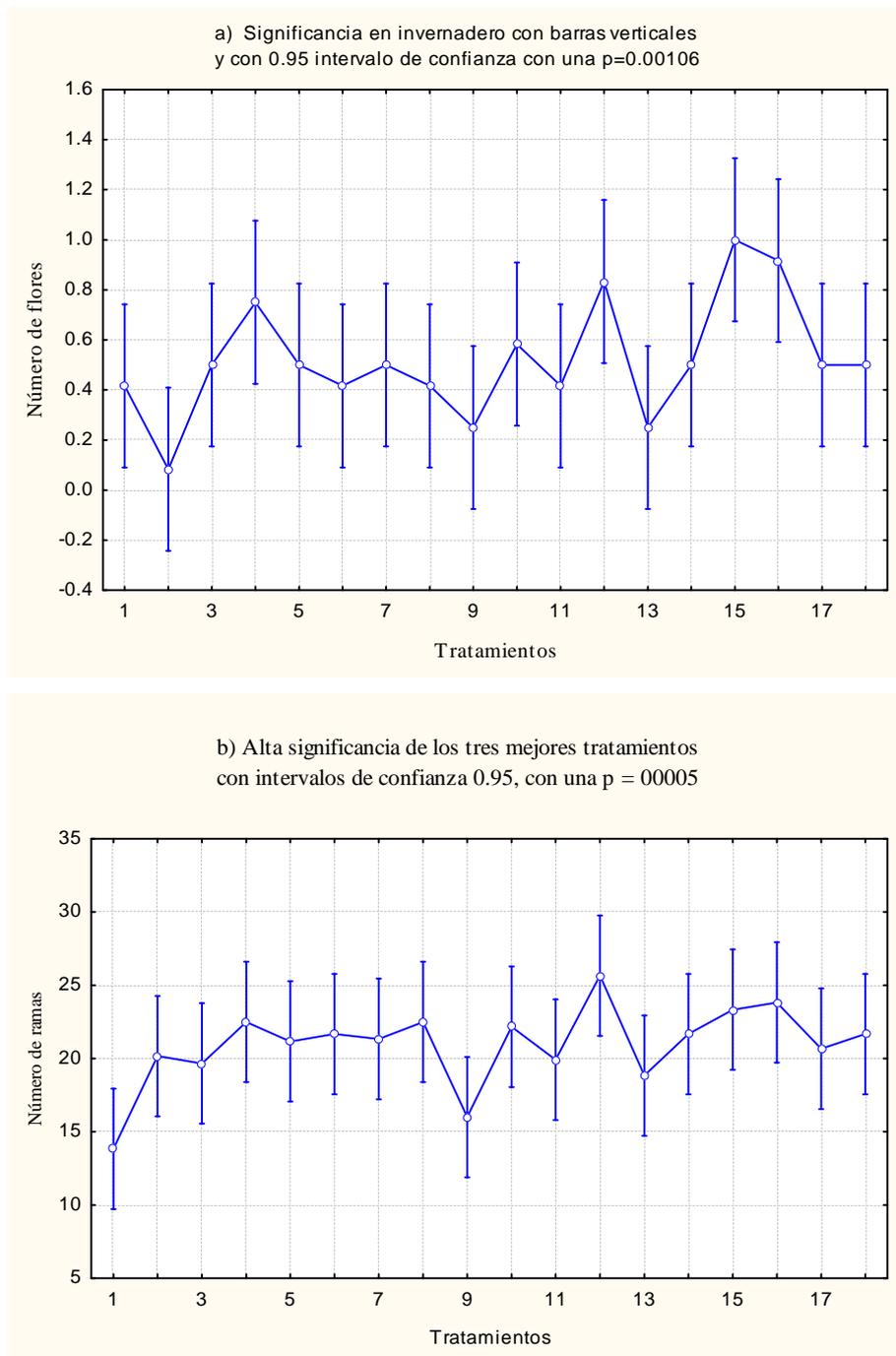


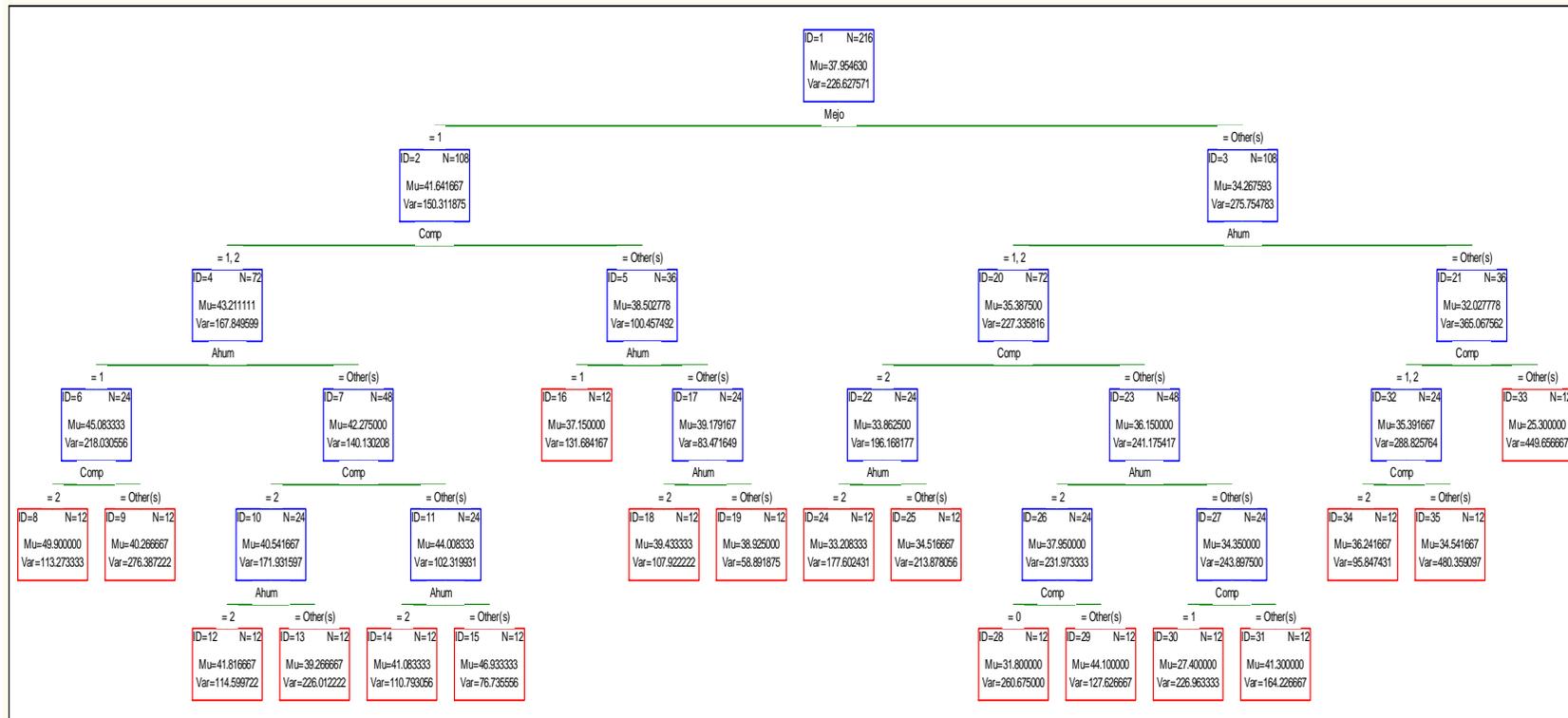
Figura 32 a y b. Análisis del efecto de las mejores combinaciones de las enmiendas en invernadero con barras verticales

El análisis discriminante distribucional permitió conocer el desplazamiento gráfico de los nodos principales y el grado de similitud entre los elementos de grupo, con las rutas y las

dosis de combinación más altas del efecto de las tres enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico H2C1 y M1 para la longitud total (Cuadro 30. Figura 32).

La interacción de la suma del efecto de las tres enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico en los tratamientos, para cada variable de respuesta fue diferente, las combinaciones altas obtenidas relacionadas con la producción de pigmento del zempasúchil fueron: número de botones, peso flor, diámetro, número de flores, (Figura 33 a, b, c, d) y bajas fueron las combinaciones para el follaje; peso follaje y largo de hoja (Figura 33 e, f).

Cuadro 30. Arbol de 17 nodos terminales para longitud total



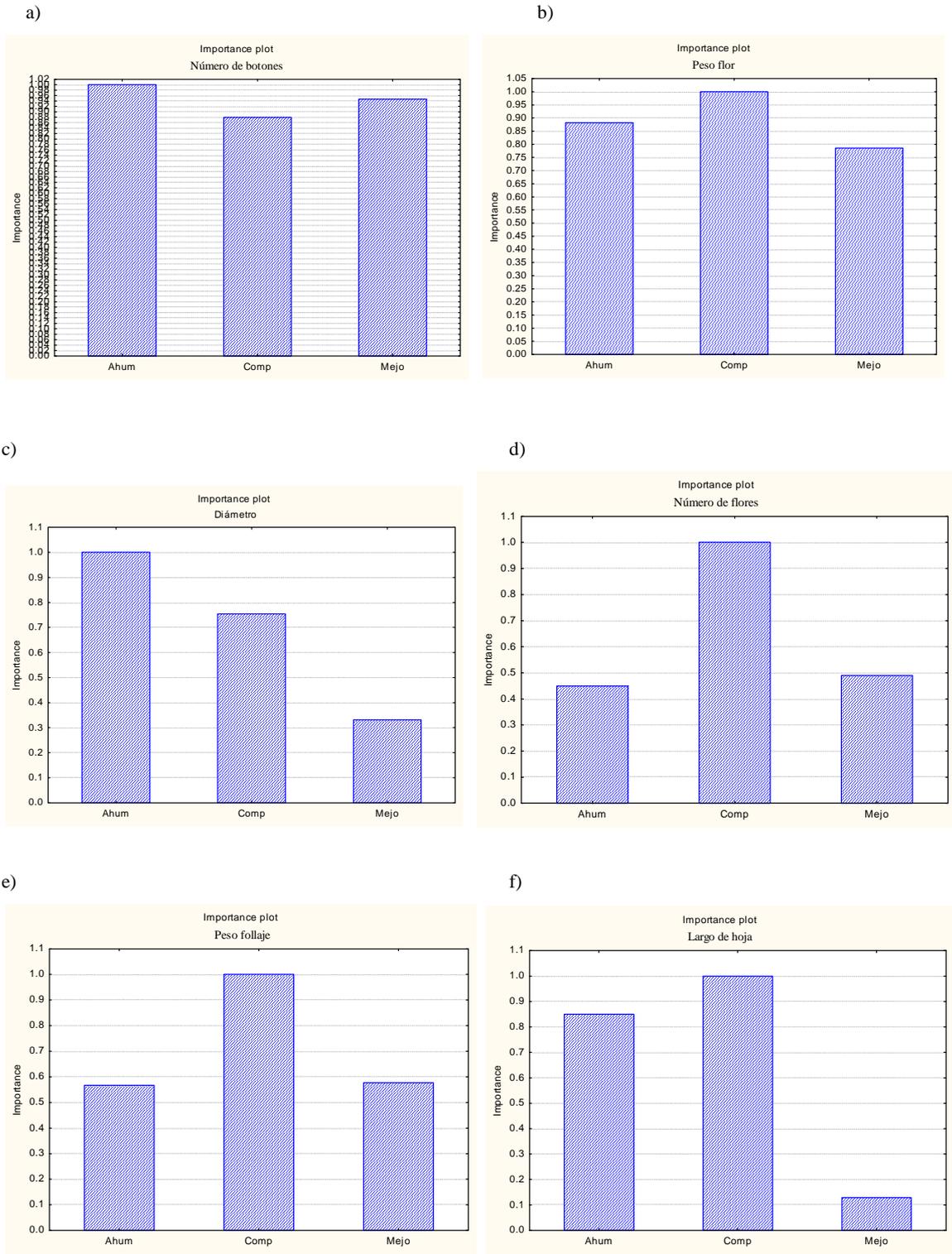
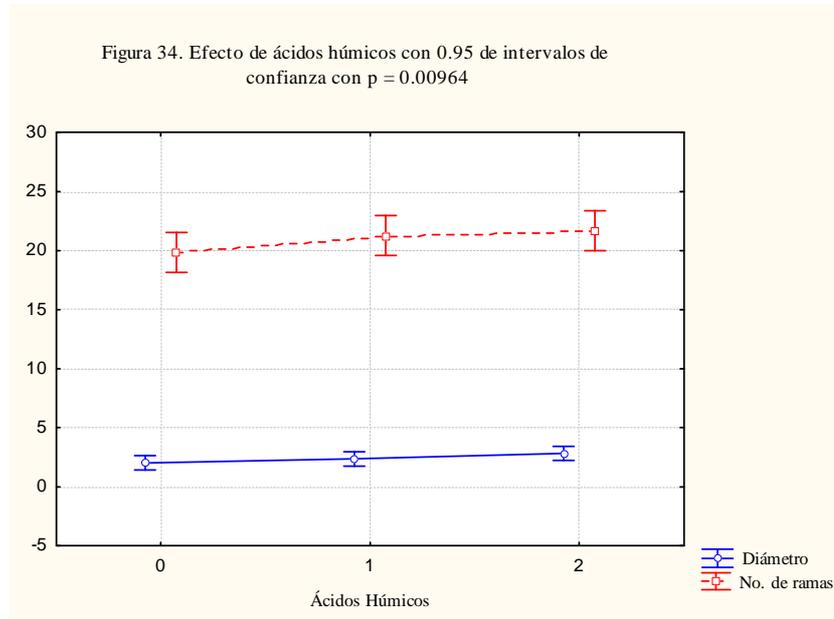


Figura 33. Suma del efecto de las enmiendas en las variables de respuesta.

6.8.2 Efecto de los ácidos húmicos

Se observó el efecto significativo de los ácidos húmicos en el diámetro y en el número de ramas con $p=0.00964$ (Figura 34).



6.8.3 Efecto de la composta

El efecto de significancia de la composta se presentó en la dosis C1 en el número de flores con una $p=0.04812$ (Figura 35) en los tratamientos: 3, 4, 9, 10, 15 y 16 y la dosis C2 en el número de botones y peso seco con una $p=0.6010$ (Figura 36), en los tratamientos: 5, 6, 11,12 17.

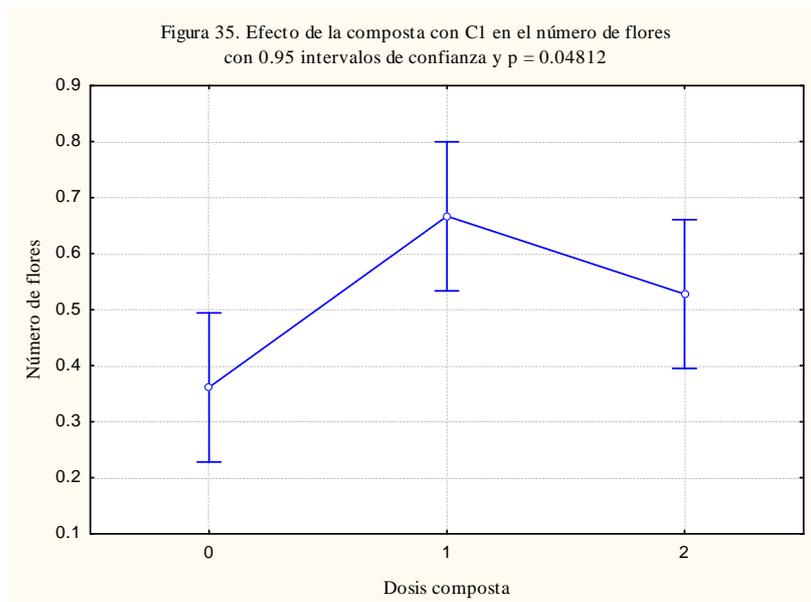
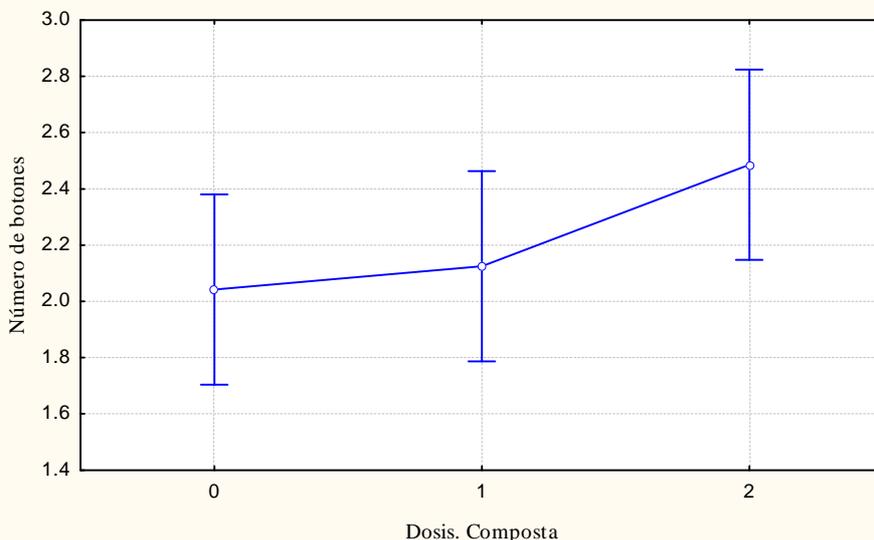


Figura 36. Efecto de la composta C2 en el número de botones con 0.95 de intervalo de confianza y $p = 0.06010$



La significancia de la dosis C2 se presentó en las variables de respuesta: número de botones, de flores y de ramas con una $p=0.03674$ (Figura 37) correspondiente al T12-H1C2M1, con la dosis C2 para la longitud total y C1 el diámetro de las flores se obtuvo con $p=0.03779$ (Figura 38), correspondiente al T16-H2C1M1.

Figura 37. Efecto de la composta con la dosis C2 en tres variables de respuesta con 0.95 intervalos de confianza y una $p = 0.03674$

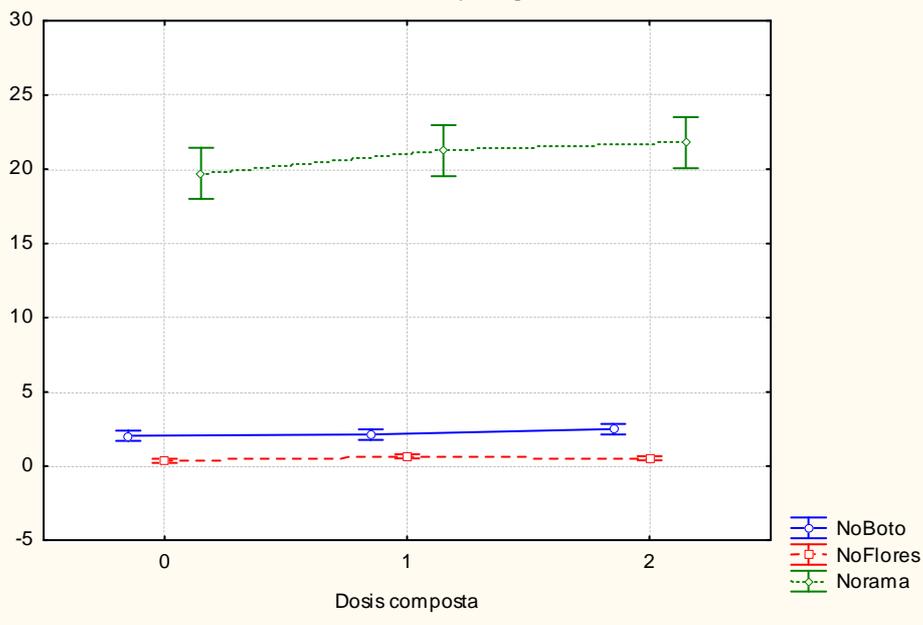
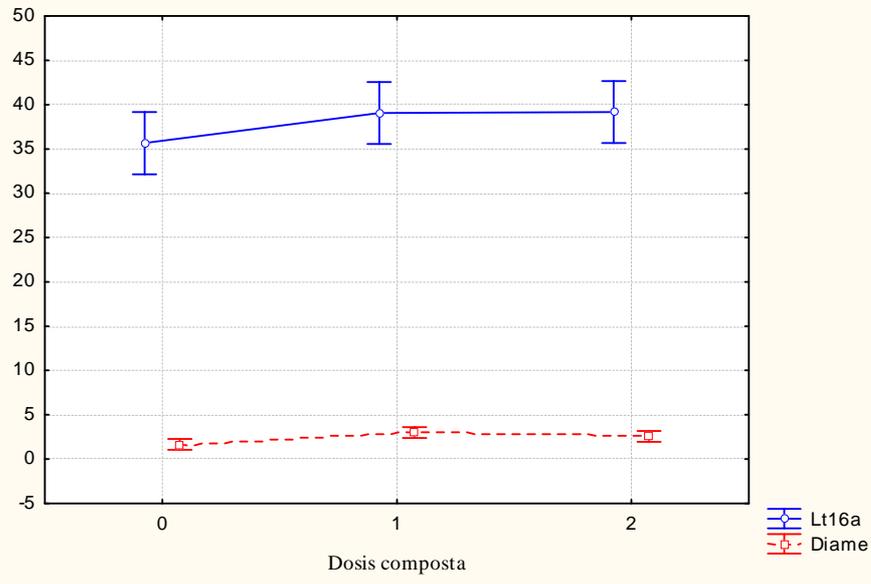


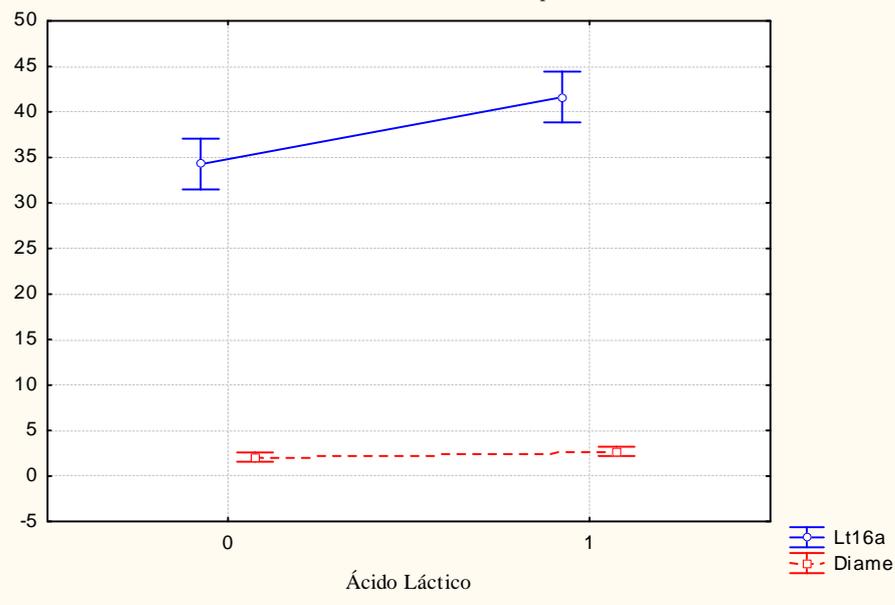
Figura 38. Efecto de composta en la dosis C2 en dos variables de respuesta con intervalo de confianza 0-95 y $p = 0.03779$

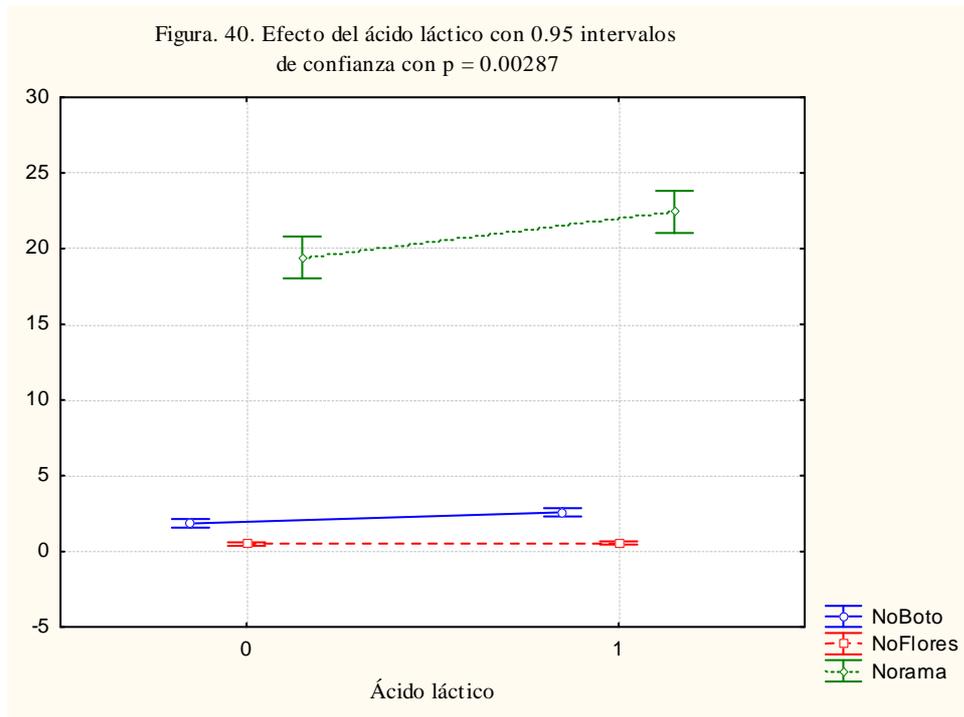


6.8.4 Efecto del ácido láctico

El efecto de la dosis del ácido láctico (M1) en el crecimiento del zempasúchil fue altamente significativa en nueve tratamientos de los dieciocho con una $p=0.00356$ en las variables de respuesta: longitud total, diámetro de flor $p = 0.00129$ (Figura 39), número de botones, de flores y de ramas con una $p=0.00287$ (Figura 40) con la técnica estadística ANOVA.

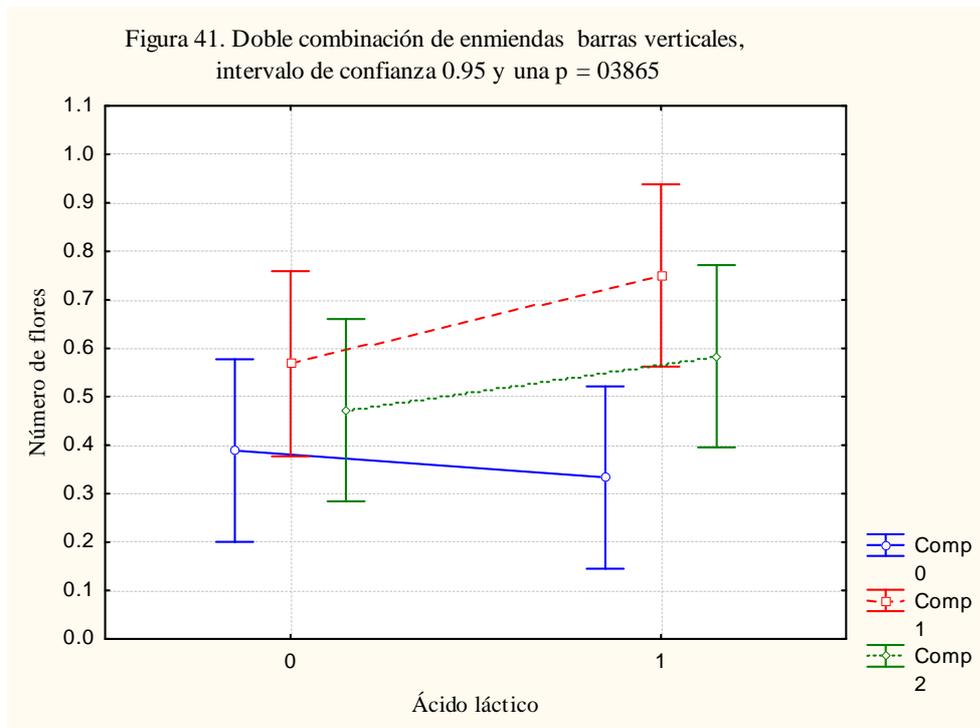
Figura 39. Efecto significativo del ácido láctico en dos variables de respuesta con 0.95 de intervalos de confianza con una $p = 0.00129$

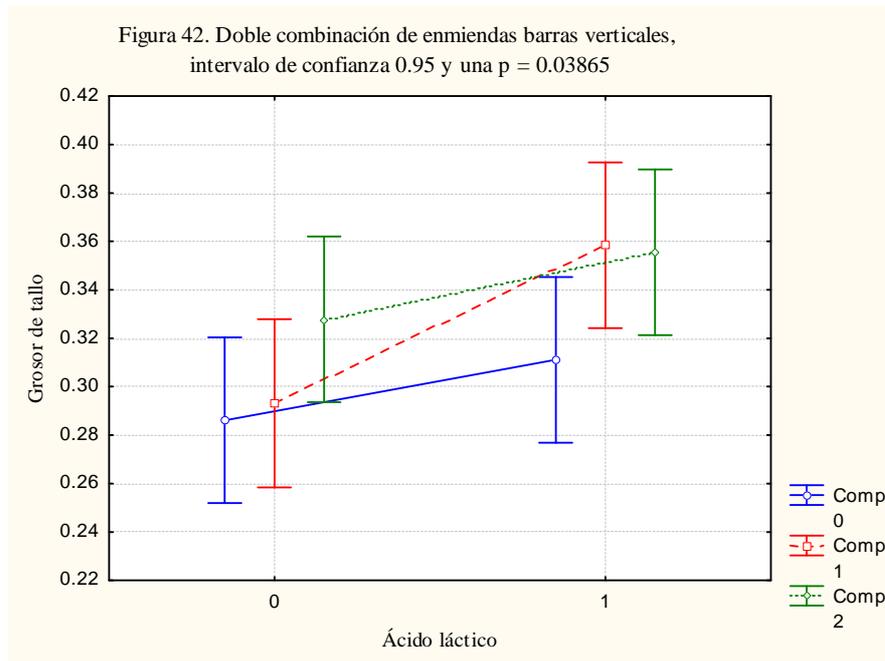




6.8.5 Composta-ácido láctico

Las dosis C1M1 favorecieron el número de flores (Figura 41) y el grosor de tallo (Figura 42) con el efecto significativo con una $p=0.1105$





6.8.6 Ácidos húmicos-composta

Las dosis H2C1 que presentaron significancia con $p=0.01724$ fueron en el número de flores (Figura 43) y en diámetro (Figura 44) que favorecieron a los tratamientos 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1. En el análisis de las variables de respuesta, las otras combinaciones tuvieron una respuesta menor, no significativa.

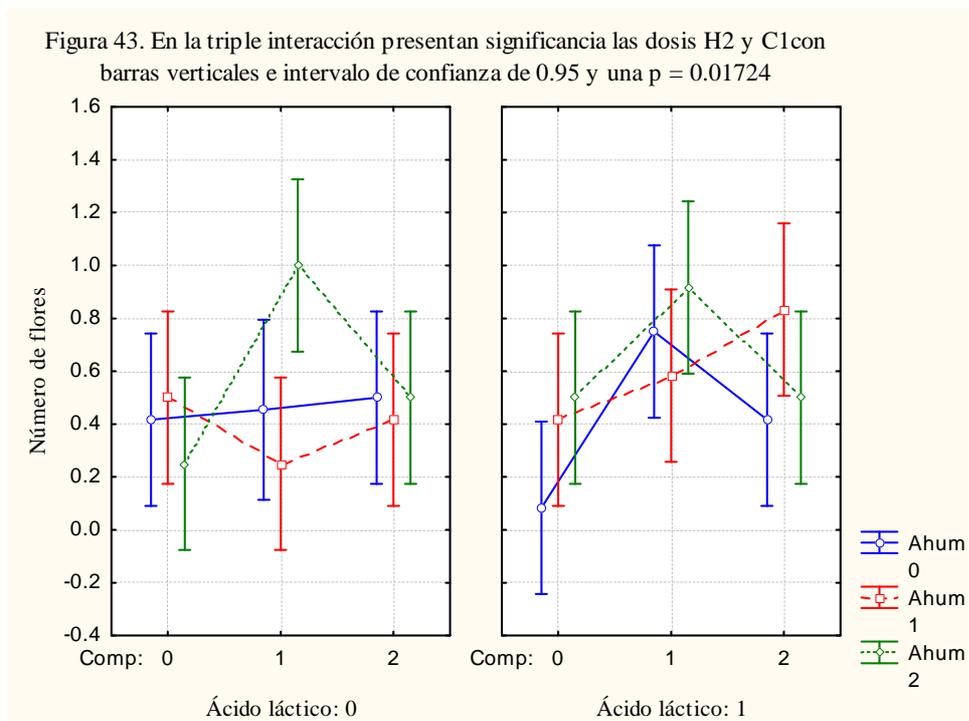
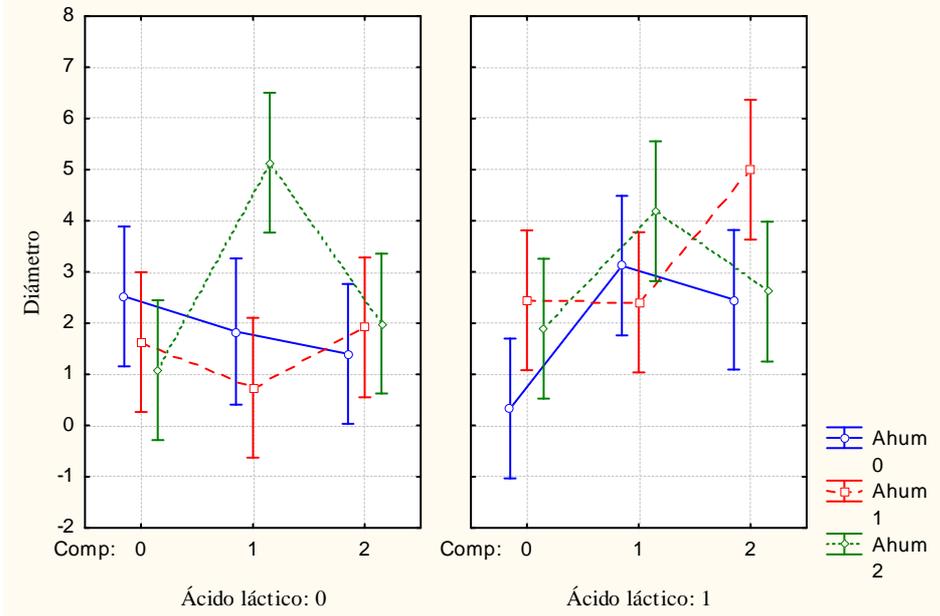


Figura 44. Interacción triple ácidos húmicos-composta- ácido láctico sin ácido láctico
barras verticales, intervalo de confianza 0.95 y una $p = 0.09163$



6.8.7 Ácidos húmicos-ácido láctico

La dosis H2M1 favoreció al número de flores con una $p=0.00126$ (Figura 45) y para el peso seco con una $p=0.00126$ (Figura 46).

Figura 45. Doble combinación ácidos húmicos-ácido láctico con barras verticales, intervalo de confianza 0.95 y una $p = 0.00126$

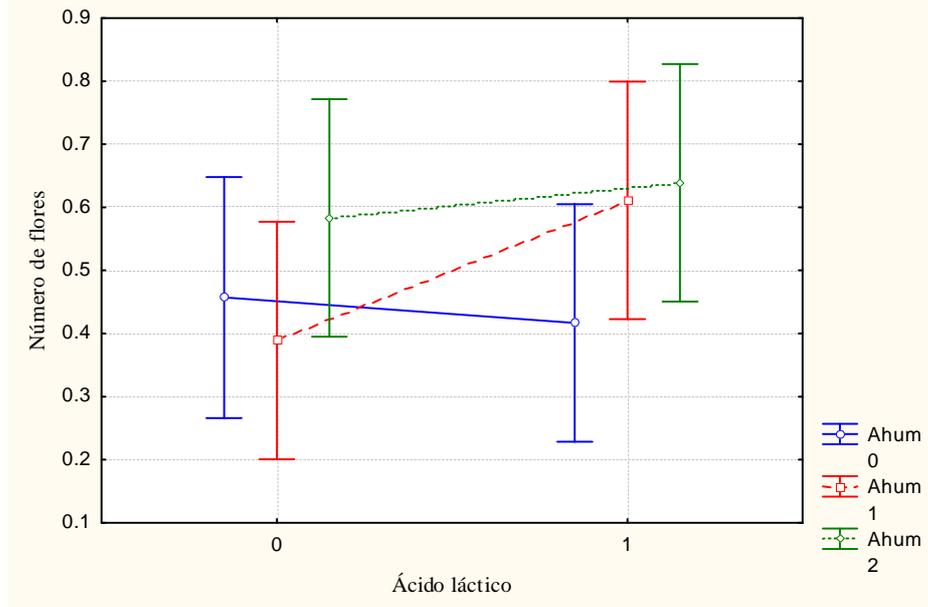
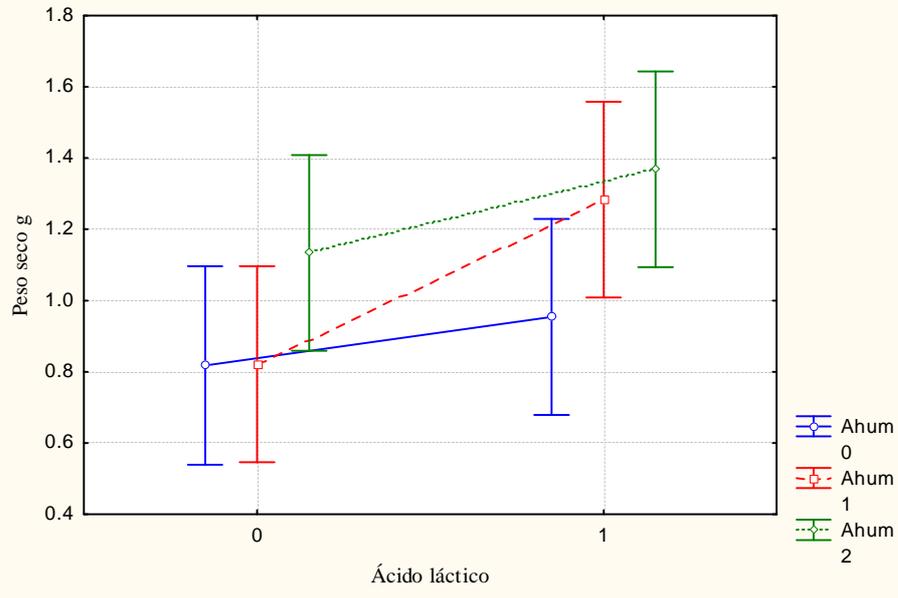


Figura 46. Doble combinación ácidos húmicos-ácido láctico con barras verticales, intervalo de confianza 0.95 y una $p = 0.00126$



6.8.8 Triple combinación ácidos húmicos-composta-ácido láctico

Las dosis de triple interacción que presentaron efecto significativo fue el T12-H1C2M1 en la longitud total (Figura 47) y las dosis del T16-H2C1M1 favorecieron al número de flores, ambos con una $p=0.01724$ (Figura 48), con robustez estadística.

Figura 47. Significancia C1H1 triple interacción ácidos húmicos-composta-ácido láctico con barras verticales, intervalo de confianza de 0.95 y una $p = 0.01724$

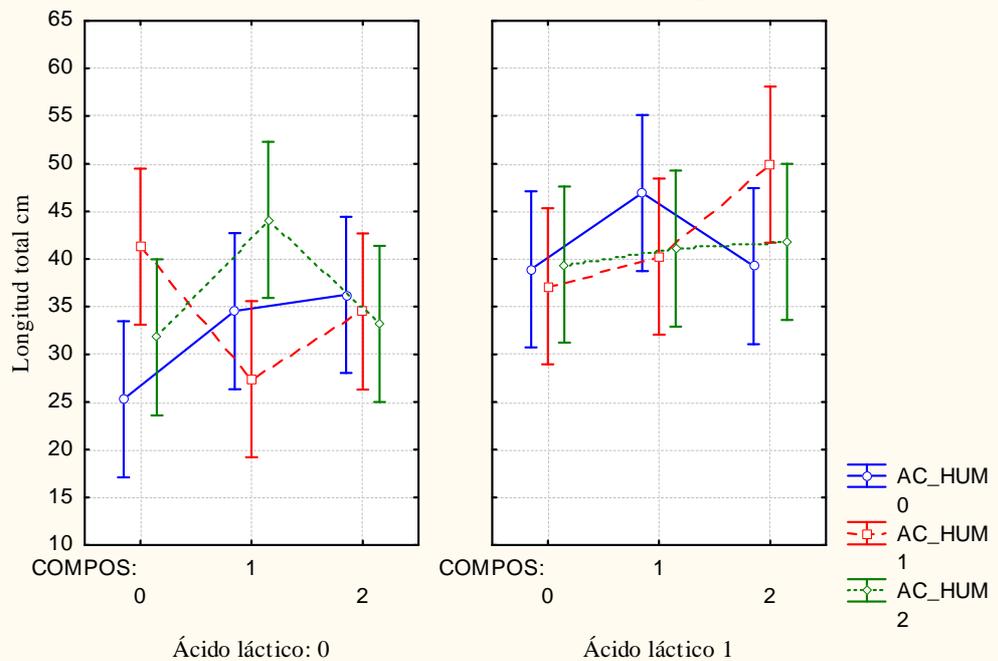
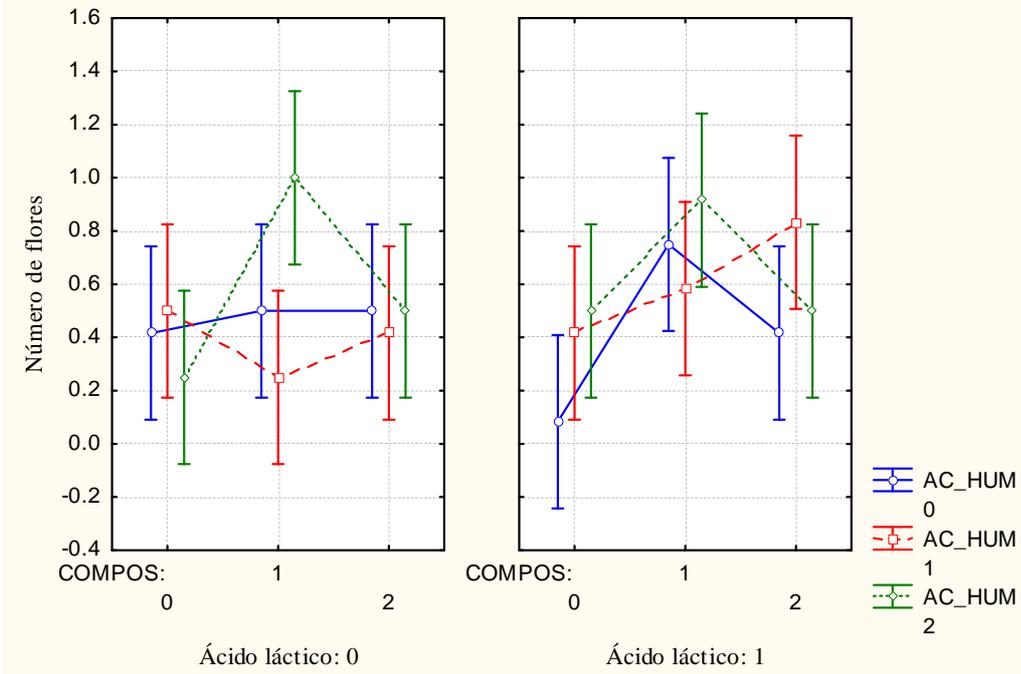


Figura 48. Significancia de H2C1 en la riple interacción ácidos húmicos-composta-ácido láctico con barras verticales, intervalo de confianza de 0.95 y $p = 0.01724$



Las observaciones de la cosecha en invernadero se presentan en el (ANEXOS 8 y 9).

6.8.1 Resultados del análisis estadístico del efecto de las enmiendas en las variables de respuesta en la cosecha del zempasúchil del experimento en campo

El análisis estadístico de Newman (Cuadro 31) valoró el efecto de las enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico en las variables i. Longitud total. ii. Número de flores. iii. Diámetro de flor. iv. Peso seco flor y v. Peso seco del follaje, en la cosecha de zempasúchil. Las cinco variables se consideraron producción del zempasúchil. Los ácidos húmicos, la composta y el ácido láctico su efecto fue altamente significativo con una $p=0.003$ en forma combinada y no en lo individual.

La interacción H-C no presentó diferencias significativas en longitud total. AH-M y en C-M tuvieron significancia con $p=0.0177$ en 6 tratamientos: T. 4, 6, 10, 12, 16, 18.

La interacción ácidos húmicos-composta y composta-ácido láctico presentaron diferencias significativas en 9 tratamientos incluyendo T15 y T16-H2C1M1.

La interacción H-M fue altamente significativa con $p=0.0002$ en los T15-H2C1M0, T16-H2C1M1 con una $p=0.0100$ y en los T10-H1C1M1 y T12-H1C2M1.

La interacción C-M presentó significancia en el T12-H1C2M1 con una $p=0.0002$ y la interacción H2C1 presentó alta significancia con una con $p=0.0003$ en el T15-H2C1M0 y T16-H2C1M1.

La interacción H-C presentó significancia en los tratamientos 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1, pero no la interacción H-M. La interacción C-M si tuvo significancia en los tratamientos 6-H0C2M1, 10-H1C1M1 y 18-H2C2M1. Finalmente la interacción H-C-M presentó alta significancia en el T-12-H1C2M1 con $p = 0.002$.

En peso seco los AHs no presentaron diferencias significativas, pero la composta si con las dosis C1 y C2.

La interacción H-C-M presentó diferencias significativas con $p=0.0028$ en el T12-H1C2M1, en longitud total, diámetro de flores y peso seco flor. La composta tuvo significancia en la combinación composta-ácido láctico.

La combinación ácidos húmicos-composta-ácido láctico presentó significancia en el T12-H1C2M1 y 16-H2C1M1. Los ácidos húmicos-ácido láctico en el diámetro de flores no presentaron diferencias significativas. La composta en C1 presentó significancia en el T15-H2C1M0.

Cuadro 31. Análisis estadístico significancia y alta significancia en las variables de respuesta de producción del zempasúchil en campo

Enmiendas	Longitud total	Número de flores	Diámetro de flores	Peso seco de flor
M1	Altamente significativo con $p = 0.0031$			
H	Diferencias			
C1	No significancia	Presentó alta significancia con $p = 0.0003$.	Presentó significancia	C1 y C2 Diferencias
H-C	No significancia	Significancia T 15 y T 16.		Significancia T 15 y 16
H-M	Significancia en 6 tratamientos: 4, 6, 10, 12, 16 y 18.	No significancia	Alta significancia T 15 y 16 con $p = 0.0002$ y T12 $p = 0.0100$	No significancia
C-M	Significancia T: 4,6,10,12,16,18, con $p = 0.0177$	Significancia en el T 12 con una $p = 0.024$	Significancia para el T 12.	Significancia T 6, 10 y 18.
H-C-M	Significancia T12 (H1C2M1) con una $p = 0.0028$	Diferencias en T12, T15, y T16.	Alta significancia T15 $p = 0.0003$ y T 12 $p = 0.0002$ y T 16.	Significancia T 12 con $p = 0.002$ y T 15 con $p = 0.05$

6.9.2 Pruebas canónicas. Significancia de los mejores tratamientos

Con el análisis de las pruebas canónicas en campo se verificó la misma tendencia que en invernadero. Las enmiendas favorecieron significativamente el crecimiento de zempasúchil en las interacciones de los tres tratamientos 16-H2C1M, 12-H1C2M1 y 15-H2C1M0 que fueron diferentes al testigo (Cuadro 32. Figura 49).

Las pruebas con el método de Newman Keuls indicaron que las variables diámetro de flor, peso seco de flor y número de flores no presentaron diferencia significativa entre las tres variables porque fueron diferentes a la variable de peso seco del follaje (Figuras 49, 50).

Cuadro 32. Pruebas de Newman Keuls

Newman-Keuls Prueba Longitud total (matriz camp.sta)				
Principales efectos de las 4 variables				
	{1}	{2}	{3}	{4}
1 {1}	70,33000	102,7725	95,51500	98,62000
2 {2}	0.0167706	0.0167706	0.01605779	0.0214535
3 {3}	0.01605779	0.69887257	0.69887257	0.64817333
4 {4}	0.0214535	0.64817333	0.73242056	0.73242056

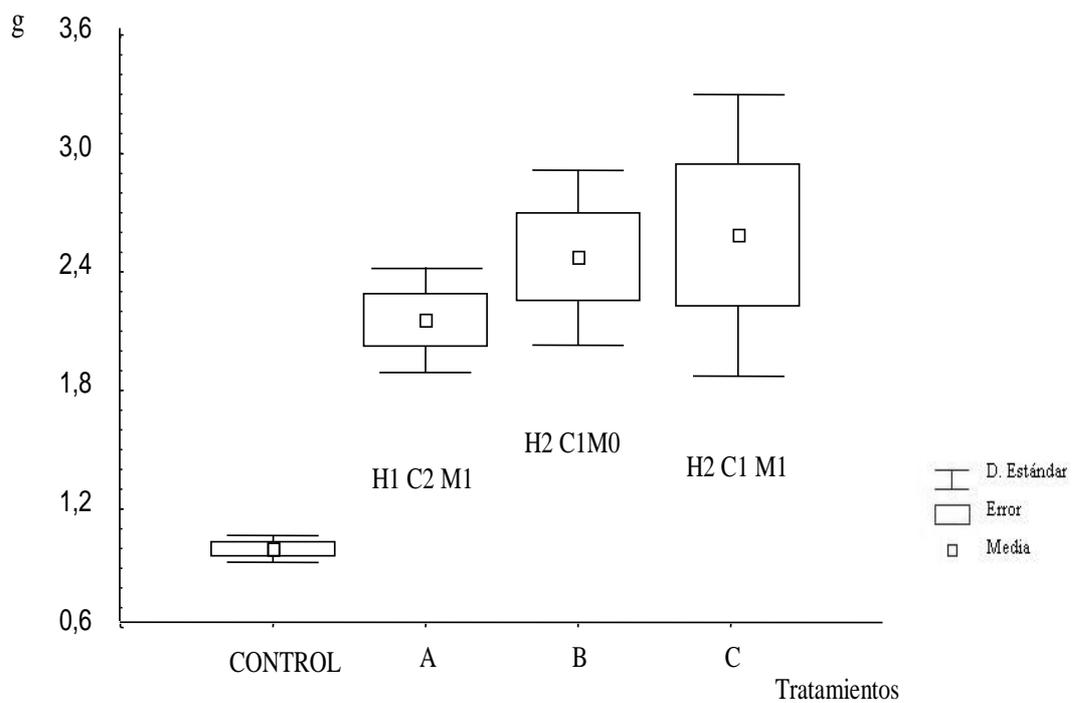


Figura 49. Comparación significativa de productividad de peso seco de las flores (*Tagetes erecta* L.). Se observa la diferencia significativa entre el tratamiento control y los mejores tratamientos: A Doble dosis de composta. B. Doble dosis de ácidos húmicos. C. Doble dosis de ácidos húmicos con ácido láctico (Tukey $p=0.05$) DMS= 3 (Diferencia mínima significativa).

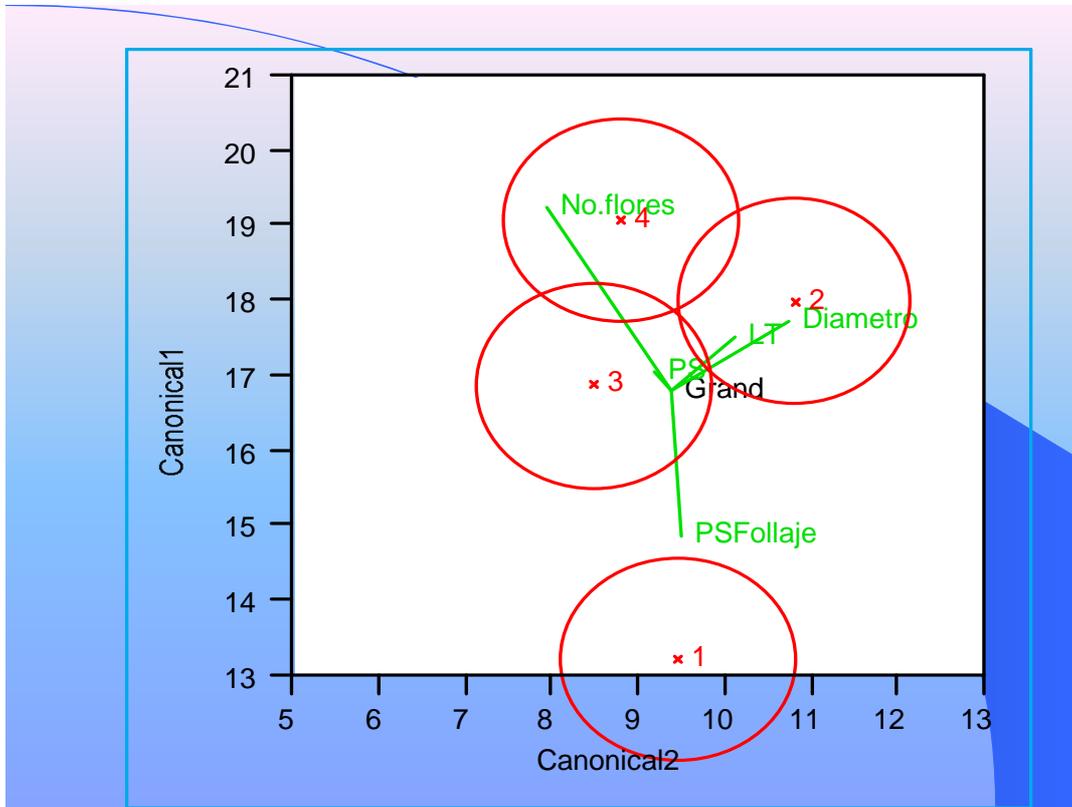


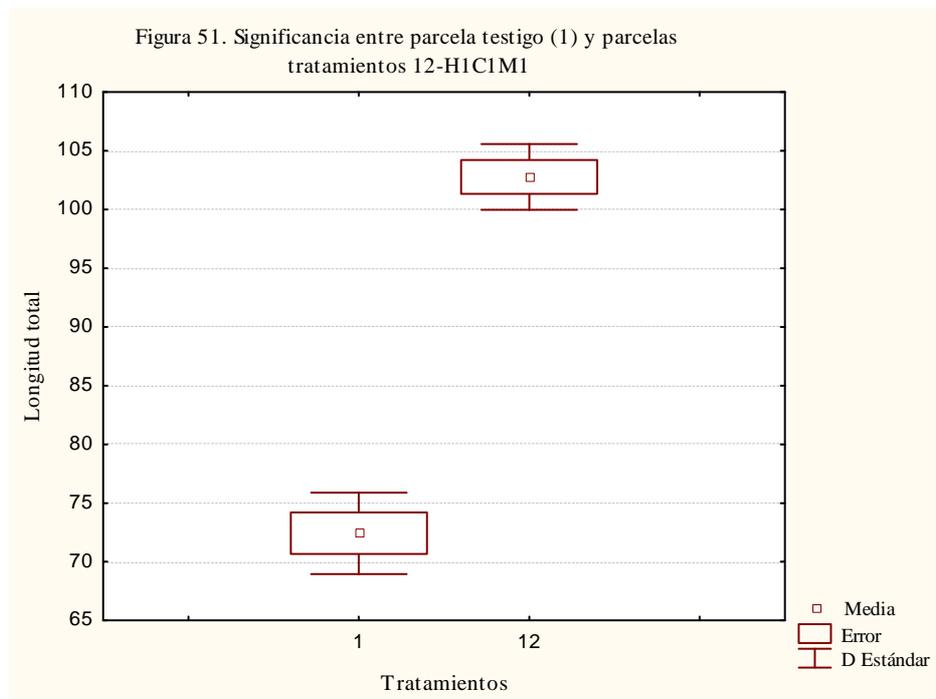
Figura 50. Efecto significativo en número de flores, diámetro, peso seco flor y en peso follaje en los mejores tratamientos tanto en campo como en invernadero.

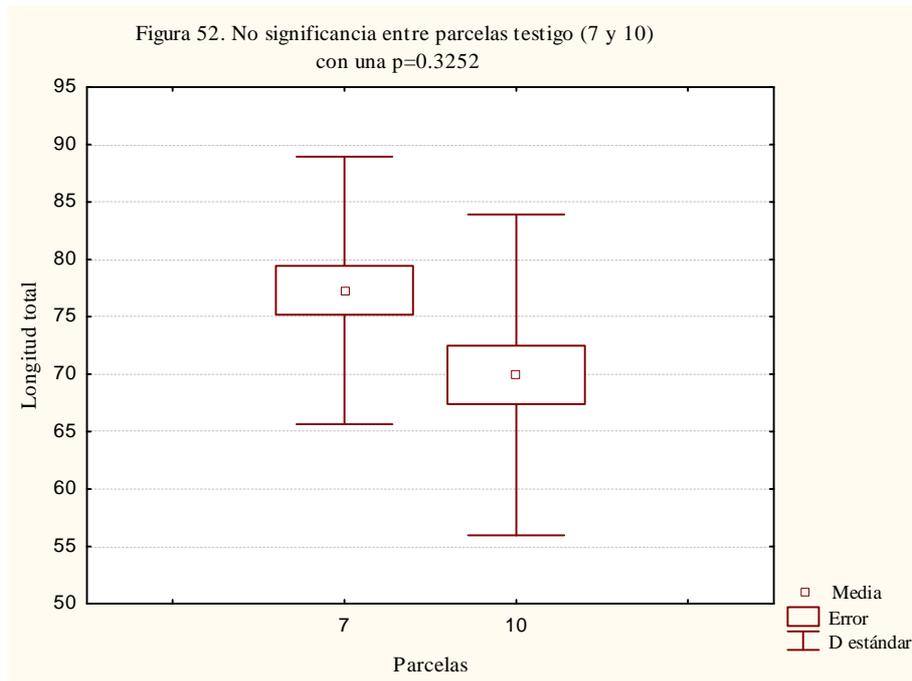
6.9.3 Análisis comparativo en campo

El (Cuadro 6) que presenta la distribución de las dieciséis parcelas en campo, se analizaron estadísticamente al hacer comparaciones entre los mismos tratamientos en diferentes parcelas y las parcelas de los tratamientos con las enmiendas. Los mejores tratamientos que correspondieron a las parcelas 1, 7, 10 y 14 de las parcelas testigo se compararon entre sí estadísticamente. Se hizo lo mismo con los mejores tratamientos de las parcelas (3, 9, 12 y 16) del tratamiento 12-H1C2M1. Las parcelas (2, 8, 11 y 16) correspondientes al tratamiento 15-H2C1M0, las parcelas (4, 5, 6 y 12 del tratamiento 16-H2C1M1).

El análisis indicó homogeneidad estadística en los grupos de parcelas pertenecientes al mismo tratamiento.

El análisis estadístico comparativo para la variable longitud total de las parcelas de 1-12 del tratamiento 12-H1C2M1 mostró el efecto significativo de las enmiendas aplicadas con una $p=0.02263$ (Figura 51), a diferencia de las parcelas testigo 7-10 sin enmiendas presentaron homogeneidad y no diferencias significativas, los promedios de las medias fueron cercanos con una $p=0.2692$ (Figura 52).





Al comparar entre si las parcelas 3-9 y 9-16 del tratamiento 12-H1C2M1 presentaron homogeneidad de las enmiendas, los promedios de las medias estuvieron cercanos (Figuras 53 y 54).

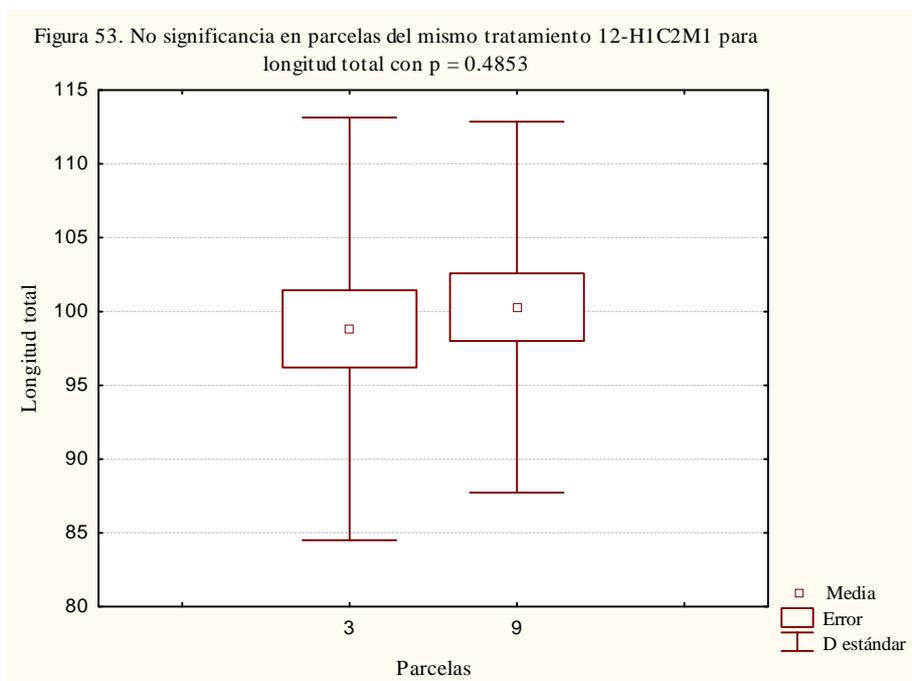
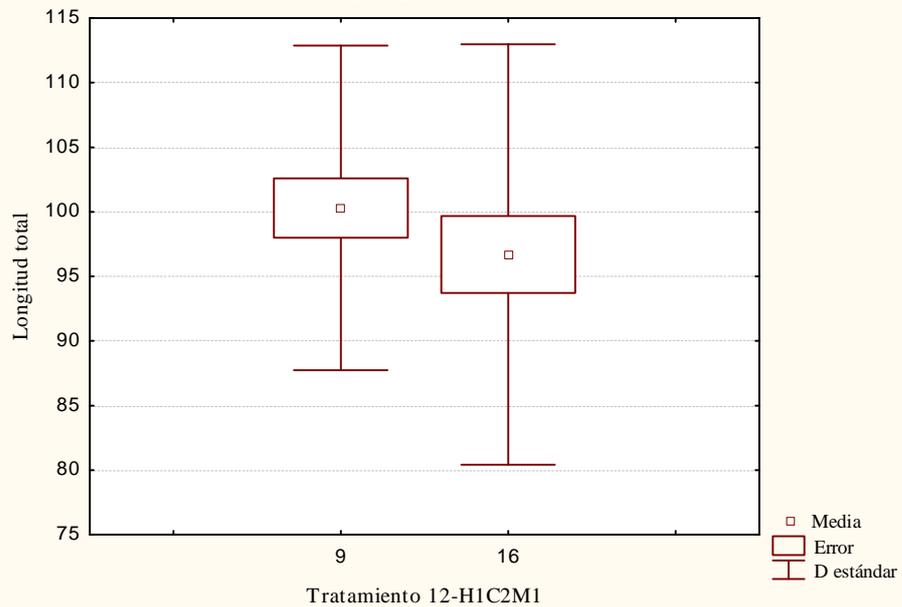


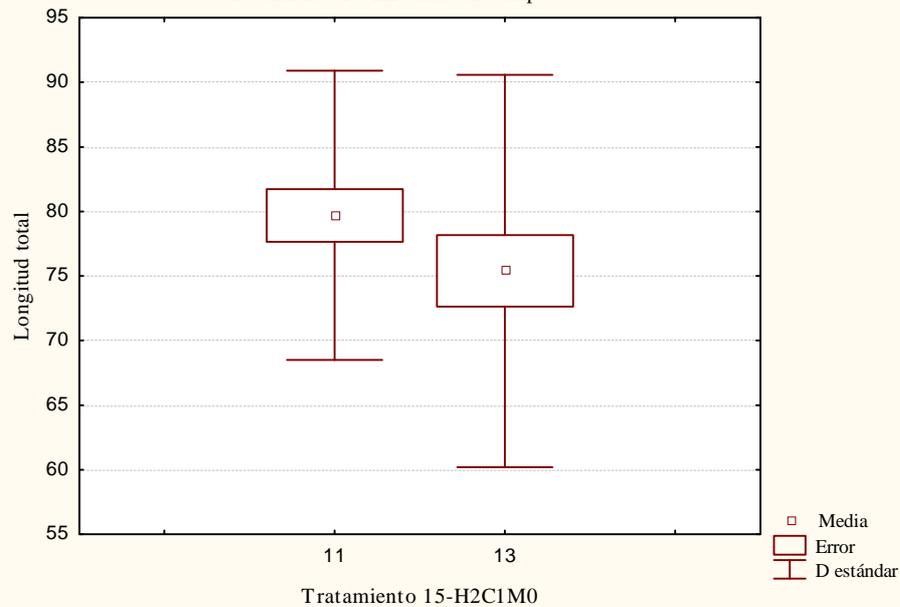
Figura 54. Efecto semejante de no significancia entre las parcelas (9 y 16) del mismo tratamiento 12-H1C2M1

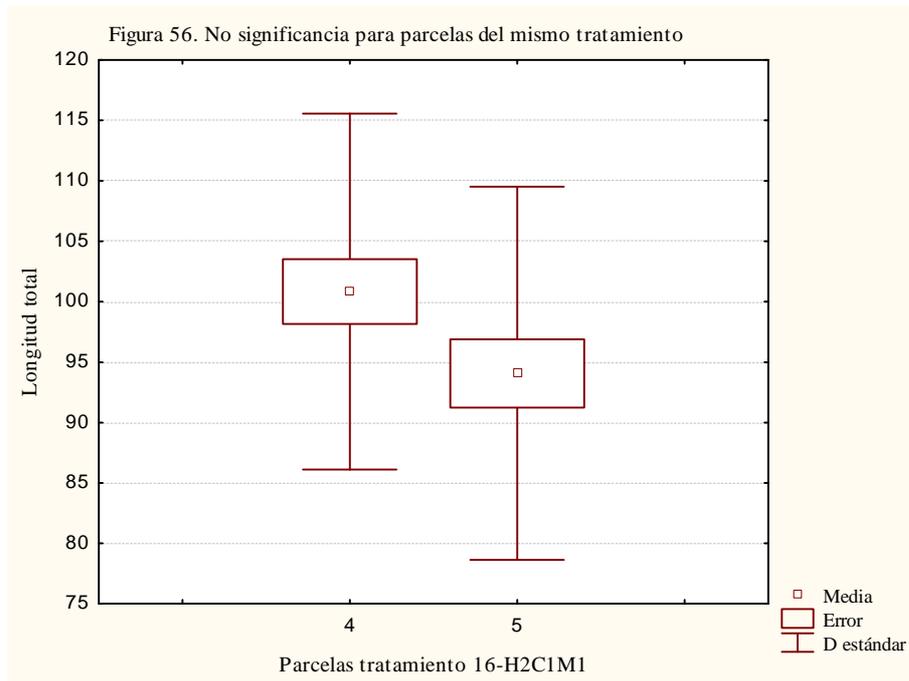


Las parcelas 11-13 del tratamiento 15-H2C1M0 presentaron homogeneidad, no significancia con la aplicación de las mismas dosis de las enmiendas (Figura 55).

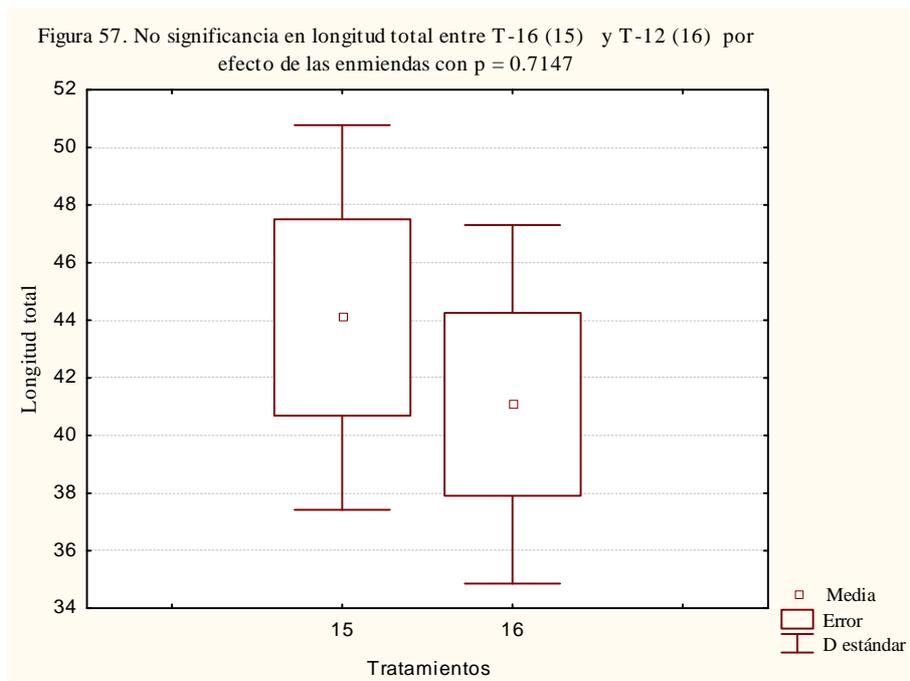
En los tratamientos 16-H2C1M de las parcelas 4-5 sucedió lo mismo, no hubo significancia, las enmiendas en distintas parcelas tuvieron el mismo efecto (Figura 56).

Figura 55. Semejante efecto de no significancia en las parcelas (11 y 13) del mismo tratamiento 15-H2C1M0 en campo





Al comparar las parcelas 15-16 de los tratamientos 16-H2C1M y 12-H1C2M1, no hubo significancia, presentaron homogeneidad con la aplicación de las enmiendas de cada tratamiento con una $p=0.7146$ (Figura 57).



6.9.1. Rendimiento del experimento

Efecto de los mejores tratamientos en campo con las variables de respuesta obtenidas en el crecimiento del zempasúchil

El análisis de los tratamientos de las cinco variables de respuesta en campo favorecieron la triple interacción de la variable longitud total que fue de 102.77 cm del tratamiento 12-H1C2M1 y las cuatro variables relacionadas directamente con la producción del pigmento del zempasúchil: El mejor peso seco de flores con 2.58 g por planta lo presentó el T 16-H2C1M1 con triple interacción. El mayor diámetro de flor con 5.32 cm lo presentó la triple interacción del 12-H1C2M1. El mejor peso seco de flores por planta 2.61 g lo presentó T 16-H2C1M1 y el mayor número de flores por planta fue de 4 del T 16-H2C1M1 (Cuadro 33).

Cuadro 33. Rendimiento obtenido por los tres mejores tratamientos al final del experimento en cultivo de zempasúchil

Tratamientos	Fórmulas	Longitud cm	Longitud %	Peso seco flores g	Peso seco flore %	Diámetro cm	Diámetro %	No. de flores	No. de flores %
Testigo	H0C0M0	70.33	100	0.99	100	4.37	100	2	100
12	H1C2M1	102.77	146	2.15	217	5.32	122	3	178
15	H2C1M0	95.51	136	2.22	224	4.57	105	3	184
16	H2C1M1	98.62	140	2.58	261	5.04	115	4	212
Promedio		98.97	141	2.32	234	4.80	110.00	3	191

Con la aplicación de las tres enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico mejoró la longitud total en 146 % en el tratamiento 12-H1C2M1 con las variables de producción del cultivo de zempasúchil. La mejora correspondió a 261 % en peso seco flores con el tratamiento 16-H2C1M1. El 122 % en diámetro de flor del tratamiento 12-H1C2M1 y con el número de flores 212 % del tratamiento 16-H2C1M1 (Cuadro 33).

7.1. Génesis del suelo

La descripción e interpretación de las propiedades observadas en el perfil del suelo de Tláhuac, con la amplitud y límite de cada horizonte mostraron el laboreo y las alteraciones antrópicas, conforme a los parámetros obtenidos en el suelo debido al historial de su manejo con características de un Hórtico Antrosol, episálico (WRB, 2006). El horizonte de diagnóstico Hórtico se forma a partir de un horizonte mineral superficial, inducido por el hombre como resultado de la labranza y de color oscuro por el contenido de carbono orgánico constantemente fertilizado y abonado con desechos orgánicos (Galicia, 1990). La saturación de bases en $> 50\%$; con buena actividad biológica como se aprecia en la porosidad, donde $>$ del 25% corresponde a bioporos de fauna, en el espesor de 20 cm.

El calificador Térrico porque es un horizonte mineral superficial, con abonos terrosos, composta y se construye gradualmente con diferenciación textural y discontinuidad litológica. La salinidad se distribuye a través de todo el perfil (WRB, 2006; Krasilnikov, *et al.*, 2011). De forma semejante otro estudio cercano a esta zona agrícola de Tláhuac clasifica al suelo como Antrosol térrico flúvico (WRB, 2006), por el aumento del contenido de carbono, identificado como suelo joven, poco desarrollado, con depósitos de materiales orgánicos acumulados, más que materiales de evolución edafogenética. Presenta propiedades gléyicas derivadas de su elevada retención de humedad (Ramos, 2011).

La problemática de los suelos afectados por sales y sodio se ha extendido en la zona de chinampas del Distrito Federal, en particular los suelos en la zona del municipio de Tláhuac que se han caracterizado por diversos autores resaltando la disminución en su productividad y en los resultados obtenidos en el experimento, confirmaron los elevados contenidos de sales en la parcela ubicada en esta zona, en el extracto de saturación la CE de $23.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, alta en las parcelas testigo (que después de aplicar las enmiendas disminuyó al promedio de $19.3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ menos de la mitad), el PSI sodio intercambiable $> 15\%$ con 200.54, el pH

alcalino de 8.4 de acuerdo a los rangos establecidos por (Richards, 1994). Con un alto contenido de Na^+ soluble entre 155.5 a 281 $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$, de SO_4^{2-} 128.9 $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ y de Cl^- 200.5 $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$, por lo que se identificaron como suelos salino sódicos por su origen antrópico, que limita y dificulta la posibilidad de aumentar la producción agrícola, que es de gran importancia, debido a la creciente demanda de alimentos y la conservación de las áreas residuales del manejo tradicional que realizan los habitantes de la región desde épocas prehispánicas (Mercado, 1993; García *et al.*, 1994).

El origen de la acumulación de las sales se ha asociado al manejo antrópico proceso existente en las zonas templado húmedas del agroecosistema de chinampas, por el mal manejo del riego y la acumulación de la humedad por el drenaje deficiente, con características hidromórficas, como afirman estudios de áreas cercanas de Xochimilco, Mixquic, San Luis Tlaxialtemalco y Tláhuac (Reyes, 1992; Ramos, 2001; Fuentes, 2001). El método de riego en Tláhuac ha sido la causa principal de la acumulación de sales y sodio en la zona, que se asocia a un proceso creciente que afecta a más de la mitad de los suelos bajo riego en el mundo (Szabolcs, 1989; Richards *et al.*, 1994; Porta, 2003; Bilgili, 2013).

La formación del encostramiento representa un impedimento para las raíces y se relaciona con la formación de las eflorescencias o costras amarillentas y oscuras que probablemente corresponden a la formación de las sales de tenardita (Na_2SO_4), mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) y halita (NaCl). Como sucedió en otro estudio en una región agrícola de Nebraska, con alta evapotranspiración y formaciones semejantes de eflorescencias salinas de mirabilita abundante y tenardita (Joeckela y Ang, 2004).

Aunque existen suelos salino sódicos en diferentes zonas del mundo, el origen de acumulación de sales es diferente, sin embargo adquieren similitudes entre sus características físicas y químicas; así en la zona lacustre de la cuenca endorreica de Tláhuac la acumulación de sodio y sales en suelos salino sódicos es primordialmente de origen antrópico por el inadecuado manejo del riego, a diferencia de suelos sódicos de la India que son de origen fluvial y micro topográfico con clima semi-árido. Sin embargo ambos

estudios presentaron el drenaje inadecuado, suelo disperso, con altos pH, CE y PSI (Pal *et al.*, 2003).

7.2. Caracterización física y química del suelo

Los cultivos anuales de maíz influyen en la distribución superficial sus raíces como la vegetación base, con la presencia de microporos que aumentan la porosidad y favorecen la consistencia al suelo. La filtración muy lenta dado al deficiente drenaje y la acumulación de la humedad. Sin embargo otros estudios de sales halita, tenardita, bloedita relacionan las dificultades prácticas en los suelos con la inestabilidad de los compuestos solubles, que proporcionan enriquecimiento como evidencias de la salinidad y sodicidad (Mees and Tursina, 2010).

El sistema del suelo de la chinampa mostró el dinamismo de los componentes, en los análisis físicos realizados de las muestras de 0-30 cm (Cuadro 1), predominó el color gris oscuro del suelo, lo que indicó una relación directa con su alto contenido de materia orgánica, que a la vez estuvo en proporción directa con la profundidad, donde se acentuó la acumulación de carbono orgánico en condiciones hidromórficas, a partir de la profundidad de 40 cm y vinculada con la influencia del manto freático (Reyes, 1997). Los rasgos observables en color oscuro reflejan la acción de los procesos formadores de acumulación de suelo (Krasilnikov, *et al.*, 2011), que se mostraron en las condiciones de alta humedad (Siebe, 1996; Porta y López-Acevedo, 2005).

La densidad aparente y la densidad real altas estuvieron en relación directa con la porosidad, porque se disminuyó de alta en la superficie a baja en profundidad, al aumentar el limo la porosidad fue menor a partir de los 20 cm y las partículas mostraron estructura con la formación de agregados que involucraron la adhesión y reorientación de partículas que dieron consistencia al suelo (Brady y Weil, 2002). La relación inversa con la profundidad fue debida a la influencia de la humedad del suelo que favoreció la formación de agregados angulares medianos y grandes (Fuentes, 2001). Estudios realizados en lugares cercanos al área de trabajo reportan propiedades físicas semejantes y verificaron la

presencia de una capa gris clara fina con acumulación de diatomeas a una profundidad de 40 cm similares a las descritas (Reyes-Ortigoza y García-Calderón, 2004).

La relación de la textura gruesa con el contenido alto de sales en la solución del suelo por efecto de la evaporación se asocia directamente, en la profundidad con la humedad, porque con la textura gruesa el contenido de agua fue bajo, los niveles de carbono orgánico altos en las chinampas, a diferencia de otro estudio con similar relación, pero resultados contrarios con el carbono orgánico bajo, que produjo pobre crecimiento de las plantas y descomposición de la materia orgánica (Raj *et al.*, 2011).

Los estudios preliminares en las pastas de saturación del suelo de chinampa confirmaron las limitaciones de las propiedades químicas del suelo, clasificado como salino sódico sobre la base de alta $CE > 4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y alto PSI sodio intercambiable, con el pH de ligeramente alcalino (Cuadro 12). Al cuantificar los niveles de salinidad del suelo y establecer la relación con los contaminantes, se encontraron los altos contenidos de sales que indicaron el pH alcalino y que son ligeramente salino-sódicos, pero con altos contenidos de carbono, CIC y de Ca^{2+} alto (Richards *et al.*, 1994; Huez *et al.*, 1989; Beltrán Hernández, 2001; Brady y Weil, 2002; Salcedo, 2002). El contenido de carbono orgánico varió y aumentó a través de la profundidad del perfil, estas características indicaron la influencia de su origen antrópico lacustre y a la vez de la acumulación de materia orgánica por la saturación de humedad (Galicia, 1990; Reyes, 2004; González, 2010).

En la chinampa la acumulación de sales solubles y Na^+ intercambiable de los suelos salino-sódicos tiende a incrementarse como señalan estudios semejantes en zonas aledañas (Galicia, 1990; Fuentes, 2001; Reyes Ortigoza *et al.*, 2004; Ramos *et al.*, 2012). Por lo tanto los altos contenidos de sales en Tláhuac obtenidos en las parcelas testigo (Cuadro 13) fueron comparables con otras zonas de estudio caracterizadas por el menor crecimiento de plantas y baja actividad microbiana, que notoriamente se modificaron al aplicar las enmiendas en las parcelas experimentales y los contenidos de sales y sodio disminuyeron. Esto se reflejó en las propiedades morfológicas, físicas, químicas y biológicas, con los electrolitos de las soluciones de los procesos formadores del suelo y la salinidad fluctúan

estacionalmente con la calidad del agua de riego (Szabolcs, 1989; Hafiz y Raj, 2012; Bilgili, 2013).

El suelo se mejoró y permitió la actividad de los microorganismos en la dinámica de la materia orgánica del carbono y nitrógeno que se reflejaron en el crecimiento del zempasúchil (Cuadro 20). A diferencia de suelos salinos alcalinos del lago Texcoco con un $\text{pH} > 10$ y $\text{CE} > 150 \text{ dSm}^{-1}$, enmendados con glucosa que mostraron la inhibición de la descomposición del material orgánico, el efecto limitado en la dinámica del nitrógeno y la mineralización del material orgánico (Ortega, 1983. Ortiz, 1992; Dendooven *et al.*, 2010).

El problema de los efectos de sales excesivas en la solución del suelo reducen la absorción del agua debido al bajo potencial osmótico (Harris, 1980) con aridez edáfica (Porta, 2003). Se reduce el agua disponible para el crecimiento de las plantas, la actividad de la biomasa microbiana del suelo y los procesos bioquímicos de la materia orgánica del suelo (Rietz y Haynes, 2003; Tripathi *et al.*, 2006; Yuan *et al.* 2007). Afectan adversamente las propiedades físicoquímicas y biológicas de los suelos (Rengasamy, 2006).

La solución al problema en Tláhuac de sodicidad y salinidad o enriquecimiento del suelo por sales y sodio más solubles que el yeso, representó los valores altos de cationes de Mg^{2+} $146 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ y de aniones de cloruros $94 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$, sulfatos $34.5 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$, los que provocan altos valores de la presión osmótica en la fase líquida del suelo, con el drenaje insuficiente y repercusiones en la vegetación (Pizarro, 1978; Richards, 1994; Porta *et al.*, 2003). En la investigación en Tláhuac la CE como el indicador de salinidad del suelo salino sódico obtuvo valores altos, en las pastas de saturación de las parcelas testigo al inicio del experimento en campo, que se relacionan con otra investigación que valoró la salinidad en suelos salinos sódicos con CE de $15 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ de NaCl, bajo estrés hídrico y el potencial osmótico en hojas de *Atriplex nummularia* L. (especie resistente a la salinidad). Este valor de CE correspondió al potencial osmótico de -4,03, -0,64 y -0,83 MPa encontrados en las hojas de *Atriplex*, que son seis veces menores que los encontrados en raíces, lo que indicaría que el potencial osmótico en Tláhuac podría ser equivalente a estos valores en la solución, porque con las CEs en los tratamientos mejorados del experimento (Cuadro 23) se

obtuvieron valores semejantes de CE de $15.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, tratamiento 12-H1C2M1, de $13.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ el tratamiento 15-H2C1M0 y de $12.9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ el tratamiento 16-H2C1M1 (Rodríguez, *et al.*, 2012). Diferentes indicadores son comparables en Brasil para evaluar los efectos de la toxicidad de las sales, como el potencial osmótico, porque proporcionó respuesta al estrés hídrico de las plantas y el contenido de los iones para valorar la salinidad en las plantas de melón, maíz y frijol (Ben-Gal *et al.* 2009).

La tolerancia del zempasúchil con estos valores altos de salinidad es comparable con las condiciones de tolerancia de especies halófitas, como en un estudio se probó la resistencia con el potencial osmótico de 1.5 MPa en las halófitas en ambientes salinos y con el ajuste iónico y osmótico se mantuvo un flujo adecuado de agua para el crecimiento. Con salinidad de $20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de NaCl las especies fueron tolerantes, mientras que a $40 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ NaCl las plantas se deshidrataron y presentaron crecimiento deficiente y un estado marchito (Naidoo, 1994).

Otro problema la sodificación o enriquecimiento del suelo por Na^+ intercambiable existente en Tláhuac ha sido por el contacto del suelo con soluciones sódicas que han repercutido en el crecimiento de las plantas. El efecto del sodio se ha mitigado en esta investigación con la adición de las tres enmiendas orgánicas al disminuir su concentración de $147.82 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ a $52.17 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$. Esta mejora se correlaciona con un estudio de un suelo sódico de Australia, donde mejoraron el suministro de nutrientes del suelo, por la descomposición microbiana de la enmienda aplicada y el aumento del contenido de carbono orgánico que dependió de la composición química de la materia orgánica de la enmienda (Clark *et al.*, 2007).

7.3 Mejoramiento del suelo salino sódico. Lavado y aplicación de las enmiendas

En Tláhuac la adición de las enmiendas orgánicas ácidos húmicos y composta en este suelo afectado por sales y sodio, demostraron la mejora de la fertilidad química y actividad biológica, porque se vincularon con el aumento en el crecimiento del cultivo del zempasúchil, probablemente se asocia por la proliferación de la raíz, aumentan la absorción

y retención de agua (CRAD) y la mineralización de la materia orgánica del suelo (Ferrerías *et al.*, 2006).

El suelo se mejoró en una proporción de 35.29% por la aplicación de la lámina de lavado que atenuó el exceso de sales solubles y la CE indicó el efecto de la lámina, que mostró la disminución a un nivel más bajo de los límites establecidos. En las unidades experimentales con la aplicación de la lámina de lavado de 6 m³ y sin aplicación del ácido láctico se disminuyó la presencia de las sales, se obtuvo una CE con un valor alto, pero con la aplicación del ácido láctico se obtuvo menor CE por su capacidad de disociación ácida prolongada, que sólo con el efecto de la lámina de lavado.

Al desplazarse las sales se tuvo un ambiente más propicio para continuar con las enmiendas, ácidos húmicos-composta-ácido láctico. El sodio disminuyó, aminoró su efecto directo de los sitios de intercambio al cambiar la naturaleza. Se mitigaron los efectos de la sodicidad de los sitios de intercambio.

El pH del suelo también se modificó y disminuyó con la aplicación del ácido láctico. Lo que indicó su efecto positivo de la capacidad de la constante de disociación (Cuadro 12) y facilitó que el hidrógeno del carboxilo se sustituyera por el Na⁺. El pH ligeramente alcalino permitió la disponibilidad de los cationes el pH elevado de otro estudio semejante limitó la absorción de nutrientes (Keren, 2000).

La adición de las enmiendas ácidos húmicos-composta tuvieron efectos que aumentaron los sitios de intercambio y de nutrientes disponibles, para modificar las propiedades químicas del suelo.

Se presentaron dominantes los cationes Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ y los aniones Cl⁻, SO₄²⁻ como en estudios de áreas cercanas (Galicia, 1990; Fuentes, 2001; Ramos *et al.*, 2011), que permitieron la solvatación de los iones disueltos que se precipitan al secarse el suelo y al añadir agua vuelven a disolverse (Hillel, 1998; Porta, 2003). La CIC reflejó los coloides

orgánicos, en la superficie fue menor y aumentó casi al doble en profundidad, lo que indicó alta actividad microbiana, con un alto contenido de MO que se acumuló en los coloides orgánicos de las sustancias húmicas (Huez *et al.*, 1989. Reyes-Ortigoza y García-Calderón 2004. Ramos *et al.*, 2012).

La sodicidad del área chinampera de Tláhuac con la adición de las enmiendas disminuyó el contenido de sodio por la sustitución del sodio intercambiable por el catión de los carboxilos del mejorador ácido láctico, como en otro estudio similar el mejorador fue el yeso $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en un área cercana, (Galicia, 1990). Otros estudios análogos han realizado la aplicación de yeso como enmienda y recuperaron un suelo e incrementaron el rendimiento de los cultivos en Pakistán (Ilyas, 1997). En otro estudio con yeso y cloruro de calcio se probó suministrar el calcio soluble al suelo para el reemplazo de sodio intercambiable (Mzezewa *et al.*, 2003), o en otra investigación con yeso en el sur de la India previno el desarrollo de sodicidad debido a su rápida solubilidad (Pa *et al.*, 2006).

La solución a la problemática de la acumulación de sales y sodio en diferentes partes del mundo, como otros estudios realizados en África determinan la mejor manera de recuperar suelos salinos sódicos al probar mejoradores. Los resultados indican como la harina de melaza, el azufre y el yeso demostraron su eficiencia al suelo salino sódico (Mzezewa *et al.*, 2003). Otras enmiendas utilizadas rehabilitaron el suelo en la India, que mejorando las propiedades físicas e incrementaron la materia orgánica para (Chawla, Abrol, 1982).

Los resultados obtenidos en Tláhuac y de otras investigaciones muestran claramente la disminución de la acumulación del contenido de sodio, de sales por efecto positivo de las enmiendas aplicadas que permitieron mitigar y mejorar al suelo sódico, porque los iones de sodio intercambiable y la sustitución por iones de calcio de las enmiendas, influenciaron el crecimiento y desarrollo del cultivo de zempasúchil.

El beneficio de aplicar las enmiendas se atribuye a estabilizar la disponibilidad de nutrimentos mediante intercambio catiónico, por buffering geoquímico (el sodio se sustituyó por calcio) o por almacenamiento biológico (el sodio se sustituyó por iones de

hidrógeno liberados, a partir de los ácidos orgánicos) o bajo una cubierta vegetal como enmienda, como lo sugiere la estabilización biológica (Faulkner, 2007; Zambrano, 2011).

La adición de la enmienda ácidos húmicos permitió disponer como fuente de nutrimentos de la materia orgánica; mientras el ácido láctico como fuente de iones hidrógeno de los grupos funcionales amortiguaron el efecto de las sales y han permitido aprovechar en forma sustentable nuestros recursos naturales, como propuesta del proceso de composteo para la protección de áreas agronómicas (chinampas) que se están abandonando (Richards *et al.*, 1994; Atiyeh, 2011a). Comparados con otros estudios han contribuido a mitigar la acumulación de las sales en el suelo, la amenaza de degradación con la producción de cultivos sustentables (Richards, *et al.*, 1994; Bossio 2007; Zhang *et al.*, 2010; Manpreet *et al.*, 2012; Bilgili, 2013).

Las enmiendas aplicadas en Tláhuac se asocian con el aumento de la actividad microbiana del suelo, la descomposición de materia orgánica, la disminución de la salinidad. La actividad microbiana incrementa al contenido de carbono orgánico disuelto, a diferencia de otro estudio similar donde el aumento de la solubilidad de la materia orgánica del suelo se produjo al aumentar la sodicidad (Muhammad *et al.*, 2008). Resultados afines indican como de aplicación de enmiendas orgánicas permiten el aumento del contenido de Ca^{2+} en la solución, debido a la formación de ácidos orgánicos. Como en otro estudio la incorporación de enmiendas orgánicas en los suelos sódicos remedió sus propiedades (Wong *et al.*, 2010) y en otra investigación la adición de materia orgánica promovió la floculación y estabilidad de los agregados del suelo (Mzezewa *et al.*, 2003; Tejada *et al.*, 2006).

El mejor resultado de las enmiendas fue en combinación doble y triple con las dosis de: 120 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de ácidos húmicos, 60 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de composta y 3.4 Lm^{-2} de ácido láctico, por los efectos en el crecimiento y el desarrollo del zempasúchil, como lo indicó la significancia estadística que cumplieron su función como mejoradores.

Las máximas dosis con triple interacción del tratamiento 18-H2C2M1 se esperaba que fuera el tratamiento deseable para mejorar las propiedades de las sales y sodio del suelo, con

mayor crecimiento, pero la presencia de la doble dosis de ácidos húmicos y doble de composta fueron excesivas, no favorecieron el crecimiento del zempasúchil de la variable de peso de la flor fue favorecida (Figura 31 a, b y c).

Se confirma con el análisis discriminante que las interacciones de los tres factores representados en las enmiendas, favorecieron las combinaciones de las dosis dando los tres mejores tratamientos que sobresalen por su efecto 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1 (Cuadro 30) los que sobresalieron por su efecto.

La comparación del efecto de suma de las enmiendas y su beneficio, se representa claramente en las diferentes combinaciones de las dosis, en las gráficas donde las variables de respuesta fueron favorecidas para la producción del cultivo, como ha sido uno de los objetivos de la investigación (Figura 33).

La adición de la composta permitió comparar con varias investigaciones, que se correlacionan con la capacidad de generar cambios en el contenido de la materia orgánica del suelo, que aumentó luego de aplicarla y disminuyó el pH, (López *et al.*, 1997). Las evidencias espectroscópicas de que se trató de materiales prehúmicos de moléculas resistentes como lignina y biopolímeros prehúmicos que se agregaron al suelo, indicaron que la humificación se realizó a través de una relativa concentración de fracciones aromáticas (Almendros *et al.*, 1990; Leifeld *et al.*, 2002; Pierluigi *et al.*, 2002).

El efecto de la adición de composta, se caracterizó por el aumento de la acción de los microorganismos sobre las sustancias de menor complejidad y la segunda por la transformación de los componentes recalcitrantes a sustancias húmicas, que mejoran la calidad del suelo. La calidad de la composta se define en función de su contenido de ácidos húmicos, en este sentido las normas italianas exigen como mínimo 75g de AHs kg⁻¹ de sólidos totales (Genevini *et al.*, 2002).

El proceso controlado de compostaje de la materia orgánica se llevó a cabo su acción con hongos y bacterias (Klamer *et al.*, 2001), que degradan las moléculas hidrocarbonadas para formar materiales húmicos supramoleculares (Piccolo, 2002).

La composta que actuó como fuente de nutrimentos y presentó estructuras alifáticas no condensadas abundantes, contribuyendo a disminuir el efecto de la salinidad. La funcionalidad de la composta como enmienda se comprobó en las pruebas iniciales al disminuir el pH en un rango de 1.65 a 1.95 unidades, y la CE de $2.35 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, valores que aumentaron la disponibilidad de los nutrimentos. A diferencia de otro estudio en Columbia con distintas enmiendas y el mismo objetivo que en Tlahuac, probó el potencial de varios desechos como enmiendas de suelo en la producción hortícola, incluyendo biosólidos, biodesechos, turba y fertilizantes NPK. El rendimiento de acelga y zanahoria se incrementó, teniendo el potencial de mejorar la calidad del suelo y el crecimiento de cultivos hortícolas de alto valor (Neilsen *et al.*, 1997).

El pH de la composta funcionó como índice de la calidad y es un parámetro indicador de grado de humificación de la materia orgánica y por lo tanto de su madurez. Al inicio en general es menor que 5.5 debido a la generación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, en tanto que al alcanzar la madurez se eleva hasta valores ligeramente básicos alrededor de inclusive mayores que 7.5 (Lee *et al.*, 2002).

Por su efecto mejorador de la materia orgánica como enmienda al aplicar $60 \text{ ton}\cdot\text{año}^{-1}$ de la composta, en su dosis baja C1 en la doble interacción H2C1 en los tratamientos 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1, se comprobó su efecto mejorador por la significancia estadística en tres variables de respuesta: número de flores, diámetro y peso seco de flores (Figura 35).

El beneficio de aplicar la concentración C2 fue en el T12-H1C2M1 se observó únicamente en la variable de respuesta número de botones (Figura 36). La significancia de C1 y C2 se observó en cinco variables de respuesta: número de botones, de flores y de ramas (Figura 37), longitud total y diámetro (Figura 38), la significancia demostró su efecto positivo, lo que indicó que la composta cumplió su función como mejorador y fuente de nutrimentos.

Los resultados de disminución de las sales y sodio obtenidos por el efecto de materia orgánica de las enmiendas ácidos húmicos-composta en Tláhuac favorecieron las propiedades químicas del suelo, porque enriquecieron el crecimiento de las plantas en condiciones hidromórficas e influyeron en la eficiencia de hidrólisis del sustrato orgánico que permitió una actividad de amortiguamiento.

Los ácidos húmicos extraídos de la composta en Tláhuac, macromoléculas con intensa coloración oscura, de naturaleza coloidal y alta resistencia a la descomposición microbiana, cuya función consistió en aumentar el amortiguamiento y su residualidad, conforme su caracterización molecular que aportó datos relacionados con la calidad, estabilidad, fertilidad potencial y actividad fisicoquímica en los suelos donde se agregaron (Schnitzer y Schuppli, 1989; Piccolo y Camiri, 1990; Stevenson, 1994).

En este sentido cada vez se busca discernir con mayor precisión la estructura y reactividad de los ácidos húmicos, así como sobre los grupos funcionales que contienen. Se documenta que los ácidos húmicos presentan diversos beneficios: incrementan el rendimiento de la cosecha, la permeabilidad de las membranas, la absorción de los nutrimentos, la CIC y el crecimiento de organismos del suelo. Estimulan los procesos bioquímicos, el crecimiento, desarrollo de las plantas. Como proceso evolutivo de la materia orgánica, se transforma del humus joven a humus estable a ácidos húmicos, que han favorecido la mayor fertilidad y la mejor condición del suelo, (Kononova, 1982; Almendros, 1994; Venegas-González, 2005), debido a su alto contenido en nutrimentos y por la abundancia de grupos funcionales para disminuir la sodicidad.

Los ácidos fúlvicos tienen mayor contenido de oxígeno, pero menor contenido de carbono que los ácidos húmicos, contienen grupos funcionales de carácter ácido (COOH), su acidez (900-1400 cmol) más elevada que los ácidos húmicos. Otra diferencia el contenido de oxígeno en los ácidos fúlvicos se explica en gran medida por los grupos funcionales (COOH, OH, C=O), con un alto porcentaje del oxígeno, parece presentarse como un componente estructural del núcleo (Drozd 1978; Stevenson, 1982; Almendros, 1998).

Con la aplicación de los ácidos húmicos, complejas macromoléculas aromáticas enlazadas a cadenas con aminoácidos, amino azúcares, péptidos, compuestos alifáticos y grupos aromáticos fenólicos libres y ligados (OH), estructuras: quinónicas, se obtuvo la CE más baja de 0.75 a 0.07 dS·m⁻¹ (Almendros, 1998). Los ácidos húmicos extraídos de la composta y de los suelos de las parcelas tratadas tuvieron un rendimiento de extracción de 18%, con la solución acuosa de NaOH que constituyó el reactivo más eficiente para extraer el mayor contenido de sustancias húmicas (53 %). El contenido de ácidos húmicos de la composta fue ligeramente alto 17 g·kg⁻¹ con respecto al valorado del suelo de 15.7 g·kg⁻¹ como se evaluó en otro estudio con un valor similar (Rodríguez *et al.*, 2009).

La composta con su aplicación como fuente de materia orgánica, al caracterizar las estructuras de ácidos húmicos que dependieron fundamentalmente del origen y las condiciones en las cuales se desarrollaron estos compuestos, se obtuvo mejor crecimiento de las plantas de zempasúchil con la dosis doble de ácidos húmicos H2 y con la relación E/E_{que} que señaló polimerización escasa de los ácidos húmicos. Como los ácidos prehúmicos de la composta se relacionan con la mayor proporción de estructuras alifáticas que el suelo; En este sentido parecidos resultados se obtuvieron en los Andes Venezolanos en el estudio estructural de los ácidos húmicos, con otras enmiendas como estiércol caprino (Zambrano, 2011).

Tendencias similares al estudio realizado en Tláhuac se tuvieron en la recuperación de un suelo salino sódico calcáreo, al aplicar estiércol de ganado vacuno la CE osciló entre 3.0 a 6.69 dS·m⁻¹ y el RAS entre 2.49 a 10.14 meq L⁻¹. Los resultados podrían tener un impacto positivo sobre las propiedades del suelo (Mahmoodabadi, 2012).

Los ácidos húmicos formados como producto de humificación, durante la descomposición de la materia orgánica han influido en la fertilidad del suelo al incrementarse de la absorción de nutrientes y en el crecimiento del zempasúchil, porque mejoraron las características fisiológicas y las características del suelo, por su efecto en el aumento de su capacidad de retener agua y enriquecer el suelo con energía para el desarrollo con

microorganismos importantes en los ciclos biogeoquímicos benéficos, que han regenerado la micro fauna e incrementado la mineralización (Cunha y Bianchini, 2004).

Se presentó la significancia estadística en el cultivo de zempasúchil en las variables de respuesta: diámetro de flor y número de ramas y favorecieron el contenido del peso seco de los capítulos, importantes por su utilidad para la industria alimenticia. Los ácidos húmicos presentaron relación con la profundidad y cantidad de microorganismos (Polak, 2011).

Las sustancias húmicas extraídas de la composta de estiércol de conejo, aplicada como enmiendas en los mejores tratamientos 12-H1C2M, 16-H2C1M1 y 15-H2C1M0 sin ácido láctico pudieron influir en el mejor crecimiento, desarrollo del cultivo de zempasúchil, hasta más del doble, son comparables y semejantes con un reporte de ácidos húmicos de estiércol extraídos de desechos de cerdo, plantas, turbas y materiales. Encontrados con aromaticidad de alrededor de 40%, el contenido de lignina alto de aproximadamente 60%, carbohidratos y grupos estructurales alifáticos de cadena larga, obtenidos también en espectroscopía infrarroja con Transformada de Fourier, que detectaron la composición y estructura en los ácidos húmicos del estiércol y aumentaron el carbono al doble de 377 a 710 g·kg⁻¹ durante el composteo. Existe semejanza en la correlación con los materiales de menor peso molecular (fracción fúlvica), con el tiempo de composteo, que influyó en los compuestos constituyentes de plantas parcialmente degradadas, lo que mantiene sus estructuras químicas (Inbar *et al.*, 1990).

Al agregar las enmiendas se favoreció el reemplazo de Na⁺ intercambiable y se modificó la estabilidad de la estructura del suelo (Avnimelech, 1994; Reyes-Ortigoza y García-Calderón, 2004). La carga negativa de los ácidos húmicos contribuyó a la movilidad de cationes. Por lo tanto los ácidos húmicos en su doble dosis H2 240g (60 ton·ha) mitigaron al suelo sódico de Tláhuac, con los tratamientos 16-H2C1M1 con ácido láctico y 15-H2C1M0 sin ácido láctico en las variables de respuesta de diámetro de flores y número de ramas (Figura 34). Por lo que se puede afirmar que se obtuvo respuesta favorable de los ácidos húmicos porque intervinieron en los procesos físicos, químicos y biológicos del

suelo, amortiguando la salinidad y sodicidad, que repercutió en el mejor crecimiento y desarrollo del zempasúchil.

El problema salino sódico de Tláhuac del incremento de la saturación de Na^+ en los sitios de intercambio que causaba dispersión de las partículas con las cargas que se repelen, con la aplicación del ácido láctico al suelo se mitigó el problema al disminuir el contenido de Na^+ y al obtener valores bajos de CE, la más baja de $2.35 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con un pH 1.95 al aplicarlo con H_2O destilada y composta. La lámina de lavado disminuyó la CE de 15.3 a $1.45 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ al lixiviar las sales (Cuadros 9 y 10) y el pH aumentó de 7.5 a 8.6 en el efluente, que verificó el beneficio del ácido láctico con la lámina de 1.250 L. Se demostró que la dispersión está correlacionada con la CE, el RAS, el pH y la estructura (Nelson *et al.*, 1998).

El ácido láctico permitió al hidrógeno del carboxilo (COOH) sustituir al Na^+ , porque el ácido láctico en solución perdió el protón y se convierte en el anión lactato. La disociación del ácido láctico con pK de 3.86 pudo eliminar la dispersión, formando flóculos y favoreciendo la agregación de las partículas. Es importante que el ácido láctico se disocie, porque no disociado altera el pH e inhibe el crecimiento de las células (Venkatesh, 1997). El efecto de disminuir el pH con la aplicación del ácido láctico en la solución del suelo, como sucedió en Tláhuac, es semejante a otro trabajo donde indicó que el ácido láctico disminuyó el pH. La disminución se logró por varias cepas de bacterias de ácido láctico (*Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis* y *Lactococcus lactis* (Nannen, 1991).

La actividad del ácido láctico como enmienda, se asocia en la industria por la amplia capacidad de disociación del anión lactato y catión de H^+ en solución con agua, encontrada con alto rendimiento del ácido láctico al probar el efecto del pH y los iones lactato en la producción anaeróbica de la fermentación láctica de *Streptococcus lactis* (Venkatesh, 1997).

El efecto combinado de la aplicación de las enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico en Tláhuac, es similar al obtenido en un estudio por aplicar anualmente al suelo los

materiales orgánicos, estiércol de granja, abono verde y paja de trigo, que utilizaron para liberar, solubilizar y movilizar el Ca^{2+} del CaCO_3 precipitado, debido a que se producen ácidos orgánicos por la descomposición y facilitan la solubilización de CaCO_3 , para fomentar el Ca^{2+} en la solución del suelo y mejorar los efectos dañinos de sodicidad. Mejorar las propiedades del suelo elevando el contenido de carbono orgánico, al aumentar el 38% y el 26% del rendimiento sostenible de los cultivos de arroz y trigo respectivamente, la disminución de la sodicidad, el pH del suelo y PSI. Los iones de calcio se pudieron producir a partir de la disolución de silicatos (feldespatos plagioclasa) o de CaCO_3 (Choudhary, 2011).

En otro estudio análogo se probó la unión de los iones con sustancias húmicas por la atracción o repulsión electrostática y la concentración iónica de protones, con amplios intervalos de pH 3-11, se encontró fuerte correlación entre el pK de ácidos húmicos y la constante análoga del ácido láctico, que se comportaron de forma paralela y que hay una relación entre los valores, que pueden ser útiles para estimar los valores de pK de ácidos húmicos (Tipping *et al.*, 1988). Esto puede indicar que el efecto como enmiendas de los ácidos húmicos y el ácido láctico es similar.

El efecto del ácido láctico presentó su función mejoradora ampliamente en nueve tratamientos y en siete variables de respuesta, con significancia en longitud total, diámetro, número de botones, flores y ramas (Figuras 39 y 40). El ácido láctico con las diferentes dosis de la composta incrementó positivamente la actividad microbiana, favoreció la recuperación del suelo tratado, se observó su influencia en número de flores, grosor de tallo (Figuras 41 y 42) principalmente en las dosis de la triple interacción en el número de flores (Figura 43) porque se sumaron los efectos de las enmiendas.

En la interacción ácidos húmicos-ácido láctico se mostró en el número de flores y peso seco y con la triple interacción ácidos húmicos-composta-ácido láctico benefició la longitud total y número de flores (Figuras 47 y 48). El ácido láctico cumplió su función como fuente de cationes con su carboxilo (COOH), contribuyó con la sustitución de los cationes de Na^+ del suelo, por el catión del mejorador y mitigó la sodicidad. Con el pH alto ligeramente

alcalino, la CE con ácido láctico entre 6.9 y 7.6 favoreció este intercambio con abundantes iones de hidrógeno.

El efecto combinado de los efectos de la composta con el ácido láctico y ácidos húmicos-ácido láctico tuvieron significancia en el tratamiento 16-H2C1M1. El efecto de las enmiendas en el cultivo del zempasúchil se evaluó con las variables de respuesta y se confirmó tanto en invernadero como en campo que tuvieron correspondencia estadística, porque se sumaron sus efectos.

El mejor efecto se reafirmó en los tratamientos con la triple interacción de los tratamientos 12-H1C2M0 y 16-H2C1M1 con ácido láctico y en la doble interacción del tratamiento 15-H2C1M0 sin ácido láctico, en tres variables de respuesta número de flores por planta, diámetro de flores y peso seco de flores por planta. La valoración de sus efectos intervino activamente en la disponibilidad de nutrimentos del suelo que favorecieron el crecimiento y desarrollo del zempasúchil.

En las chinampas la aplicación de enmiendas ácidos húmicos-composta-ácido láctico, cumplieron su función como fuentes de nutrimentos que han contribuido a mejorar el suelo salino sódico, como se mejoró en China con la aplicación de enmiendas estiércol de ganado y vermicomposta, en contraste con un fertilizante químico. Los resultados en los suelos mostraron el aumento del contenido de los nutrimentos, el pH y la conductividad eléctrica (Wu *et al.*, 2013).

Las observaciones de los mejores tratamientos en las unidades experimentales en invernadero (ANEXOS 8 y 9).

El zempasúchil al desarrollarse en un suelo salino sódico en las parcelas testigo presentó valores altos de CE de 27.4 a 63.6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ fueron disminuidos con las enmiendas de ácidos húmicos-composta-ácido láctico a CE de 15.6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para el tratamiento 12-H1C2M1, 13.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para el tratamiento 15-H2C1M0 y de 12.9 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para el tratamiento 16-H2C1M1,

esto indicó que la tolerancia del zempasúchil se comporta en forma similar a las sales, a especies halófitas de *Atriplex*, que resiste altos contenidos de salinidad y sodicidad, con la CE de 15.6 dSm^{-1} conforme (Rodrigues, *et al.*, 2012).

Una vez lavado el suelo bajo considerablemente la salinidad favoreció al mejor crecimiento del zempasúchil a diferencia de otro estudio con una creciente salinidad que afectó adversamente la actividad microbiana, e incrementó el contenido de carbono orgánico y nitrógeno orgánico disueltos, y cuando se combinó la sodicidad de un RAS alto con CE baja, fue menor la dinámica de la materia orgánica y menor la mineralización, porque aumentó el riesgo de lixiviar carbono, nitrógeno disuelto, al disolver la materia orgánica y producir necrosis, que puede llevar a mayor degradación del suelo (Manpreet, 2012).

Los iones dominantes del área de estudio correspondieron Na^+ y SO_4^{2-} al tipo de salinidad sulfático clorhídrica a los previamente reportados en la zona chinampera ubicada en las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac (Ramos, 2001). La posible toxicidad de los sulfatos de sodio Na_2SO_4 se mitigó con la adición de los coloides de la materia orgánica de la composta, para sustituir el Na^+ . Los contenidos de materia orgánica se incrementaron y beneficiaron los procesos biofísicoquímicos y la actividad biológica, conforme aumentó la profundidad de 1 a 1.10 m en una proporción de 149.8 debido al tipo de salinidad. La facilidad con la cual el carbono puede ser degradado por microorganismos está relacionada con su menor contenido de compuestos de carbonos aromáticos, las uniones de carbono orgánico y arcillas (Marschner y Kalbitz, 2003).

El régimen de humedad explica la alta disponibilidad de agua y el movimiento de ésta por capilaridad por la cercanía del manto freático, genera procesos de oxidoreducción que se manifiestan en las propiedades redoximórficas, influenciado por hidromorfismo, lo que indica baja aireación, drenaje deficiente, condiciones reductoras con anaerobiosis. Esto favorece la disponibilidad de la humedad para los cultivos. En la chinampa la presencia de materia orgánica abundante y su acumulación está en relación con la intensidad del color oscuro y la profundidad, semejante en estudios que comprende el porcentaje de carbono que

afecta los procesos de translocación de nutrientes, permeabilidad, actividad microbiana y disponibilidad de nutrientes (Evans *et al.*, 2005; Kalbitz *et al.*, 2000; Zsolnay, 2003).

7.4 Caracterización del suelo y la composta

Las evidencias de calidad de la composta se obtuvieron al caracterizar la composta y el suelo con el umbral de coagulación se encontró que la composta por su composición alifática presentó menor floculación y condensación con la adición del electrolito CaCl_2 que el suelo que presentó mayor floculación y condensación. Lo que indicó que fue un material joven, poco aromático (Kumada, 1987; Almendros *et al.*, 1994).

La espectroscopía visible valoró las propiedades ópticas de la composta y del suelo (relación E_4/E_6), dentro de los parámetros al valorar la composición química del humus de la composta indicó un tamaño de partícula menor que el suelo, por ser estructuras alifáticas, la relación C:N de 12.2 carbono/nitrógeno, valores de la CIC de 27.4 a 30 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ y la alta relación de la densidad óptica (E_4/E_6) de 6, con respecto al valor menor 3.9 del suelo. Los resultados mostraron que las características químicas de la composta reflejan la poca condensación de las moléculas húmicas, que no han sido afectadas por el período de humificación (Stevenson, 1994; Venegas-González *et al.*, 2005).

Las propiedades ópticas de la composta demostraron el menor grado de aromatización y condensación que en el suelo en estudio, sin embargo su eficiencia en el suelo de Tláhuac (Figura 21), se atribuye como se afirma que a menor humificación menor condensación de las sustancias húmicas (Venegas-González *et al.*, 2005; Zambrano *et al.*, 2011).

Se tiene la evidencia que la intensidad del color de las sustancias húmicas está relacionada con su aromaticidad, que se incrementa con la madurez y con la humificación (Traina *et al.*, 1990).

Los espectros visibles de los ácidos húmicos del suelo (Cuadro 28) mostraron valores de extinción a 465 nm (E_4) para el testigo, presentando valores más elevados de la densidad óptica (aromaticidad), que los ácidos húmicos de la composta utilizada como enmienda, indicando ácidos húmicos con mayor proporción de estructuras alifáticas en los suelos mejorados con los diferentes tratamientos 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1, que se reflejan en los valores comparativamente más bajos de E_4 (Schnitzer, 1978).

La mineralización del carbono en el suelo de los tratamientos seleccionados fue estadísticamente diferente a la del suelo control (testigo), donde el peso seco de *Tagetes* presentó la principal variable de productividad. El desprendimiento de CO_2 por tanto carbono mineralizado fue mayor en los tratamientos mejorados que en el control (Figura 28). Se considera que la cinética de la mineralización del carbono es un índice de la actividad biológica, las formas de las curvas de mineralización reflejaron progresiva liberación retardada de componentes inmovilizados en la materia orgánica. Es decir, al añadir las enmiendas orgánicas se incrementó y favoreció la producción de CO_2 que indicó la actividad biológica sostenida, más accesible por su naturaleza, con menor complejidad, donde se superaron los valores registrados para el control, al segundo día (Almendros *et al.*, 1982; Saviozzi *et al.*, 1993; Álvarez y Álvarez, 2000; Riffaldi *et al.*, 2000).

La actividad microbiana incrementó el contenido de CO_2 liberado del suelo y en consecuencia en la solución del mismo, aumentando la asimilabilidad de ciertos cationes, y también supone el aporte de otros componentes ácidos, como los ácidos láctico, acético y cítrico, que pudieron actuar como agentes quelantes según lo consideran varios autores (Saviozzi *et al.*, 1993; Riffaldi *et al.*, 2000).

El comportamiento de la MO sugerido por las curvas de mineralización del C, mostró el aumento de la actividad biológica en los suelos mejorados por los distintos tratamientos (Dendooven *et al.*, 2010).

La mineralización del carbono mostró el aumento de la actividad biológica en los tratamientos aplicados con respecto al testigo. Ello puede ser atribuido a sus propiedades coloidales, en relación con sus tamaños moleculares elevados, a la presencia de varios tipos de grupos reactivos, a su biodegradabilidad y contenido en proteína, que permitieron la liberación progresiva de nutrientes a la solución del suelo. Por lo tanto puede interpretarse que la aplicación de los tratamientos favoreció la actividad biológica (Almendros *et al.* 1982).

Es evidente que el incremento en la actividad microbiana fue positiva respecto a la rehabilitación del suelo tratado, determinando la mayor disponibilidad de nutrientes principalmente tras la aplicación de las dosis de las enmiendas, en su triple interacción 16-H2C1M1 240 mg kg⁻¹, 120 mg kg⁻¹, 3.4 L m⁻² respectivamente.

Los espectros FTIR de los ácidos húmicos extraídos de los suelos (testigo y 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1), no presentaron diferencias cualitativas sustanciales (Figura 29), en parte porque fueron extraídos de las parcelas del mismo suelo, a diferencia de los ácidos húmicos de la composta (Figura 29a). La comparación de los espectros sugiere diferencias en la intensidad de tres bandas características: 1720 cm⁻¹ (COOH), 1560 cm⁻¹ (N en forma de amidas; proteínas) y 1460 cm⁻¹ (grupos alifáticos en cadenas alquílicas) y del patrón característico de picos típicos de ligninas a 1510, 1460, 1420, 1270 y 1230 cm⁻¹, que en el caso (Figura 29b) sugieren ácidos húmicos de origen reciente y relativamente biodegradables (Farmer y Morrison, 1960; Fengel y Wegener, 1984).

Los espectros IR también presentaron una intensa banda a 1660 cm⁻¹ correspondiente a proteínas, que coincide con la observación anterior. Las otras bandas y sus intensidades se hacen patentes al aumentar la resolución del espectro a partir de la 2ª derivada (Almendros, 1994; Tinoco, 2000).

Los tamaños moleculares elevados y la presencia de varios tipos de grupos reactivos, su alta biodegradabilidad y contenido en proteína, facilitaron la liberación progresiva de

nutrimentos disponibles en la solución del suelo sugeridos por las cinéticas de mineralización del carbono en los experimentos de incubación (Almendros, 1994).

La electroforesis permitió obtener una idea de la movilidad iónica que se encuentra relacionada con el peso molecular (Cuadro 28), que en el caso de los ácidos húmicos, en ocasiones es considerada un índice relacionado con la calidad de humificación (Jambu, 1970; Jacquin *et al.*, 1970).

Se aprecia la presencia de la proporción de macromoléculas poco evolucionadas de elevada movilidad electroforética en los ácidos húmicos extraídos de la composta en un 78% (Figura 28), que coincidió con el elevado índice E_4/E_6 anteriormente indicado, que sugieren el bajo grado de humificación de los AHs de la composta, en contraste con sus valores para el suelo control y los tratamientos (Dorado *et al.*, 1972).

En efecto, las curvas densitométricas correspondientes a los electroforegramas de los ácidos húmicos mostraron de dos a cuatro fracciones más o menos definidas, donde se distinguieron en el control sustancias de alto peso molecular, (fracción inmóvil) y de peso molecular comparativamente reducido (fracción móvil), quedando una apreciable proporción de AHs con valores de movilidad intermedia (Figura 28 a).

Los resultados demuestran como los tamaños moleculares de los ácidos húmicos extraídos de los suelos enmendados 13% son superiores a los de la composta 9% y menores al control 18% en la fracción inmóvil de alto peso molecular (Figura 28 a, b, c, d y Cuadro 28), debido a que son moléculas poco evolucionadas (Figura 28 d) y el peso molecular en los tratamientos de la fracción móvil 54%, se ve influenciado por la aplicación de la composta en 78%, que aumenta la movilidad indicando que —con independencia de lo duradero de su efecto en el suelo— las enmiendas orgánicas pueden aportar coloides de tamaño molecular moderado que ejercen una función significativa en el aumento de la mineralización del carbono y en su efecto amortiguador.

Al caracterizar las sustancias húmicas de la composta utilizada mediante espectroscopia FTIR electroforesis, mineralización, se demostró que son sustancias prehúmicas, poco polimerizadas que han mejorado el suelo al disminuir el efecto salino sódico, en la producción del zempasúchil (Liu *et al.*, 2010).

7.5 Productividad en el suelo de chinampa en invernadero y en campo

En el invernadero se verificó el efecto de la lámina de lavado, así como en las pruebas con ácido láctico en las unidades experimentales (Cuadro 12). La lámina lixivió el exceso de sales y de Na^+ intercambiable, facilitó su disminución y la presión osmótica de la solución del suelo disminuyó. La valoración de los cationes y aniones con sus desviaciones estándar indicaron el efecto benéfico de la lámina de lavado (Cuadro 12. Figuras 22 a, b, c, d, e, f, g, y h).

La respuesta de la aplicación del ácido láctico fue clara, el efecto benéfico de disociación ácida fue debido en gran parte al valor medio de la constante de disociación ($\text{pK}=3.8$), que fue prolongado. Así al comparar los valores de pH que disminuyeron con su aplicación, indicando el aumento del contenido de sales con alta lixiviación en el efluente. La influencia del ácido láctico se observó en los tratamientos con la mayor disminución del pH (Cuadros 14 y 15) y la desviación estándar presentó menor dispersión y menor índice de variabilidad en los tratamientos sin ácido láctico, que al aplicarlo, lo que mostró su efecto con la desviación estándar del pH alto.

La germinación de las semillas de zempasúchil en las pruebas con la aplicación del ácido láctico fue favorecida con 97 % de tasa de germinación, en el menor tiempo de 5 días. En invernadero con la aplicación de las enmiendas se obtuvo la tasa de germinación ligeramente menor de 96% y en campo en mayor tiempo a los 9 días de la siembra se obtuvo el 100%. Lo que indicó el efecto favorable de las enmiendas en la descarificación de las semillas por su carácter oxidante. Es comparable y ligeramente mayor la germinación potencial obtenida de 97% (número de semillas germinadas durante 5 días), por el buen

efecto de las enmiendas. La alta tasa de germinación de 96% obtenida en invernadero fue un indicador del efecto de la aplicación y mejora de las enmiendas al suelo salino sódico. Semejante resultado de la tasa de germinación se obtuvo con aplicación de yeso y krilium (crustáceo) en suelos salinos sódicos con semillas de col (Zhu *et al.*, 1996; Haisheng, *et al.*, 2008).

La característica de heteromorfismo (diferente morfo-fisiología de los tipos de semillas) presente en las semillas de halófitas Chenopodiaceae favorece a la germinación y es comparable a la familia de Asteraceae a la que pertenece el zempasúchil, lo que indica que ambas se benefician para desarrollarse en la salinidad, por presentar este heteromorfismo, que van desde la diferencia en el color, tamaño, forma, así como en la capacidad de dispersión, germinación y latencia (Gul, 2012).

Con el diseño experimental trifactorial el beneficio de la adición de las enmiendas: 1. Ácidos húmicos (H), 2. Composta (C), y 3. Mejorador (M), tuvo respuesta positiva en mejoramiento del suelo salino sódico (Cuadro 20), con las diferentes dosis sencillas y dobles para cada unidad experimental de zempasúchil, se demostraron los efectos de las enmiendas por los resultados obtenidos, como evidencias directas que provocaron, la disminución de pH con importancia agrícola económica (Huez *et al.*, 1989). (Venegas-González, 2005).

Las enmiendas provocaron cambios favorables en el contenido de cationes y aniones y en consecuencia mejor crecimiento del cultivo de zempasúchil. El efecto directo de las enmiendas provocó una modificación en el aumento del promedio de la CE de 3.6 en el testigo a 7.8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en el tratamiento 12-H1C2M0, 9.8 en el tratamiento 15-H2C1M0 y de 8.1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en el tratamiento 16-H2C1M1, debido al lixiviado de las sales en los eluídos de las unidades experimentales (Cuadros 14 y 15). Comparable a los extractos de efluentes identificados en los suelos salino sódicos con un exceso de sales solubles de Na^+ de 147.82 $\text{cmol}^+\cdot\text{L}^{-1}$ en el tratamiento testigo, que fue disminuido en la pasta final hasta 52.17 $\text{cmol}^+\cdot\text{L}^{-1}$ en el mejor tratamiento 16-H2C1M1 (Cuadros 16 y 17). El suelo en las unidades

experimentales en invernadero mostró que la mayoría de los iones de Na^+ presentes en los sitios de intercambio fueron sustituidos al mostrar su disminución.

El K^+ (Cuadros 18 y 19), disminuyó de 46.15 a $0.90 \text{ cmol}^+ \cdot \text{L}^{-1}$ en la pasta final del mejor tratamiento 16-H2C1M1 favoreciendo la estructura del suelo, la permeabilidad y la formación de agregados conforme lo demuestran múltiples autores (Mercado, 1993. Ramos, 2012. Reyes-Ortigoza, 2004. Venegas-González, 2005. Vital *et al.*, 2005).

El ácido láctico produjo la disminución de la reacción del suelo aunado al papel de la lámina de lavado, favoreciendo el desplazamiento de sales y Na^+ lo cual podría estar relacionado con el mejor desarrollo en las plantas de zempasúchil (Cuadro 16 y 17).

Estos efectos de mejoramiento se demostraron con alta producción del cultivo de zempasúchil con una tolerancia de $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ de CE en el tratamiento 15-H2C1M0 sin ácido láctico y de 6.1 a $7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ con ácido láctico en el tratamiento 12-H1C2M1 y de $1.3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ en el mejor tratamiento 16-H2C1M1. El pH ligeramente alcalino favoreció la actividad de los iones. Esta eliminación de sales permitió la mejor asimilación de los nutrimentos (Cuadro 14), se reflejó la valoración de las mejores dosis en el mejor crecimiento del zempasúchil y en su peso seco (Ayers, 1985), lo que indica el nivel de tolerancia del zempasúchil.

Las dosis que favorecieron el mayor rendimiento en el invernadero fueron: ácidos húmicos $\text{H2}=240 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, de composta $\text{C1}=120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ácido láctico $\text{M1}=3.4 \text{ Lha}^{-1}$ en los tratamientos 12-H1C2M1, y con $\text{C2}=240 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en los tratamientos 16-H2C1M1, con doble interacción en el tratamiento 15-H2C1M0. El 150% de rendimiento evaluado en peso seco en flores (capítulos) con respecto al testigo, se atribuye a la adición de las enmiendas, que mostraron la suma de su efecto benéfico en su doble y triple combinación. Predominó la aplicación de los mejoradores en forma combinada, sobre la forma individual (Ibañez, 1993). Como se obtuvo en las 12 variables significativas (Reyes, 1992). Lo que indicó la eficiencia de las tres enmiendas al sumar su efecto en el zempasúchil.

En campo los tratamientos elegidos con base al anterior experimento en invernadero con triple interacción (12-H1C2M0, 16-H2C1M1) y con doble interacción (15-H2C1M0), que en contraste con el tratamiento testigo, mostraron las dosis favorables establecidas en las parcelas en campo con ácidos húmicos, composta y ácido láctico (Cuadro 27), confirmaron y tuvieron correspondencia debido al análisis estadístico de los parámetros, indican las enmiendas intervinieron activamente en los procesos físicos y químicos del suelo, para el cultivo de zempasúchil criollo *Tagetes erecta* L. en los tratamientos: 12-H1C2M0, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1 en invernadero y en campo. Además indicaron la disminución de sales y el contenido de Na^+ en el follaje de las plantas en el tratamiento 16 H2C1M1 (Cuadro 21), donde notoriamente fue menor la concentración de Na^+ en las hojas.

Lo mismo sucedió con el contenido de los cationes en las flores que presentando la misma tendencia semejante de disminución en el follaje, con respecto a los contenidos de $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ (Cuadros 21 y 22). El contenido de Na^+ soluble al disminuir en el tratamiento 16-H2C1M1 (Cuadro 19) demostró el nivel de tolerancia, ya que rebasó el permisible para las plantas de 0.05% con 0.278% lo que indicó una tolerancia del zempasúchil a la toxicidad del Na^+ de 0.228%.

En suelo el K^+ soluble que correspondió la disminución en el follaje al final del cultivo de zempasúchil en el tratamiento 16-H2C1M1 (Cuadro 21) y en el tratamiento 15-H2C1M0 (Cuadro 22). El Ca^{2+} en el suelo disminuyó notoriamente a la mitad en el tratamiento 16-H2C1M1 y en el follaje disminuyó ligeramente, mientras en los capítulos del zempasúchil se mantuvo mínimo su contenido de $0.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Cuadros 21, 22 y 23).

El contenido de Mg^{2+} soluble disminuyó en suelo menos de la mitad 42.79% en el tratamiento 12-H1C2M1 (Cuadro 20), en el follaje la disminución fue mínima (Cuadro 21) y en las flores se mantuvo igual (Cuadro 22). El contenido de SO_4^{2-} se mantuvo alto, el contenido de Cl^- y de HCO_3^- disminuyeron y los CO_3^{2-} se mantuvieron bajos con la aplicación de las enmiendas (Cuadros 24).

Los carbonatos indicaron proporciones semejantes en experimentos previos en áreas cercanas mejoraron la elevada salinidad y sodicidad del suelo para la producción de brócoli (Galicia, 1990).

El disminuir el contenido de sales, demostró la movilidad y disponibilidad de cationes (Huez, 1989; Ramos, 2011), con la aplicación de las enmiendas como fuentes de nutrimentos, beneficiaron la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo del zempasúchi (Cuadros 23 y 24).

El porcentaje alto de cenizas totales de la cosecha fue óptimo porque fue menor a 20%. El comportamiento de la distribución del porcentaje de cenizas fue mayor en el tratamiento 16-H2C1M1, en follaje 20% y en los capítulos (flores) 9.2%, esto se atribuye a la mayor concentración de los nutrimentos (Ansorena, 1994). El porcentaje de cenizas en follaje y en los capítulos (flores) también es indicativo de la relación C/N que mostró el efecto benéfico de los mejoradores en los mejores tratamientos 12-H1C2M0, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1, porque presentaron la mejor producción de zempasúchil (Cuadros 21 y 22).

7.6. Valoración comparativa de cationes, aniones, inicial y final en campo

La salinidad y sodicidad del suelo del cultivo de zempasúchil tradicional de la zona, mostró el efecto de los mejoradores en las dosis seleccionadas H2 de ácidos húmicos, C1 composta y la dosis única M1 de ácido láctico, al aplicarlas al suelo: incrementaron el mejor desarrollo con la producción en las variables de respuesta significativas: el número de flores por planta, el diámetro para los capítulos y el peso seco de flores por planta en parcelas cultivadas, que confirmaron las diferencias significativas del mejor tratamiento 16-H2C1M1 con triple combinación de las enmiendas, que contribuyeron a la disminución del contenido de cationes y aniones, de forma semejante en invernadero y en campo (Cuadros 23, 24 y 27) en los tratamientos 12-H1C2M0, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1 (Ibañez, 1993; González *et al.*, 2000; Izquierdo, 2004; Ramos, 2006; González, 2010).

Se verificó la significancia de la disminución de los cationes intercambiables de sus contenidos, al contrastar el inicio del experimento con respecto al final (Cuadros 25, 26. Figuras 25,26 y 27).

Con el análisis estadístico se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_a) con la aplicación de Anova y análisis canónico al diseño trifactorial en invernadero, demostrando el efecto de los tres factores (ácidos húmico, composta y ácido láctico), en la interacción de 12 atributos o variables de respuesta significativos: longitud total, número de ramas, número de flores, diámetro, peso seco en follaje, peso seco en flores, que indicaron las diferencias de los tratamientos: 12-H1C2M0, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1 con respecto al testigo.

El análisis de Tukey y Duncan permitió hacer análisis de varianza y obtener significancia entre las medias de los tratamientos, con mayor exigencia, los resultados de la prueba de Newman Keuls afirmaron que se discriminaron variables de respuesta y se destacó el tratamiento más significativo (Cuadro 29).

La prueba de Newman Keuls para cada una de 12 variables de respuesta de los 18 tratamientos del diseño trifactorial en el cultivo de invernadero, permitió afirmar que el efecto benéfico de las enmiendas, no es de forma individual, pero si combinada en sus dobles y triples interacciones, predominando el efecto favorable en las variables de respuesta: peso seco flor, diámetro de flor, número de flores (Figuras 31 a, b) en el tratamiento 16-H2C1M1 (Figura 31 c), que lo confirman como mejor tratamiento. Se demostró una correlación significativa dominante y mayor el efecto del ácido láctico, por su efecto positivo como enmienda mejoradora de sodicidad.

En el agroecosistema de Tláhuac los resultados de los efectos obtenidos que predominaron fueron en primer lugar el ácido láctico con 50%, en segundo lugar los efectos de la composta y en tercer lugar los efectos de los ácidos húmicos, en las variables de respuesta. Las que presentan semejanza con otra investigación que aplicó diseño factorial y mostraron una fuerte correlación entre los factores, por mostrarse un factor más dominante que los

restantes, donde los indicadores correspondieron a las propiedades del suelo y el resultado como factor dominante fue la calidad del suelo, bajo uso de diferente sistema de gestión, con una valoración equivalente a la importancia del ácido láctico en Tláhuac (Shukla *et al.*, 2006).

En campo con la prueba Anova la hipótesis alternativa demostró las diferencias significativas de los tres mejores tratamientos, con respecto al testigo. Confirmados al aplicar las pruebas de Tukey, Duncan, Newman Keuls y las pruebas canónicas. Las relaciones canónicas reafirmaron la diferencia significativa entre los tres mejores tratamientos y el testigo.

El análisis de las variables de respuesta en campo: 1. Número de flores. 2. Diámetro de las flores. 3. Peso seco y 4. Peso seco flor, permitió afirmar que se mejoró la productividad de las inflorescencias (capítulos) del zempasúchil en el tratamiento 16-H2C1M1. A pesar de las altas concentraciones de sales, hubo una relación directa entre su menor concentración y el mayor peso seco de los capítulos por planta, del tratamiento 16-H2C1M1 con la mejor productividad.

Los tratamientos significativos para los fines del objetivo de esta investigación demostraron la mejor producción de la flor, obtenida con los tratamientos de triple interacción 12-H1C2M1, 16-H2C1M1 con mejorador y de doble interacción sin mejorador el tratamiento 15-H2C1M0.

El tratamiento 12-H1C2M1 con la triple interacción tuvo significancia en cuatro variables de respuesta: longitud total, grosor de tallo, peso seco raíz y peso seco raíz-flor. Las pruebas canónicas justificaron la significancia de las variables: número de flores, diámetro de flor y peso seco de las flores, con respecto al peso seco del follaje y en los tres mejores tratamientos. Lo que deduce la significancia el efecto positivo de las tres enmiendas empleadas con la doble y triple interacción en los tratamientos 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1 (Figura 50).

El análisis estadístico comparativo en campo entre las parcelas de los mismos tratamientos permitió verificar la semejante respuesta entre las parcelas testigo a diferencia de las parcelas del tratamiento 12-H1C2M1 (Figuras 51 y 52). Las parcelas correspondientes al mismo tratamiento 15-H2C1M0 (Figura 55), parcelas del tratamiento 16-H2C1M1 (Figura 56) no presentaron significancia por corresponder a la aplicación parcelas enmendadas (Figura 57). Las parcelas al pertenecer al mismo tratamiento no presentaron significancia, lo que demostró homogeneidad estadística y reforzó el cumplimiento del mismo efecto de las enmiendas en campo.

Por lo tanto el mejor resultado el tratamiento 16-H2C1M1 altamente significativo con los mejoradores que desplazaron al Na^+ , con la mejor dosis de ácidos húmicos (H2) contribuyó al mejor crecimiento del cultivo. La composta con la dosis C1 de 60 ton/ha mejoró las condiciones físico-químicas del suelo, como fuente de N y C permitiendo obtener mayor número y diámetro de flores de zempasúchil (Venegas-González *et al.*, 2005) y el ácido láctico como fuente de cationes.

7.7. Rendimiento del zempasúchil en la investigación

Los efectos de las enmiendas en el suelo salino sódico de Tláhuac en estudio se sumaron en los mejores tratamientos y modificaron las propiedades del suelo, mostrando el beneficio en el aumento de productividad del cultivo del zempasúchil, en campo donde la mejor producción fue de 2.58 g de peso seco de flores por planta (capítulos) para el tratamiento 16-H2C1M1. La respuesta se atribuye a la acción de la triple interacción de las enmiendas con las dosis de AHs 90 ton/ha^{-1} , de composta $60 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ y la dosis única de 3.4 Lm^{-2} de ácido láctico y produciendo un efecto en la recuperación del suelo, como lo demostraron las variables de respuesta, que reflejaron la mejor productividad del zempasúchil, conforme al objetivo planteado.

En solución al problema de mejorar o rehabilitar un suelo agrícola salino sódico de las zonas de chinampa de Tláhuac con cultivos de zempasúchil (*Tagetes erecta* L.), al determinar la influencia en distintas variables de respuesta en su productividad aplicando el lavado de los suelos, disminuyeron iones tóxicos como Na^+ , Cl^- y SO_4^{2-} . La presión osmótica tuvo que disminuir y los ácidos húmicos extraídos de composta indicaron los resultados que mejoraron la disminución del pH y mitigaron las sales y el Na^+ . Con los tratamientos aplicados disminuyeron las concentraciones de sales solubles y de sodio intercambiable hasta niveles no perjudiciales para el cultivo de zempasúchil.

La aplicación de la interacción de las tres enmiendas orgánicas analizadas estadísticamente probaron diferencias significativas, debido al efecto causado por la triple interacción ácidos húmicos, composta y ácido láctico, en las dosis probadas en contraste con el tratamiento control. Las enmiendas fueron más funcionales combinadas, que en lo individual. Las dosis que favorecieron el crecimiento fueron: ácidos húmicos $\text{H2}=240 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, composta $\text{C1}=120 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y el ácido láctico $\text{M1}=34.10^6 \text{ Lha}^{-1}$, constituyentes en triple interacción en el tratamiento 16-H2C1M1, elevaron la productividad y el mejor desarrollo en peso seco en flores (capítulos), con respecto al peso seco del tratamiento el suelo testigo. Se logró la disminución de sales en el follaje y en los capítulos de las plantas. Se confirmó que los tratamientos en campo: testigo, 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y el 16-H2C1M1, en invernadero tienen correspondencia con el análisis estadístico de las variables de respuesta.

El comportamiento de la materia orgánica en el suelo obtenido por las curvas de mineralización del carbono, mostró el aumento de la actividad biológica en los suelos mejorados por los distintos tratamientos. Los espectros UV-VIS y la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) de los ácidos húmicos, extraídos de los suelos tratados con las enmiendas, mostraron un contenido relativamente bajo de compuestos aromáticos en comparación con el suelo original.

La electroforesis y la espectroscopía FTIR también sugieren que los tratamientos 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1 conducen a la acumulación en el suelo de ácidos húmicos poco evolucionados. Los tamaños moleculares elevados y la presencia de varios tipos de grupos reactivos, su alta biodegradabilidad y contenido en proteína, facilitarían la liberación progresiva de nutrientes a la solución del suelo, conforme a la cinética de mineralización del carbono en los experimentos de incubación. Los suelos de los tratamientos presentaron mayor cantidad de estructuras cíclicas que la composta. La composta presentó menor cantidad de ácidos húmicos y mayor de estructuras alifáticas.

El conjunto de las características de los ácidos húmicos favorecieron la producción de las flores de zempasúchil. El efecto significativo del ácido láctico fue del 50% en las doce variables de respuesta, el efecto de la composta 30% y los ácidos húmicos el 20%. La interacción de las tres enmiendas en este suelo comprobó el efecto significativo para el cultivo de zempasúchitl, en los tratamientos 12-H1C2M0, 15- H2C1M0 y 16-H2C1M1 con la disminución de las sales, el desplazamiento del Na^+ intercambiable y la ligera disminución del pH, que permitieron la alta producción con tolerancia al menor contenido de sales. Se ha contribuido con esta investigación de Tláhuac a mejorar las funciones del suelo y el mejor crecimiento del zempasúchil.

Recomendaciones

Optimizar el riego para mejorar la producción de los cultivos en la agricultura y reducir los efectos adversos al medio ambiente, como estrategias económico ambientales sostenibles para el crecimiento agrícola. Biorremediar con especies redituables que toleren los niveles de salinidad, sodicidad del suelo y aprovechar las aguas de desecho con especies tolerantes a las sales para que las aguas se reutilicen dentro de las zonas donde se generan.

Otra alternativa de mejoramiento de suelos es el modelo de forestación por el contenido de biomasa, aumentó densidad de plantas y mantenimiento de la cobertura por su residualidad.

Obtención del ácido láctico a partir de microorganismos.

Capítulo 9.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, H.N., N.García Calderón, R. Ramos. 1994. Rehabilitación de suelos de chinampa y sus relaciones con las plantas cultivadas. Informes Técnicos a CONACyT. Facultad de Ciencias, Laboratorio de Edafología, UNAM.
- Almendros, G., A. Polo, E. Dorado, J. Galván. 1982. Estudio al microscopio electrónico de transmisión de diferentes tipos de sustancias húmicas, prehúmicas y de sus derivados organometálicos. *Agrochimica* 4: 305-318.
- Almendros G., A. Polo, E. Dorado. 1982. Composición y propiedades de la materia orgánica de las formaciones turbosas eutróficas de la zona de los Ojos del Guadiana. Instituto de Edafología y Biología Vegetal CSIC, Madrid. 80: 23-35.
- Almendros, G., F.J. González-Vila; F. Martín. 1990. Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances. *Soil Science* 3: 158-168.
- Almendros, G. 1994. Effects of different chemical modifications on peat humic acid and their bearing on some agrobiological characteristics of soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 16: 2711-2736.
- Almendros, G., R. Frund, F. Martin and F.J. González-Vila. 1994. Spectroscopic characteristics of derivatized humic acids from peat in relation to soil properties and plant growth. Humic substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Ed. por N. Senei and T. M. Miano. 213-218.
- Almendros, G. 1995. Sorptive interactions of pesticides in soils treated with modified humic acids. *European Journal of Soil Science* 46: 287-301.
- Almendros, G. 1997. Selective effect of exchangeable cations on the pyrolysis patterns of natural and laboratory-prepared metal adducts of fulvic acids. *Naturwissenschaften* 84: 245-248.
- Álvarez, R., C.R. Álvarez. 1987. Soil organic matter pool and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Science Society of American Journal* 64: 184-189.
- Ansorena, M.J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. 162.
- Anuario de Agricultura Seeds. The Yearbook of Agriculture. 1969. Centro Regional de ayuda técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México. Ed. Continental, S. A. 87-823.

- Atiyeh, M. 2011a. The effects of different vermicomposts on the growth and chemical composition of the pistachio seedlings. *Journal of Research in Agricultural Science* 7, 1: 59-69.
- Avnimelech, Y., D. Shkedy, M. Kochva, Y. Yotal, 1994. Use of compost for the reclamation of saline and alkaline soils. *Compost science & utilization* 2, 3: 6-11.
- Ayers, R.S. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper, Roma. 174 p.
- Ben-Gal, A., H. Borochoy-Neori, U. Yermiyahu, U. Shani. 2009. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity. *Environmental and Experimental Botany* 65: 232–237.
- Beltrán, H.R. 2002. Evaluación de la recuperación de un suelo salino sódico después de la incorporación de biosólidos y de un tratamiento hidrotécnico. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México. 27-31.
- Beyer, L., K. Tielborger, H.P. Blume, U. Pfisterer, K. Pingpank and D. Podlech. 1998. Geocological soil features and the vegetation pattern in an arid dune area in the Northern Negev, Israel. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde* 161: 347-356.
- Bilgili. A.V. 2013. Spatial assessment of soil salinity in the Harran Plain using multiple kriging techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185 p.
- Bossio, D., W. Critchley, K. Geheb, V. Lynden, G. Mati. 2007. Conserving soil-protecting water. comprehensive assessment of water management in agriculture: Water for Food, Water for Life 551-584.
- Brady, N.C., y R.R. Weil. 2002. The nature and properties of soils. Pearson Education Ltd, New Jersey.
- Bresler, E.Mc., B.L. Neal, D.L. Carter. 1982. Saline and sodic soils. springer verlag. *Berlin Heidelberg* 166: 170-211.
- Buckman, H.O., N.C. Brady. 1991. Naturaleza y propiedades de los suelos. Uteha, Grupo Noriega Editores. México. 590.
- Cardona, G. 2007. Delicias vegetarianas de México (2ª Ed.). México: Ed. Pax México.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Instituto de Biología, UNAM. 847 p.
- Chawla, K.L. and I.P. Abrol. 1982. Effect of Gypsum finenss on the reclamation of sodic soils. *Agricultural Water Management* 5: 41-50.

- Chen, Y. and M. De Nobili. 2004. The role of humic substances and DOM in metal binding and plant growth. *In: Martin-Neto, Milori y da Silva. Humic Substances and Soil and Water Environment* 195-197.
- Choudhary, O.P., B.S. Ghuman. N. Bijay-Singh. R.J. Buresh. 2011. Effects of long-term use of sodic water irrigation, amendments and crop residues on soil properties and crop yields in rice–wheat cropping system in a calcareous soil. *Field Crops Research* 121: 363-372.
- Clark, G.J., N. Dodgshun, P.W.G. Sale, C. Tang. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 2806-2817.
- Cunha-Santino, M.B. and I. Bianchini. 2004. Oxygen uptake during mineralization of humic substances from Infernão Lagoon. *Journal of Biology* 64, 3: 1519-6984.
- Dabin, B. 1971. Étude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Scientific Solutions* 1: 47-63.
- Dendooven L., R.J. Alcántara-Hernández. C. Valenzuela-Encinas. M Luna-Guido. F Pérez-Guevara y R. Marsch. 2010. Dynamics of carbon and nitrogen in an extreme alkaline saline soil. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 865-877.
- Del Villar-Martínez, A.A., M.A. Serrato-Cruz, A. Solano-Navarro, M.L. Arenas-Ocampo, A.G. Quintero-Gutiérrez, L. Sánchez-Millán, S. Evangelista-Lozano, A. Jiménez Aparicio, F.A. García-Jiménez, P.E. Vanegas-Espinosa. 2007. Carotenoides en *Tagetes erecta* L. La modificación genética como alternativa. *Fitotecnia Mexicana* 109-118.
- Dorado, E., A. Polo, J. Del Rio. 1972. Caracterización de los ácidos húmicos por electroforesis y gel filtración. *Anales Edafología y Agrobiología* 31: 693-718.
- Duchaufour, Ph., F. Jacquin. 1975. Comparaison des processus d'humification dans les principaux types d'humus forestiers. *Bull. AFES* 1: 29-36.
- Evans, C.D., D.T. Monteith, D.M. Cooper. 2005. Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: observations, possible causes and environmental impacts. *Environmental Pollution* 137: 55-71.
- FAO, 1988. Soils Bulletin. Soils and plant testing and analysis. 247 p.
- FAO, 1988. Salt-affected soils and their management. Rome, Italy.
- Farifteh, J., F. Van der Meer, M. Van der Meijde, C. Atzberger. 2008. Spectral characteristics of salt-affected soils. *Geoderma* 145: 196-206.
- Farmer, V.C. and R. Morrison, I. 1960. Chemical and infrared studies on Phragmites peat and its humic acid. *Science Proceeding* 1: 85-104.

- Fassbender, H. W. 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. 420 p.
- Faulkner, H. 2007. Improvements to the dispersion status of piped gully soils following reworking and stabilization by vegetation. Colorado, EE.UU. *Catena* 70: 410-415.
- Fengel, D. and G. Wegener, G. Wood. 1984. Chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter: Berlín. 613 p.
- Fernández-Luqueño, F., R. Marsch, D. Espinosa-Victoria, F. Thalasso, M.E. Hidalgo Lara, A. Munive, M.L. Luna-Guido, M.L. Dendooven, 2008. Remediation of PAHs in a saline-alkaline soil amended with wastewater sludge and the effect on dynamics of C and N. *Science of the Total Environment* 402, 1: 18-28.
- Ferreras, L., E. Gomez, S. Toresani, I. Firpo, R. Rotondo, 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology* 97: 635-640.
- Fitzpatrick, R.W. and E. Fritsch. 1996. Interpretation of soil features produced by ancient and modern processes in degraded landscapes: V. Development of saline sulfidic features in non-tidal seepage. Australia. *Geoderma* 69: 1-29.
- Flores, D.A. 1996. Salinidad un nuevo concepto. Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Xochimilco. México-Cuba. 135 p.
- Fuentes, R.E. 2001. Estudio comparativo de suelos de chinampa contaminados por sales y/o sodio en Xochimilco, Mixquic y Tláhuac. Tesis. Facultad de Ciencias, UNAM. 126 p.
- Galicia, P. M. 1990. Efecto de un mejorador mineral en suelos de chinampa de Tláhuac, D. F. cultivando *Brassica oleracea* L. Tesis Facultad de Ciencias, UNAM. 86 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, Serie Libros. 9, Instituto de Geografía, UNAM. México.
- García-Calderón, N. E., Galicia, S. Aguilera, N., Reyes, L. 1994. Organic matter and substances contents in chinampa Soils from Xochimilco-Tlahuac Areas. In: Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Vol. 3a: 368-383.
- González-Salgado, M.E., N.E. García y M.S. Galicia. 2000. Evaluación del zempasúchil como producto de rehabilitación de un suelo salino sódico de Tláhuac. La Edafología y sus Perspectivas al Siglo XXI. Tomo II. Colegio de Postgraduados. UNAM. UACH. 750-756.
- González-Salgado, M. E., N.E. García-Calderón y G. Almendros. 2010. Características estructurales de ácidos húmicos y su efecto en el cultivo de *Tagetes erecta* L. en el suelo afectado por sales. *Terra Latinoamericana* 28, 1: 27-33.

- Gul, B., A. Raziuddin, T.J. Flowers, M.A. Khan. 2012. Germination strategies of halophyte seeds under salinity. *Environmental and Experimental Botany* xxx: xxx-xxx.
- Guzmán, O.M. 1995. Manual de fertilizantes para horticultura. California fertilizer Association. Uteha. México. 144-150.
- Hafiz, N.A. and M.S. Raj. 2012. Community composition and activity of microbes from saline soils and non-saline soils respond similarly to changes in salinity. *Soil Biology and Biochemistry* 47.
- Hagemann, M., 2011. Molecular biology of cyanobacterial salt acclimation. *Fems Microbiology Reviews* 35: 87-123.
- Haisheng, H., W. Wenjie, Z. Hong, Z. Yuangang, Z. Zhonghua, G. Yu, X. Huinan, Y. Xingyang. 2008. Influences of addition of different krilium in saline-sodic soil on the seed germination and growth of cabbage. *Acta Ecologica Sinica* 28, 11: 5338-5346.
- Harris, R.F. 1980. Effect of water potential on microbial growth and activity. Special Edition No.9. Water Potential Relations in Soil Microbiology. *Soil Science Society of America* 23-95.
- Hernández, F. Felipe II. F.J. Caballero. 1649. Dendrología (Estudio de los árboles y plantas). Nueva España. Biblioteca Francisco de Burgoa Oax. Oax 63, 2-3. 1: 154-876.
- Hillel. D. 1998. Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental. Academic Press. 182 p.
- Huez, M.A., M. Ortega, J.L. Rone, 1989. Características de algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos y espesores subyacentes del predio Montecillo. *Agrociencia* 78: 231-247.
- Hussein, Y.A. 1989. Descomposition of humic acids by actinomyces. *Revista Phytton* 49, 1- 2: 17-21.
- Ibañez, H.A., E. Fuentes R, I. Mercado S., R. Ramos B., N.E. García C. 2001. Differential salinity in soils of chinampa agroecosystems from México. SPUSH Simposio de la red global de FAO sobre gestión integrada del suelo para el uso sostenible de suelos afectados por sales. Valencia, España.
- Ilyas, M., I.R. Qureshi, M.A. Qadir. 1997. Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping. *Soil Technology* 10: 247-260.
- Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar. 1990. Humic substances formed during the composting of organic matter. *Soil Science Society of American Journal* 54: 1316-1323.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011. Tláhuac. Cuaderno estadístico delegacional. Versión electrónica.

- Israilev, R.L., A. Secligman, P. 1983. Distribución de los flavonoides foliares. *Revista Lilloa* 36, 1: 5-14.
- Izquierdo, C. T. 2004. Efecto de composta, vermicomposta y fertilizante en la producción de cempasúchil (*Tagetes efecta* L.) y la formación de agregados a partir de un tepetate. Tesis Biología. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Jackson, M.L. 1982. Análisis químico de los suelos. Omega, Barcelona. España.
- Jacquín, F., C. Calvez, J.F. Dormaar y M. Metche. 1970. Contribution A l'étude des processus d'extraction et de caracterization des composes humiques, *Bull. A.F.E.S* 4: 27-38.
- Jain, R.K. and S. Bajrang. 1998. Short communication biomass production and soil amelioration in a high density *Terminalia arjuna* plantation on sodic soils. *Biomass and Bioenergy* 15, 2: 187-192.
- Jambu, P. 1970. Observation sur l'humification en milieu calcique hydromorphe. *Science Soil* 1: 67-89.
- Joeckel, R.M. and T.B.J. Ang. 2004. Soils, superficial geology, and geomicrobiology of saline-sodic wetlands, North Platte River Valley, Nebraska, USA. *Catena* 61, 63-101.
- Kalbitz, K., S. Solinger, J.H. Park, B. Michalzik, E. Matzner. 2000. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils. *Soil Science* 165: 277-304.
- Kelley, D.B., J.R. Goodin y D.R. Miller. 1982. Biology of Atriplex. Contributions to the ecology of halophytes. Dr. W. Junk Publishers. 79-107.
- Keren, R.. 2000. Salinity. Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton 3-25.
- Kononova, M.M. 1982. Materia Orgánica en el suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Oikos-Tau, Barcelona, España. 249-323.
- Kovda, V.A., and R.M. G. Van den Berg. 1967. International source-book on irrigation and drainage of arid lands, in relation to salinity and alkalinity. FAO-UNESCO. 663 p.
- Krasilnikov, P., F.J. Jiménez, T. Reyna, N.E. García. 2011. Geografía de suelos de México. Facultad de Ciencias. UNAM. 1-39 p. .
- Ksouri, R., W. Megdiche. H. Falleh, N. Trabelsi, M. Boulaba, A. Smaoui, C. Abdelly. 2008. Pharmacology, toxicology influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. *Comptes Rendus Biologies* 331: 865-873.
- Kumada, K. 1987. Chemistry of soil Organic matter. Japan Scientific Societies Press Tokio. 29-59.

- Larrea-Reynoso, M.C., M.C. Mena. 1985. Estabilidad del pigmento de la flor de zempoaxochitl. *Revista Industria Alimentaria* 7: 5-8.
- Laor, Y., Y. Avnimelech. 2002. Fractionation of compost-derived dissolved organic matter by flocculation process. *Organic Geochemistry* 3: 257-263.
- Laura, R. D. 1973. Nitrogen and humus in saline and sodic soils near Delhi, India. *Geoderma* 10: 193-213.
- Leifeld, J. S., Siebert and K. Knabner. 2002. Changes in the chemical composition of soil organic matter after application of compost. *European Journal of Soil Science* 53: 299-309.
- Liphshitz, N., Y. Waisel. 1982. Adaptation of plants to saline environments: salt excretion and glandular structure. Contributions to the ecology of halophytes. The Hage, 197-214.
- Liu J., J. Wang, Y. Chen, H. Lippold, J. Lippmann-Pipke. 2010. Comparative characterization of two natural humic acids in the Pearl River. Basin, China and their environmental implications. *Journal of Environmental Sciences* 22, 11: 169-1702.
- López Aguirre, J.G., J. Molina Ochoa, J. Farías, L.S. Guzmán, A.M. Rosales. 1997. Utilización de desechos de la industria cítrica en el mejoramiento de los suelos salinos. *Terra* 15, 3: 329-336.
- MacCarthy, P., R.L. Malcom, C.E. Clapp. 1990. Humic sustancias in soil and crop sciences selected. MacCarthy C.E. (Ed) American Society of Agronomy and Soil Science Society of America 161-187 p.
- Mahmoodabadi, M., N. Yazdanpanah, L. Rodríguez, E. Pazira, A. Neshat. 2012. Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments redistribution of soluble cations within the soil profile. *Agricultural Water Management* xxx: xxx-xxx.
- Mahmoud, K., J. Railaa, M. Alia, M.S. Khan, R. Schenkb, J.P. Krausec, F.J. Schweigerta, H. Rawela. 2012. Stability and bioavailability of lutein ester supplements from Tagetes flower prepared under food processing conditions. *Journal of functional food* S4:602-610.
- Manpreet, S. M.; P. Marschner, D. J. Chiteeleborough, J. W. Cox and J. Sanderman. 2012. Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology and Biochemistry* 45: 8-13.
- Malcolm, C.V., A. Hamdy. 1996. Halophytes and Biosaline Agriculture. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Agadir, Morocco. New York. Basel.Hong Kong. 1-175.

- Marinari, S., S. Carbone, L. Vittori, S. Grego, G. Vianello. 2012. Microbial activity and functional diversity in Psamment soils in a forested coastal dune-swale system. *Geoderma* 173-174: 249-257.
- Marschner, B., K. Kalbitz. 2003. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma* 113: 211-235.
- Martinez-Beltran, J., Manzur, C.L. 2005. Overview of Salinity Problems in the World and FAO Strategies to Address the Problem. *Proceedings of the International Salinity Forum*, Riverside, USA 311-313.
- Mavi. M.S., A.P. Marschner, D.J. Chittleborough and J.W. Cox. 2010. Microbial activity and dissolved organic matter dynamics in the soils affected by salinity and sodicity. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1: 6.
- Mees, F. and Tursina, T.V. 2010. Salt minerals in saline soils and salt crusts interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Department of Geology and Mineralogy, Royal Museum for Central Africa, Leuvensesteenweg 13: 441-469.
- Mejía, E. S. 2002. Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego. *Terra* 20, 2: 217-225.
- Mercado, S.Y. 1993. Respuesta de un suelo salino sódico de San Luis Tlaxiátemalco, D. F. a la aplicación de mejoradores biológico, químico e hidrotécnico, a nivel invernadero. Tesis de Maestría en Edafología. Facultad Ciencias, UNAM. 120 p.
- Mzezewa, J., J. Gotosa, B. Nyamwanza. 2003. Characterization of a sodic soil catena for reclamation and improvement strategies. *Geoderma* 113: 161-175.
- Miramontes, B. 1997. Comportamiento de las sales solubles en el proceso de lavado de los suelos salinos sódicos. Memoria del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tamaulipas. 36.
- Muhammad, S., T. Muller, R.G. Joergensen. 2008. Relationships between soil biological and other soil properties in saline and alkaline arable soils from the Pakistani Punjab. *Journal of Arid Environments* 72: 448-457.
- Muñoz, V.H., C.J. Xelhuantzi, A.G. Domínguez, G.G. Salazar. 2011. Evaluación de tres diferentes estiércoles bajo el proceso de compostaje para la determinación del proceso y maduración. VI Reunión Nacional de Innovación Agrícola. León, Guanajuato, INIFAP.
- Muppala, P.R., T.S. Mukesh, S.P. Jinalal. 2008. *Salvadora persica*, a potential species for industrial oil production in semiarid saline and alkali soils. *Industrial crops and products* 28: 273-278.

- Naidoo, G. 1994. Growth water and ion relationships in the coastal halophytes *Triglochin bulbosa* and *T. striata*. *Environmental and experimental Botany* 34, 4: 419-426.
- Nannen, N.L., R.W. Hutkins. 1991. Intracellular pH effects in lactic acid bacteria original. *Journal of Dairy Science* 74, 3: 741-746.
- Neilsen, G.H., E.J. Hogue, D. Neilsen, B.J. Zebarth. 1997. Evaluation of organic wastes as soil amendments for cultivation of carrot and chard on irrigated sandy soils. *Canadian Journal of Soil Science* 78: 217-225.
- Nelson, P.N, J.A. Baldock, J.M. Oades. 1998. Changes in dispersible clay content, organic carbon content, and electrolyte composition following incubation of sodic soil. *Australian Journal of Soil Research* 36: 883-897.
- Nikkon, F., M. Rowshanul, A.S. Zahangir, M. Rezaul. 2011. *Tagetes erecta* Linn. and its mosquitocidal potency against *Culex Quinquifasciatus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 186-188.
- O’Gorman, H. 1961. Mexican flowering trees and plants. De Ella Wallace Turok. México. 5, 8: 184.
- Ortega, M.E. 1983. Algunos aspectos teóricos de carácter geoquímico, físico químico y químico involucrados en la génesis de los suelos de salinidad sódica. Colegio de Postgraduados, Centro de Hidrociencias Sección Suelos Salinos y Sódicos. Chapingo. 65 p.
- Ortiz, M.O. 1992. Distribución y extensión de los suelos afectados por las sales en México y el mundo. Publicaciones del Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 1-36.
- Osuna, T.L., Ma. E. Tapia, A. A. Contreras. 2005. Plantas medicinales de la medicina tradicional mexicana para tratar afecciones gastrointestinales: Estudio etnobotánico, fitoquímico y farmacológico. Ediciones Universitat Barcelona, España. 173 p.
- Pa, D.K., T. Bhattacharyya, S.K. Ray, P. Chandran, P. Srivastava, S.L. Durge, S.R. Bhuse. 2006. Significance of soil modifiers (Ca-zeolites and gypsum) in naturally degraded Vertisols of the Peninsular India in redefining the sodic soils. *Geoderma* 136: 210-228.
- Page, A.L. 1982. Replacement of exchangeable cations. Ammonium acetate method. *In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy* 9: 160-165.
- Pal, D.K., P. Srivastava, S.L. Durge, T. Bhattacharyya. 2003. Role of microtopography in the formation of sodic soils in the semi-arid part of the Indo-Gangetic Plains. *Catena* 51: 3-31.

- Piccaglia, R., M. Marotti, S. Grandi. 1998. Lutein and lutein ester content in different types of *Tagetes patula* and *T. erecta*. *Industrial Crops and Products* 8: 45-51.
- Piccolo, A., L. Camiri. 1990. A comparison of two methods for the determination of total acidity of humic substances. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 41: 65-69.
- Pierluigi, G., F. Aldani, A. H. M. Veeken, K.G.J. Nierop, B. Scaglia, C. Dijkema. 2002. Qualitative modifications of humic acid-like and core-humic acid-like during high-Tate composting of pig faeces amended with wheat straw. *Soil Science & Plant Nutrition* 48 2: 143-150.
- Pizarro, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Agrícola española, S. A. 512 p.
- Polak, J.M., M.Z. Bartoszek, A. Kos, W.W. Sulkowski. 2011. The spectroscopic studies of humic acid extracted from sediment collected at different seasons. *Chemosphere* 84: 1548-1555.
- Porta, J.C. 1997. Manejo de suelos afectados por salinidad. Departamento de Medio Ambiente y Ciencia del Suelo. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de Lleida, Cataluña, España. 840 p.
- Porta, J.C., M. López-Acevedo, C. Roquero. 2003. Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. 929 p.
- Porta, J.C y M. López-Acevedo. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona México. 541 p.
- Qadir, M., A. Ghafoor, G. Murtaza, 2000. Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degradation and Development* 11: 501-521.
- Qadir, M., and J.D. Oster. 2004. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the total Environment* 323: 1-19.
- Raj S., P. Marschner, J. Baldock, D. Chittleborough, P. Smith, J. Smith. 2011. Salinity effects on carbon mineralization in soils of varying texture. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 1908-1916.
- Ramírez, M.O. 1988. Determinación experimental de la capacidad germinativa de algunos cultivos agrícolas en soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Hidrociencias, Chapingo. .
- Ramos-Bello, R., L.J. Cajuste, D. Flores-Román, N.E. García-Calderón. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia* 35: 385-395.

- Ramos, B.R., N.E. García Calderón, M. Ortega Escobar, P. Krasilnikov. 2011. Artificial chinampas soils of Mexico City: their Properties and Salinization Hazards. *Spanish Journal of Soil Science* 1: 70-85.
- Rengasamy, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany* 57: 1017-1023.
- Resendis, P.L. 2012. Impacto de las prácticas antrópicas en los suelos del distrito de riego Los Insurgentes, México. Tesis Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Postgrado en Edafología. 109 p.
- Reyes, C. P. 1992. Diseño de experimentos aplicados. Ed. Trillas. 11-91, 87-18.
- Reyes, O.A.L. 1992. Respuestas en el desarrollo del rosal a la adición de mejoradores orgánicos y láminas de lavado en un suelo de chinampa. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias UNAM.
- Reyes, O. A. 1997. Investigación sobre los coloides organominerales en suelos de Xochimilco y su relación con cultivos florícolas. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias. UNAM. 272 p.
- Reyes-Ortigoza, A.L. y N.E. García-Calderón. 2004. Evolución de las fracciones húmicas de suelos en la zona chinampera de la ciudad de México. *Terra Latinoamericana* 22, 3: 289-298.
- Richards, A. L. 1994. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salino sódicos. Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América. Uthea. Noriega Editores. Limusa. 172 p.
- Rietz, D.N., R.J. Haynes. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 845-854.
- Riffaldi, R., A Saviozzi, R. Levi-Minzi, 1996. Carbon mineralization kinetics as influenced by soil properties. *Biology and Fertility Soils* 22: 293-298. .
- Rodrigues, E., M. Dos Santos, K.P. Vieira, C.W. Araujo, H.A. Ruíz, Ma. Teixeira. 2012. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. *Botánica Ambiental y Experimental* 82: 20-27.
- Rodriguez, T. M., J. Venegas, M. V. Angoa, J.L. Mpmtañez. 2009. Extracción Secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicos de diferentes compost y su efecto sobre el cultivo de trigo. *Bioagro* 21, 3: 183-188.
- Rosenfeld, A., and A.C. Kak, 1982. Digital picture processing. New York. Academic Press,
- Ruíz, M. A. 2003. La chinampa. La Insignia. México. 98 p.

- Russell, J.S., E.L. Greacen. 1977. Soil factors in crop production in a semi-arid environment. *Australian and New Zealand Association for the Advancement of Science* 2: 509.
- Sánchez, B.E., M. Ortega, E.V. González Hernández, G. Ruelas-Angeles, J. Kohashi-Shibata, N. García-Calderón. 2003. Tolerancia de tubérculos de papa cv. Alpha en etapa de brotación a condiciones de salinidad. *Terra Latinoamericana* 21, 4: 481-491.
- Sánchez, O.C. 2010. Probabilidad y estadística. Mc. Graw Hill. 243 p.
- Saviozzi, A., R. Levy-Minzi, R. Riffaldi. 1993. Mineralization parameters from organic materials added to soil as function of their chemical composition. *Bioresource Technology* 4: 131-135.
- Schirmer, U. and S. W. Breckle 1982. The role of bladders for salt removal in some Chenopodiaceae (mainly *Atriplex species*). Contributions to the ecology of halophytes. The Hage, Boston. London. 215-231.
- Schoenhals, L.C. 1988. Spanish-English Glossary of Mexican Flora and Fauna. Summer Institute of Linguistics. Mexico, D. F. 48.
- Schnitzer, M., H. Dinel, S.P. Mathur, H. Shulten, R. Owen. 1993. Determination of compost biomaturity. III. Evaluation of a colorimetric test by ^{13}C -NMR spectroscopy and pyrolysis-field ionizations mass. *Biological Agriculture & Horticulture*. 10, 2: 109-123.
- Schnitzer, M., S.U. Khan. 1978. Soil Organic Matter. Elsevier Scientific publishing company. Amsterdam Oxford New York. 1-29 p.
- Schnitzer, M. and P. Schuppli. 1989. Method for the sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. *Soil Science Society of America Journal* 53: 1418-1424.
- Senesi, N., T.M. Miano, M.R. Provenzano, G. Brunetti. 1989. Spectroscopic and compositional comparative characterization of I.H.S.S. reference and standard fulvic and humic acids of various origin. *Science of the Total Environment* 81/82: 143-156.
- Shukla, M.K., R. Lal. M. Ebinger. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Ohio, US. *Soil & Tillage Research* 87: 194-204.
- Siebe, C., R. Jahn, K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Publicación Especial. 57 p.
- Sikder, J., S. Chakraborty, P. Pal, E. Drioli, C. Bhattacharjee. 2012. Purification of lactic acid from microfiltrate fermentation broth by cross-flow nanofiltration. *Biochemical Engineering Journal* 69: 130 -137.
- Singh K., S. Bajrang, R.R. Singh. 2012. Changes in physico-chemical, microbial and enzymatic activities during restoration of degraded sodic land: Ecological suitability of mixed forest over monoculture plantation. *Catena* 96: 57-67.

- Smettan, U.B. H.P. Blume. 1987. Salts in sandy desert soils southwestern Egypt. *Journal of Soil Science Hidrology Geomorphology*. 333-343.
- Sodergard, E.E., M. Stolt. 2002. Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition. *Polymerization Science* 27: 1123-1163.
- Stanley, E.M. 2002. Introduction to environmental chemistry. Graduate Intensive Course. Master's and Doctoral Program in Chemistry. Faculty of Chemistry, UNAM. 750 p.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus chemistry genesis, composition, reactions. Department of agronomy University of Illinois. New York. John Wiley and Sons. 443 p.
- Szabolcs, I. 1989. Salt Affected Soils. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. 274.
- Tanji, K.K. 1996. Agricultural salinity assessment and management. American Society of civil engineer. New York.
- Tejada M, C. Garcia, J.L. González, M.T. Hernández. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology Biochemistry* 38: 1413-1421.
- Thompson, L. M., F.R. Troeh. 1988. Los Suelos y su fertilidad. Reverté. 229-256 p.
- Tinoco, P. Ma.del P. 2000. Caracterización molecular de la materia orgánica de suelos afectados por distintos tipos de degradación en la comunidad de Madrid. Tesis Doctoral. Madrid. España. 213 p.
- Tipping, E. and M.A. Hurley. 1992. A unifying model of cation binding by humic substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56: 3627-3641.
- Touchette, B.W., G.A. Smith, K.L. Rhodes, M. Poole. 2009. Tolerance and avoidance: Two contrasting physiological responses to salt stress in mature marsh halophytes *Juncus roemerianus* Scheele and *Spartina alterniflora* Loisel. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 380: 106-112.
- Traina, S.J., J. Novak, N.E. Smeck. 1990. An ultraviolet absorbance method of estimating the percent aromatic carbon content of humic acids. *Journal of Environmental Quality* 1: 151-153.
- Triola, M.F. 2009. Estadística. Pearson Educación de México. 866 p.
- Tripathi, S., S. Kumari, A. Chakraborty, A. Gupta, K. Chakrabarti, B.K. Bandyapadhyay. 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biology and Fertility of Soils* 42: 273-277.
- Ungar, I.A. 2001. Seed banks and seed population dynamics of halophytes. *Wetlands Ecology and Management* 9: 499-510.

- Van Reeuwijk, L.P. 2002. Procedures for soil analysis. International Soil Reference and Information Centre. ISRIC. FAO.
- Venegas-González J., J. Lenom Cajuste, A. Trinidad-Santos, F. Gavi-Reyes, P. Sánchez-García. 2005. Análisis químico de compost y efecto de su adición sobre la producción de biomasa en zarzamora. *Terra Latinoamericana* 23, 3: 285-292.
- Venkatesh, K. V. 1997. Metabolic flux analysis of lactic acid fermentation: effects of pH and lactate ion concentration. *Process Biochemistry* 32, 8: 651-655.
- Vital, A. F., R. V. dos Santos, L.F. Cavalcante, J. S. Souto. 2005. Management of Water and Soil. Behavior of chemical parameters of a saline sodic soil treated with gypsum and phosphorus. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9: 1.
- Walkley, A., I.A. Black. 1934. A an examination of the Degtjareff Method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method *Soil Science* 37: 29-38.
- Wetson, A.M., C. Cassaniti, T.J. Flowers. 2008. Do conditions during dormancy influence germination of *Suaeda maritime*. *Annals of Botany* 101: 1319-1327.
- Wong, V.N., R.C. Dalal, R.S Green. 2008. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. *Biology and Fertility of Soils* 44: 943-953.
- Wong, V.N., R.S. Greene, R.C. Dalal, B.W Murphy. 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils. A review. *Soil Use and Management* 26: 2-11.
- WRB. 2006. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos. 84. FAO-ISRIC, Roma.
- Wu, Y., L. Yufei, C. Zheng, Y. Zhang, Z. Sun. 2013. Organic amendment application influence soil organism abundance in saline alkali soil. *European Journal of Soil Biology* 54: 32-40.
- Xing B, Liu J D, Liu X B, Han X Z, 2005. Extraction and characterization of humic acid and humin fractions from a black soil in China. *Pedosphere* 15: 1-8.
- Yuan, B.C., Z.Z. Li, H. Liu, M. Gao, Y.Y. Zhang. 2007. Microbial biomass and activity in salt affected soils under and conditions. *Applied Soil Ecology* 35: 319-328.
- Zambrano, A.J., F.A. Contreras, J.E. Paolini, C. Rivero. 2011. *Avances en Investigación Agropecuaria* 15, 3: 67-85.
- Zsolnay, A. 2003. Dissolved organic matter: artifacts, definitions, and functions. *Geoderma* 113: 187-209.

Zhu, Z.H., R H, Hu, J. Z. Song 1996. The influence of salt coercion on wheat sprouts of different wheat varieties. *Crop Genetic Resources* 4: 25-29.

Zuorro, A., R. Lavecchia. 2010. New functional food products containing lutein and zeaxanthin from marigold (*Tagetes erecta* L.) flowers. *Journal of Biotechnology* 505-576.

ANEXOS

ANEXO 1

Metodología. Dosis. Cálculos de aplicación del ácido láctico a suelo

Cuadro 34. Cálculos para aplicar el mejorador ácido láctico a cada unidad experimental

A	B	C
2 gotas a 5 g	100 gotas a 250 g	1 ml contiene 20 gotas
X - 250 gotas	X - 2 000 gotas	X - 800 gotas
X = 100 gotas	X = 800 gotas	X = 40 ml

Se realizan distintas pruebas con el ácido láctico, composta y ácidos húmicos, con agua destilada, hervida a diferentes concentraciones.

Se aplican 5 g de suelo + dos gotas de ácido láctico + 190 ml H₂O

Se consideran **20** gotas de ácido láctico en **1** ml y 100 gotas a 5 ml de mejorador.

Por lo que se requieren 5 ml de ácido láctico para 250 g de suelo para cada unidad experimental.

Se aplican 5 ml de ácido láctico a 250 g de suelo y 40 ml a 2 000 g de suelo para aplicar a cada unidad experimental (macetas) en el invernadero, equivalentes a la relación dos gotas de ácido láctico por 5 g de suelo.

Las dosis para de los cuatro tratamientos a probar en campo fueron:

1. Testigo: H0 C0 M0
 2. Tratamiento 12, triple interacción H1C2M1 (120 mg/56.25 g /40 ml/2kg).
 3. Tratamiento 15, doble interacción H2C1M0 (240 mg/37.5 g/2 kg).
 4. Tratamiento 16, triple interacción H2C1M1 (240 mg/37.5 g/40 ml/2 kg).
- C1= 60 ton/ha. C2=90 ton/ha. H1= 60 ppm

ANEXO 2

Resultados. Cálculos para obtener la cantidad de litros de ácido láctico por ha

$$100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10\,000 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} \times 0.97 \text{ g/ml} = 1\,940 \text{ m}^3 \text{ kg/l}$$

$$1\,940\,000 \text{ kg} \times 0.97 \text{ kg/l}$$

ha	Prof.	Densidad = toneladas	1 940 t
----	-------	----------------------	---------

Pesa

1 ha	-	1 940 000 kg	-	X
------	---	--------------	---	---

X	-	0.250 kg	-	40 ml
---	---	----------	---	-------

$$X = 310\,400\,000 \text{ ml}$$

$$X = 310\,400 \text{ L de ácido láctico} \cdot \text{ha}$$

Se requieren 310 400 litros de ácido láctico/ha

ANEXO 3

Pruebas preliminares para la lámina de lavado

Las pruebas se realizaron con las 28 pastas de saturación sin la aplicación de ácido láctico obtuvieron una lámina de lavado de 367 ml, CE menor de 4.2 dS⁺·m y pH de 8.9 ligeramente alcalino, a diferencia con la adición del ácido láctico se obtuvo una lámina de lavado menor de 331 ml, CE menor de 2.5 dS⁺·m y un pH de 9 ligeramente mayor (Cuadros 35 y 36).

Cuadro 35. Resultado del análisis del extracto en pastas de saturación preliminares obtenido después de agregar la lámina de lavado **sin** ácido láctico

Pastas Ácido Láctico	pH 0.4	Vol. H ₂ O ml	Vol. Efluente ml	CE dS·m
1	8.7	200	25	14.9
2	8.1	30	43	17.3
3	8.1	55	45	13.1
4	8.1	50	31	12.3
5	8.3	50	43	9.7
6	8.2	60	38	8.1
7	8.1	48	24	8.8
8	8.4	35	20	10.8
9	8.5	40	28	8.3
10	8.8	35	16	6.8
11	8.8	30	17	7.9
12	8.8	35	20	5.8
13	8.8	35	10	4.6
14	8.9	40	15	4.2
		743	375	

Cuadro 36. Resultado del efluente obtenido con ácido láctico después de agregar la lámina de lavado en pastas de saturación preliminares

PASTAS Ácido Láctico Pastas	pH 0.4	Vol. H ₂ O ml	Vol. Efluente ml	CE dS/m
1	8.8	200	20	18.7
2	8.6	30	38	13.3
3	8.5	55	45	10.2
4	8.6	50	35	8.2
5	8.5	50	45	7.1
6	8.3	60	34	5.8
7	8.3	40	30	5.7
8	8.2	40	25	4.8
9	8.4	30	28	4.6
10	8.62	30	22	4.3
11	8.95	30	14	5.3
12	8.95	40	12	2.5
13	8.95	30	22	3.3
14	8.95	35	19	2.5
		720	389	

ANEXO 4

Cálculos. Extracción de SHs de la composta para conocer el contenido de C y la eficiencia del Método de Extracción

$$\text{N.R. Fe SO}_4 = \frac{\text{ml Vol. Teórico (10)} \cdot \text{Normalidad Teórica (0.5)}}{10.1 (\text{Blanco})} = \mathbf{0.495}$$

$$\% \text{ C} = \frac{\text{ml de dicromato} - (\text{ml de sulfato ferroso} \cdot \text{N real}) \cdot \mathbf{0.399}}{\text{g de la muestra}}$$

$$\% \text{ C AH+AF} = \frac{25\text{ml} - 17.572 \cdot 0.399}{2} = 1.481 \quad \text{Sol Kononova}$$

1.69

$$\frac{3.171}{2} = \mathbf{1.58} \text{ de \%C de AHs-AFs}$$

Si **8.83** es el % C en 0.2g de composta -- 100 %

$$\frac{\mathbf{1.58}}{\mathbf{8.83}} = \frac{\mathbf{X}}{100}$$

X = 17.89 Eficiencia de extracción de ambos ácidos AHs y AFs.

% C 1.481

% C AF y AHs 1.58

Eficiencia de extracción

En 100 g de composta contiene 8.83 % C

y los AHs + AFs están con una eficiencia de 17.89 % C.

Son los extraídos por los reactivos alcalinos NaOH + Na₄ P₂O₇ 0.1M. Por lo tanto la eficiencia de extracción en las condiciones probadas fue de un 18 %.

3g de AHs en 150 ml --- 50 ml - - - 25 ml = 1.5 g de muestra

$$\% \text{ C} = \frac{\text{Vol. dicromato} \cdot \text{N.} - (\text{ml de Fe SO}_4 \cdot \text{N. real})}{\text{g de la muestra}} = 0.399$$

9.108

$$\% \text{ C} = \frac{15 - (18.4 \cdot 0.495)}{1.5} \times \mathbf{0.399}$$

Por lo tanto % de C de AHs = **1.57**

1.58 --- 100

$$\frac{\mathbf{1.567}}{\mathbf{1.58}} = \frac{\mathbf{X}}{100}$$

X = 98.734% de AH

La deducción del porque **0.69** en la ecuación de la determinación de la MO.

0.69 ---> % MO

C = meq 0.00

$$PM = 12/4 / 1000 = 0.003 \text{ meq de C.}$$

Walkley y Black

$$100 \text{ --- } 75 \text{ --- } \frac{100}{75} = 1.333 \text{ Es el factor de eficiencia del Método para determinar el \% de C}$$

Por lo tanto $1.333 \times 0.003 \times 100 = 0.399 \%$ C
y el C existe en un 58 % (Van Bemmelen)

$$\text{entonces } 100 \text{ --- } \frac{58}{100} = 0.58$$

$$\frac{100}{58} = 1.72413 \text{ (Factor de Van Bemmelen)}$$

entonces

$$1.724 \times 0.399 = 0.687 = 0.69$$

ANEXO 5

Resultados de extracción del % de C de AHs en suelo y en composta

Si 8.82 % de C en .125g de muestra ----- 100%
4.71 % de C AH+AF ----- x

La Eficiencia de (7a.) Extracción del Método es:

x = 55 % de AH AF y 32 % de AH

Se obtuvo el % de C de los AHs en la determinación del Umbral de Coagulación:

% C de los AH en Suelo = 2.73 %

% de C de los AH en 1 Composta = 3.773 %

% de C de los AH en 2 Composta = 3.778 %

% C Suelo 1 = 8.3

% C en Composta 1 = 8.72

% C Suelo 2 = 7.43

% C en Composta 2 = 8.93

ANEXO 6
Germinación. Pruebas

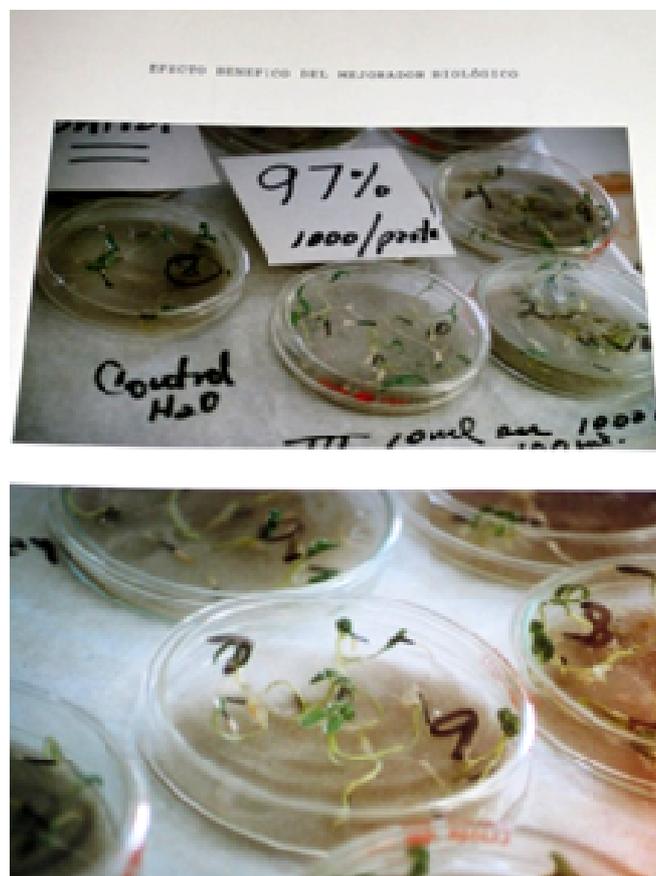


Figura 58. Se observa la germinación del 97% de zempasúchil con el ácido láctico.

ANEXO 7.

Efecto de las enmiendas en la germinación y en el crecimiento del zempasúchil en el invernadero

Germinación

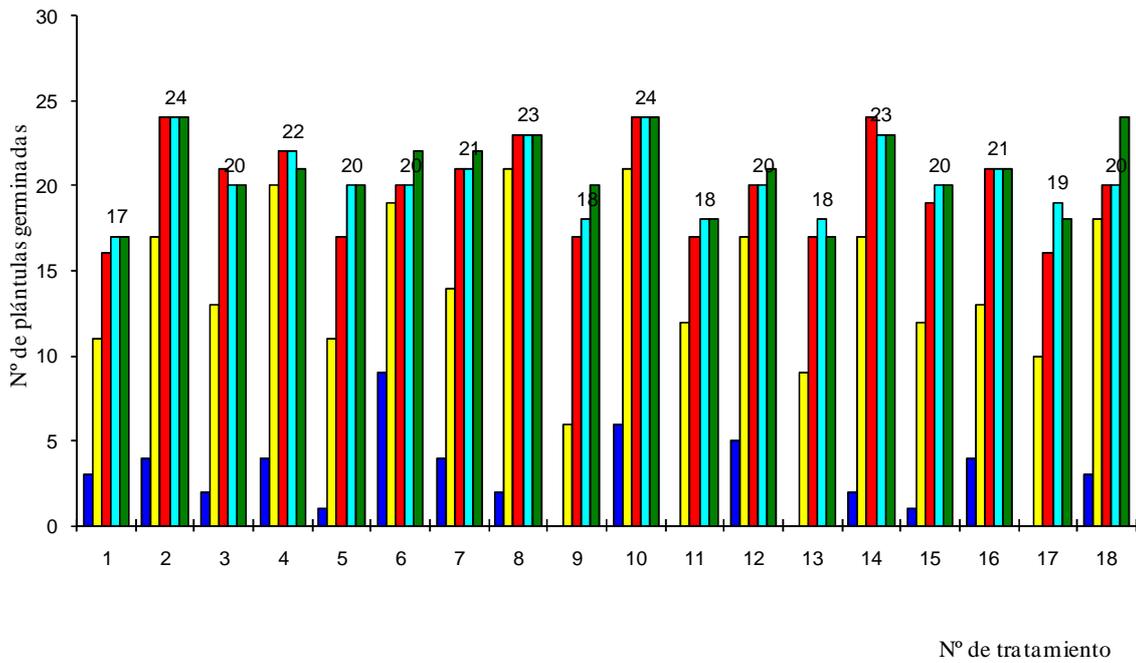


Figura 59-1. El número de plántulas con ácido láctico favoreció la germinación en los tratamientos pares: 2-H0C0M1, 10-H1C1M1 y 18-H2C2M1 con triple interacción con dosis de composta C1 y C2 con ácido láctico dosis única M1.

Número de hojas en la germinación

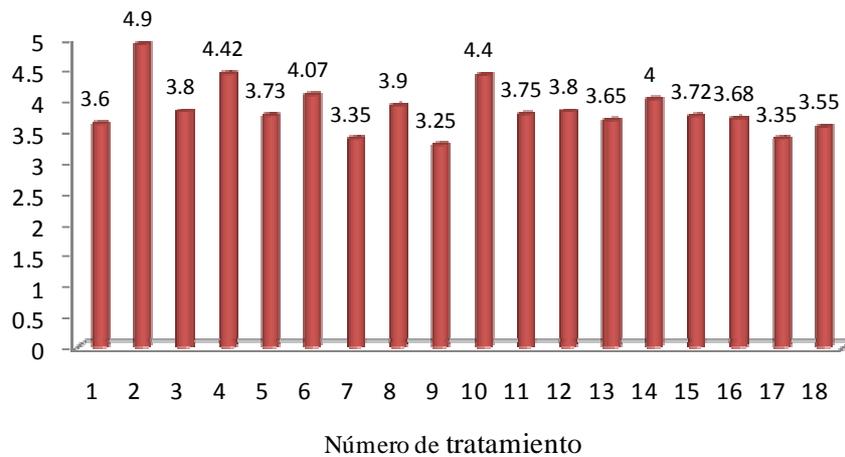


Figura 59-2. El número de hojas favoreció a los tratamientos con aplicación de ácido láctico (números pares).

Largo de la hoja en la germinación (1ª hoja)

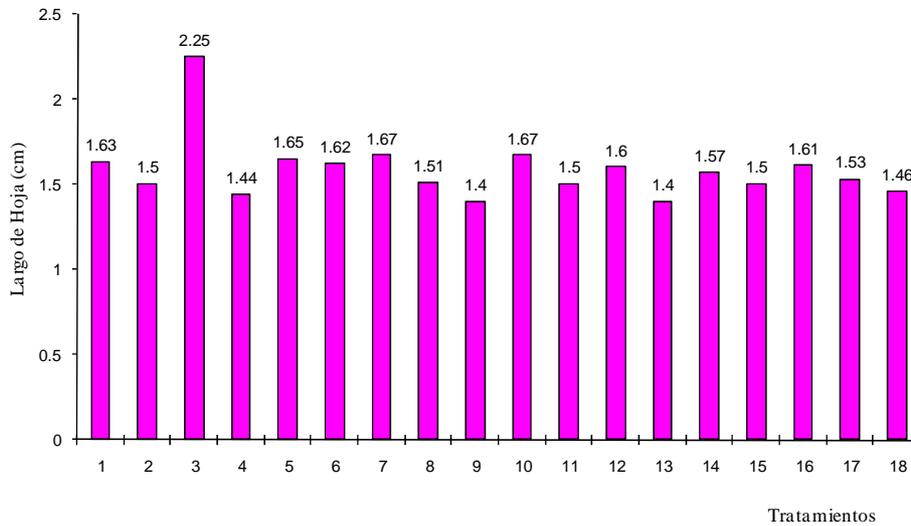


Figura 59-3. En el largo de hoja el tratamiento que destacó fue 3-H0C1M0 con composta C1=0.120 mg que favoreció el crecimiento.

Ancho de la hoja en la germinación (1ª hoja)

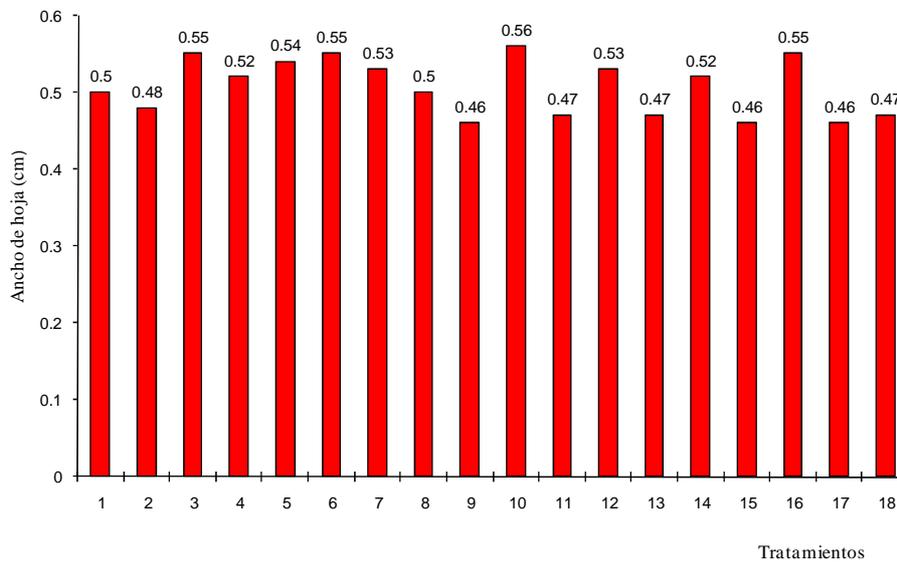


Figura 59-4. Destacaron los tratamientos: 10-H1C1M1 y 16-H2C1M1 con la dosis H1 y H2 y C1 de composta.

Número de hojas por rama
(3ª hoja del 3er par de ramas)
8ª Semana

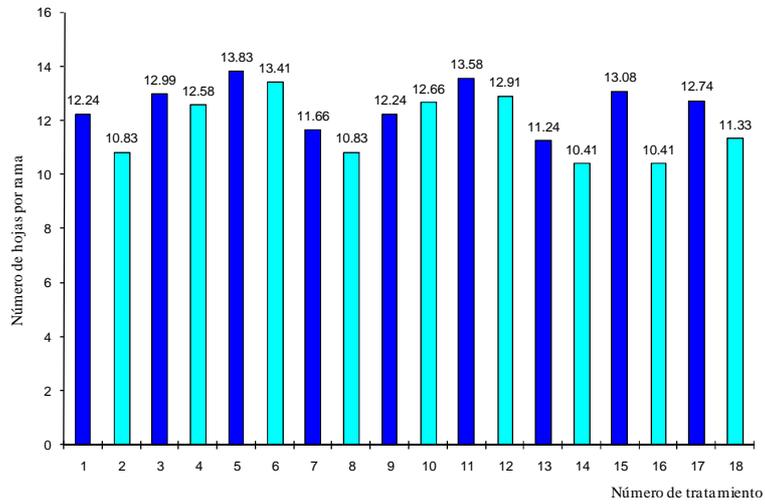
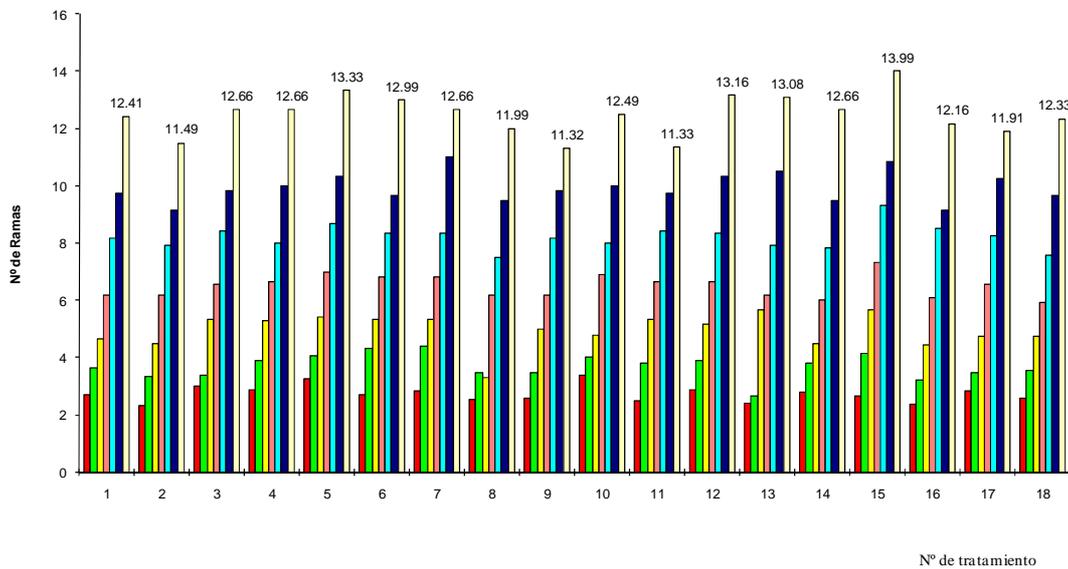


Figura 59-5. Se observó que destacaron los tratamientos: 5-H0C2M0 con C2 (56.25g) y el 15-H2C1M0, significativos en crecimiento y biomasa.

Número de ramas



Figuras 59-6. El número de ramas destacó en los tratamientos 5-H0C2M0, 12-H1C2M1 y 15-H2C1M0. Predominaron las dosis H1 y H2 de ácidos húmicos y de composta las dosis C1 y C2, a los dos meses de crecimiento.

Grosor del tallo (con y sin ácido láctico) 8ª Semana

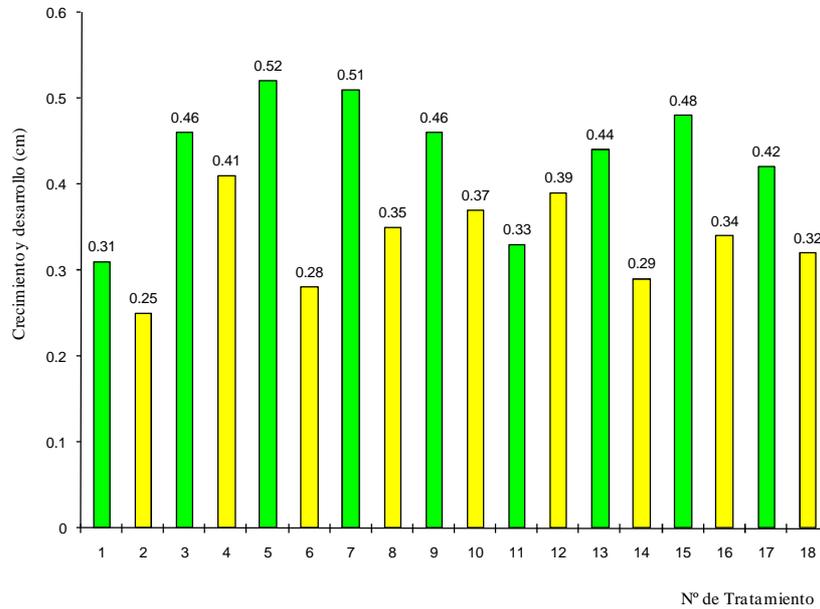


Figura 59-7. Se observa el grosor del tallo en los tratamientos: 5-H0C2M0 y 15-H2C1M0. Muestra el efecto de C1 y C2 de la composta.

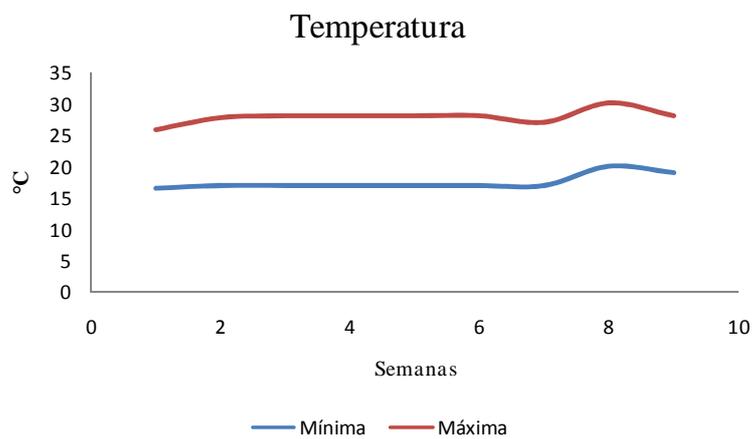


Figura 59-8. La temperatura del experimento se mantuvo en un promedio de 28°C, lo que permitió la actividad constante de las enmiendas durante el desarrollo del cultivo.

ANEXO 8

Resultados. Análisis ANOVA de las variables de respuesta de crecimiento del zempasúchil en invernadero

En la 14^a semana de desarrollo del cultivo del zempasúchil con la aplicación de ácido láctico M1 en invernadero fue significativo para la longitud total 9 tratamientos. Fue significativo el ácido láctico con doble interacción H1C2, en la triple interacción tratamiento 12-H1C2M1.

La cosecha se obtuvo a la 16^a semana en los 9 tratamientos de los 18, resultaron altamente significativos con la aplicación del ácido láctico M1 en: longitud total, número de ramas, número botones.

Fue significativo el T-16H2C1M1 con ácido láctico para el número de flores, diámetro de flores de zempasúchil con composta dosis C1, en la doble interacción (H2C1). Para el grosor de tallo, la aplicación del ácido láctico M1 y composta C2 fueron significativos en los tratamientos: 6-H0C2M1, 12-H1C2M1 y 18-H2C2M1, con triple interacción H2C1M1

Se favoreció el peso seco que fue significativo el ácido láctico M1 en los 9 tratamientos (pares), con la doble interacción C2 y M1 en T12-H1C2M1 y altamente significativo con la doble interacción H2C1 en los tratamientos T-15H2C1M0 y T-16H2C1M1.

Los tratamientos que favorecieron el peso seco de la flor fueron el 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1 en los dos tipos de interacciones.

En el peso seco de la raíz fue significativa la aplicación de la composta con C2 y ácido láctico M1. Se confirmó su significancia en peso seco de flor con C2 y M1.

ANEXO 9

Resultados. Observaciones del crecimiento de los 18 tratamientos en invernadero

El **T12-H1C2M1** la triple interacción con dosis doble de composta (C2), presentó crecimiento homogéneo, diámetro grande de flor, 11 flores por planta e intenso follaje verde.

El **T2-H0C0M0** el testigo absoluto de AHs, composta y mejorador, presentó menor longitud, mínimo número de flores, pequeño diámetro, crecimiento disminuido uniforme y verde intenso.

El **T3-H0C1M0** el testigo **de AHs, sin mejorador** tuvo producción de flores media, diámetro de flor mediano, con crecimiento irregular de las plantas.

El **T4-H0C1M1** con doble interacción C1M1 presentó crecimiento homogéneo, todas las plantas produjeron flores, el diámetro de las flores fue pequeño y hubo más plantas femeninas.

El **T5-H0C2M0** el testigo de composta (C2), presentó crecimiento irregular, con menor número de flores, el diámetro de las flores pequeño y verde pálido.

El **T6-H0C2M1** con doble interacción C2M1 presentó crecimiento heterogéneo, producción de flores y diámetro de la flor grande.

El **T7-H1C0M0** presentó con H1, crecimiento irregular con mínimo número de flores y diámetro regular.

El **T8-H1C0M1** con doble interacción H1M1 presentó crecimiento irregular, con menor número de flores y flores de diámetro regular.

El **T9-H1C1M0** con doble interacción H1C1 presentó menor crecimiento, menor producción de flores y flores pequeñas.

El **T10-H1C1M1** la triple interacción 1-1-1 fue mayor que en el tratamiento 12 con C2. Los tratamientos 12 y 10 tuvieron el mismo número de flores, el T-10 las desarrolló más pequeñas.

El **T11-H1C2M0** con doble interacción H1C2 tuvo un crecimiento y desarrollo heterogéneo, con mínimo número de flores de menor.

El **T13-H2C0M0** la doble dosis H2 tuvo menor crecimiento y desarrollo, produjo dos flores de tamaño.

El **T14-H2C0M1** la doble interacción H2M1 sin composta favoreció la longitud total y número de flores.

El **T15-H2C1M0** con doble dosis de AHs, H2C1 presentó 11 flores igual que el T12-H1C2M1, con diámetro grande.

El **T16-H2C1M0** con doble dosis de AHs, H2C1 presentó 15 flores con el mayor diámetro que el T12-H1C2M1.

El **T17-H2C2M0** con la doble dosis H2C2, sin ácido láctico presentó mínimo crecimiento, y producción.

El **T18 H2C2M1** con triple interacción, las mayores dosis de H2C2 y ácido láctico M1 inhibieron el crecimiento.

El **número de flores** presentó significancia con doble interacción AH-C, composta con una $p=0.006623$ y AHs con una $p=0.03606$

El **diámetro de flor** fue significativo con AH-C composta con $p=0.000307$ y AH-M con una $p=0.0329337$

ANEXO 10.

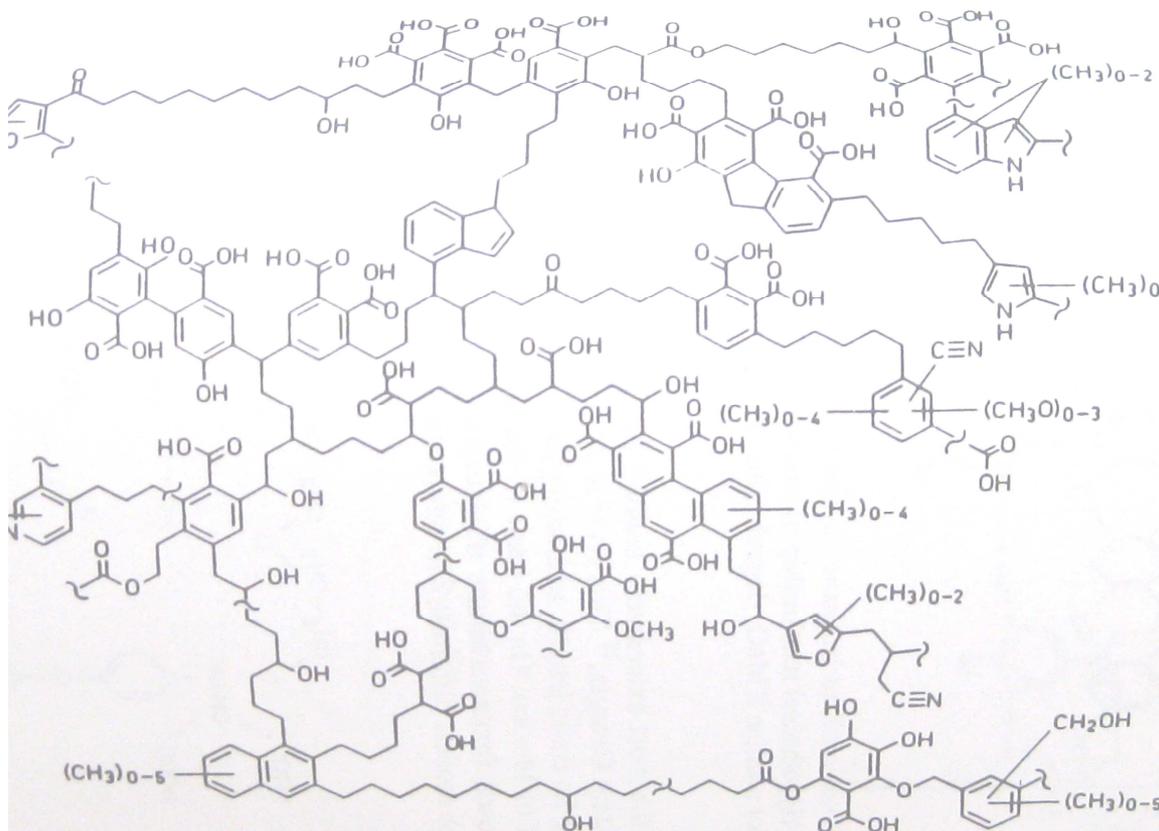


Figura 60. Ácido húmico (Schulten y Schnitzer).

ANEXO 11.

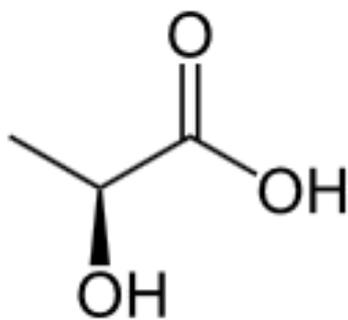


Figura 61. Ácido láctico

ANEXO 12. Invernadero



a.



b.

Figura 62 a. El cultivo en invernadero a la 8ª semana. b. Diferencias con la aplicación de las enmiendas orgánicas.



Figura 63. En invernadero la triple interacción con mayor número de flores y mayor diámetro H2C1M1. (Escala 1cm a 10 cm).

ANEXO 13. Campo



Figura 64. Un acercamiento del diámetro de 13 cm de las flores de zempasúchil *Tagetes erecta* L. del tratamiento significativo de triple interacción de las enmiendas 16-H2C1M1.



Figura 65 a y b. Se observa la diferencia del crecimiento y floración del zempasúchil al mitigar esta zona salino sódica. El máximo crecimiento del mejor tratamiento 16-H2C1M1 (izquierda), con respecto al testigo 1-HOC0M0 (derecha).



Figura 66. Efecto de las enmiendas en *Tagetes erecta* L. (lado izquierdo mejor tratamiento con respecto al testigo, lado derecho) Tláhuac.

ANEXO 12

Diferencia de partículas



Figuras 67. Observación comparativa de partículas: 1. Suelo testigo. 2. Suelo mejorado. 3. Composta y 4. Ácidos húmicos extraídos de la composta.