



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA “GESTIÓN AMBIENTAL”

TESIS DE GRADO

TEMA:

**EVALUACIÓN DE VARIAS ENMIENDAS PARA
RECUPERAR SUELOS CACAOTEROS CONTAMINADOS
CON CADMIO (Cd) EN CONDICIONES DE INVERNADERO**

RESPONSABLE:

LIGIA ELENA HURTADO MORA

DIRECTOR:

ING. M. Sc. FRANCISCO MITE VIVAR

QUEVEDO - LOS RÍOS - ECUADOR

2012



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis presentada al Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Ambientales como requisito previo para la obtención del Título de:

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

“Evaluación de varias enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con Cadmio (Cd) en condiciones de invernadero”

Aprobado por:

Ing. Francisco Mite Vivar
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Víctor Acosta M.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Enrique Nieto R.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Jorge Neira M.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



El suscrito **Ing. M. Sc. Francisco Mite V.** Docente de la Escuela de Ingeniería en Gestión Ambiental de la Facultad de Ciencias Ambientales de la **UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**, certifica:

Que la egresada **Ligia Elena Hurtado Mora** realizó bajo mi dirección la tesis de grado titulada **“Evaluación de varias enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con Cadmio (Cd) en condiciones de invernadero”**, habiendo cumplido con todas las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. M. Sc. Francisco Mite V.

Director de tesis

AUTORÍA

Los resultados, conclusiones y recomendaciones en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad del autor

LIGIA ELENA HURTADO MORA

AGRADECIMIENTOS

Quiero en estas líneas expresar mi agradecimiento a todas las personas que me apoyaron depositando su confianza en mí para la realización de este trabajo.

Al Ing. Francisco Mite Vivar, Director Técnico del Departamento Nacional de Suelos y Aguas de la EET-Pichilingue, por su valiosa orientación e incomparables conocimientos científicos durante la realización de la presente investigación.

Al Ing. Luis Albán, por ser fuente continúa de ideas, por su apoyo incondicional y por la paciencia demostrada durante el presente trabajo investigativo.

Al Ing. Jessica Cargua, por la ayuda imperecedera brindada durante todo este tiempo.

De manera muy especial a mis amigos Karina Mora, Daniel Ulloa, Moría Segura, Tatiana Vite y Karen Piguave por estar siempre disponibles y a cada una de las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización del presente trabajo investigativo.

DEDICATORIA

Quiero dar las gracias de manera especial a mis padres
Victoria Mora y Gonzalo Hurtado
por creer en mí sin condiciones y por el esfuerzo brindado para que el día de hoy
sea una realidad la culminación académica.

A mi hermano Eduardo por su constante apoyo y comprensión.

Ligia Elena Hurtado Mora

ÍNDICE

CONTENIDO	PAGINA
1. INTRODUCCION	15
1.1 Justificación	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1. General	17
1.2.2. Específicos	17
1.3 Hipótesis	17
2. REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1 Generalidades sobre el Cadmio	18
2.1.1 Propiedades del Cadmio	19
2.1.2 Origen del Cadmio	19
2.1.3 Cadmio en suelos agrícolas	20
2.1.4 Cadmio en tejido vegetal	21
2.1.5 Efectos del Cadmio sobre las plantas	21
2.1.6 Toxicidad por Cadmio en plantas	22
2.1.7 Estrategias de tolerancia al Cadmio	23
2.1.8 Tecnologías para el tratamiento de suelos con Cadmio	24
2.1.9 Remediación de suelos contaminados por Cadmio	24
2.1.10 Medidas fito-correctivas (procesos biológicos)	24
2.1.11 Plantas híper-cumuladoras	25
2.1.12 Fito-extracción química (procesos químicos)	26
2.1.13 Tratamiento químico	26
2.1.14 Participación de plantas y microorganismos en la recuperación de suelos contaminados con Cadmio	27
2.1.15 Toxicología del Cadmio en plantas	28
2.1.16 En los vegetales	28
2.1.17 En los animales	28
2.1.18 En las personas	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 Ubicación	30
3.2 Materiales	30
3.2.1 Laboratorio	30
3.2.2 Campo	30
3.2.3 Reactivos	31

3.2.4	Soluciones	31
3.3	Manejo de la investigación.....	32
3.3.1	Trabajo de campo	32
3.3.2	Trabajo de invernadero	33
3.3.3	Trabajo de laboratorio	36
3.3.4	Diseño experimental	38
3.3.5	Variables a evaluar en el suelo	38
3.3.6	Variables a evaluar en el tejido	40
4.	RESULTADOS	41
4.1	Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero.	41
4.1.2	Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis para la provincia de Zamora Chinchipe.....	47
4.1.3	Efectos de diferentes niveles de enmiendas sobre la capacidad de absorción μg Cadmio /g del total de materia seca en plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.), variedad INIAP-415.....	53
4.1.4	Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas.....	55
4.2	Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar de suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero	58
4.2.1	Suelo de Santa Elena	58
4.2.2	Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis.....	63
4.2.3	Efectos de diferentes enmiendas sobre la capacidad de absorción de μg Cadmio /g del total de materia seca en plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.), variedad INIAP-415.	70
4.2.4	Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas.....	73
4.3	Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero	76
4.3.1	Suelo de Guayas	76
4.3.2	Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis para la provincia Guayas	82

4.3.3	Efecto de los diferentes niveles de enmiendas sobre la capacidad de absorción μg Cadmio/g del total de materia seca en plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.), variedad INIAP- 415.....	88
4.3.4	Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas.....	89
4.4	Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero.	92
4.4.1	Suelo de la provincia de El Oro.....	92
4.4.2	Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis para la provincia de El Oro.....	98
4.4.3	Efectos de las diferentes enmiendas sobre la capacidad de absorción de μg Cd /g del total de materia seca en las plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i>), variedad - 415 104	
4.4.4	Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas.....	106
4.5	Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar de suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero	109
4.5.1	Suelo de la provincia de Manabí	109
4.5.2	Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis para la provincia Manabí	114
4.5.3	Capacidad de absorción μg Cadmio /g del total de materia seca en plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i>), variedad INIAP-415 sometidas a diferentes enmiendas y concentración de dosis.....	121
4.5.4	Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas.....	123
5.	DISCUSIÓN	127
6.	CONCLUSIONES	130
7.	RECOMENDACIONES	131
8.	RESUMEN	132
9.	SUMARY	134
10.	BIBLIOGRAFÍA	136
11.	ANEXOS	140

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO

PAGINA

Tabla 1. Parámetros edafológicos de las fincas cacaoteras contaminadas en cada una de las provincias en estudio.....	32
Tabla 2. Parámetros climáticos de las fincas cacaoteras contaminadas en cada una de las provincias en estudio.....	33
Tabla 3. Relaciones entre t/ha , gramos.....	34
Tabla 4. ANOVA para fase laboratorio.....	38
Tabla 5. Influencia del Humus 2 en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en la provincia de Zamora Chinchipe.....	45
Tabla 6. Influencia del carbonato de calcio en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en la provincia de Zamora Chinchipe.....	46
Tabla 7 . Influencia del humus 1 en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en suelos de la provincia de Zamora Chinchipe.....	46
Tabla 8. Influencia de las micorrizas en los valores de potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	61
Tabla 9. Influencia del humus 2 en los valores de potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	62
Tabla 10. Influencia del humus 1 en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	80
Tabla 11. Influencia del zeolita 2 en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	81
Tabla 12. Influencia del vinaza 1 en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	96
Tabla 13. Influencia del carbón vegetal en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	97
Tabla 14. Influencia del carbonato de calcio en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	97
Tabla 15. Influencia de las micorrizas en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	112
Tabla 16. Influencia del carbón vegetal en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO).....	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CONTENIDO	PAGINA
Gráfico 1. Diagrama de flujo del proceso de digestión en tejidos.....	36
Gráfico 2. Diagrama de flujo del proceso de digestión de suelo.....	37
Gráfico 3. Efecto de varias dosis de enmiendas sobre las cantidades de Cadmio en suelos contaminados de Zamora Chinchipe.....	42
Gráfico 4. Efecto de las enmiendas y dosis de humus 2 (a), carbonato de calcio (b), humus 1 (c) sobre la concentración de Cadmio en el suelo de Zamora Chinchipe.....	44
Gráfico 5. Influencia de diferentes niveles de enmiendas sobre la absorción de Cadmio por parte aérea de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas y dosis al suelo.....	48
Gráfico 6. Relación entre las cantidades de Cd en el suelo & la cantidad de μg Cd/absorbidos por la parte aérea de las plantas con la aplicación de dolomita (a) y carbonato de calcio (b).....	49
Gráfico 7. Respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes dosis y enmiendas.....	51
Gráfico 8. La relación entre la concentración de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd en la parte radicular e las plantas con la aplicación de dolomita.....	52
Gráfico 9. Valores promedios μg Cd absorbido/ g de materia seca como consecuencia de a la aplicación de distintas enmiendas y dosis.....	54
Gráfico 10. Respuesta de la absorción de Cadmio por parte de las plantas sometidas a diferentes dosis y enmiendas aplicadas al suelo.....	56
Gráfico 11. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido por las plantas cuando se aplicó dolomita (a), carbonato de calcio (b).....	57
Gráfico 12. Efectos de las enmiendas y dosis al aplicar a los suelos de la provincia de Santa Elena.....	59
Gráfico 13. Efectos de la aplicación de diferentes dosis de micorrizas (a), humus 2(b), sobre la concentración de Cadmio en el suelo de Santa Elena.....	60
Gráfico 14. Respuesta de la absorción de Cadmio en la parte aérea sometida a diferentes enmiendas y dosis en Santa Elena	64
Gráfico 15. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido por las parte aérea cuando se aplicó carbonato de magnesio (a), zeolita 1(b) y Humus 2(c)	66
Gráfico 16. Respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometida a diferentes enmiendas y dosis.....	68
Gráfico 17. Relación entre las cantidades de Cd en el suelo & la cantidad de μg Cd/absorbidos	

por la parte aérea de las plantas con la aplicación de zeolita 1 (a), humus 1 (b) y humus 2(c) ...	70
Gráfico 18. Capacidad de absorción μg Cadmio /g del total de materia seca en plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.), variedad INIAP-415 sometidas a diferentes enmiendas y dosis.....	72
Gráfico 19. Respuesta de la absorción de Cadmio en las plantas sometida a diferentes enmiendas y dosis.....	74
Gráfico 20. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó carbonato de magnesio (a) ,zeolita 1 (b) y humus 1 (c).....	76
Gráfico 21. Efecto de las enmiendas y dosis en el suelo contaminando con Cadmio para la finca de la provincia del Guayas.....	78
Gráfico 22. Efecto de enmiendas y dosis de humus 1 (a) y zeolita (b) sobre la concentración de Cadmio en el suelo de Guayas.....	79
Gráfico 23. Respuesta de la absorción de Cadmio de la parte aérea de las plantas de arroz sometidas a diferentes enmiendas y dosis.....	83
Gráfico 24. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la parte aérea de las plantas cuando se aplicó humus 1 (a) y vinaza (b)	84
Gráfico 25. Se muestra la respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo de la provincia del Guayas.....	86
Gráfico 26. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó humus 1(a) y humus 1(b).....	87
Gráfico 27. Valores promedios μg Cd absorbido/ g del total de materia seca como consecuencia de a la aplicación de distintas enmiendas y dosis en el suelo de la provincia del Guayas.....	89
Gráfico 28. Respuesta de la absorción de Cadmio en las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo en la provincia de Guayas.....	91
Gráfico 29. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido por la planta cuando se aplicó humus 1 (a) y humus 1(b).....	92
Gráfico 30. Efecto de varias dosis de enmiendas sobre las cantidades de Cadmio en suelos contaminados del Oro.....	94
Gráfico 31. Efecto de las enmiendas y dosis de vinaza (a), carbón vegetal (b), sobre la concentración de Cadmio en el suelo de El Oro.....	96
Gráfico 32. Respuesta de la parte aérea de la planta sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la finca dedicada al cultivo de cacao en la provincia de El Oro.....	100
Gráfico 33. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó dolomita (a) carbonato de calcio (b).....	101
Gráfico 34. Respuesta de la parte radical de la planta sometida a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio la provincia de El Oro.....	103
Gráfico 35. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio	

absorbido por las plantas cuando se aplicó carbonato de magnesio (a), dolomita(b), carbonato de calcio(c).....	105
Gráfico 36. Respuesta los μg Cd absorbido / g del total de materia seca de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio.....	107
Gráfico 37. Respuesta las de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la provincia de El Oro.....	109
Gráfico 38. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó dolomita (a), carbonato de calcio (b), carbonato de magnesio (c).....	110
Gráfico 39. Influencia de los a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la provincia de Manabí	112
Gráfico 40. Efecto de las enmiendas y dosis de micorrizas (a), vinaza (b), sobre la concentración del Cadmio en el suelo de Manabí.....	113
Gráfico 41. Influencia de la parte aérea de las plantas de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la provincia de Manabí.....	117
Gráfico 42. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido en la parte aérea cuando se aplicó carbonato de calcio (a), carbonato de magnesio (b), dolomita (c).....	119
Gráfico 43. Influencia de la parte radical de las plantas de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en Manabí.....	121
Gráfico 44. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido en al parte radical cuando se micorrizas (a), zeolita 2 (b).....	122
Gráfico 45. Capacidad de absorción μg Cadmio /g de materia seca en plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.), variedad INIAP-415 sometidas a diferentes enmiendas y concentración de dosis.....	124
Gráfico 46. Respuestas de la absorción de Cadmio en las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la provincia de Manabí.....	126
Gráfico 47. La relación entre la concentraciones de Cd en suelo vs la cantidad de Cd absorbido por la planta cuando se aplicó carbonato magnesio (a), carbonato d calcio (b) , dolomita (c)..	128

(DUBLIN CORE) ESQUEMA DE CODIFICACIÓN			
1.	Titulo / Title	M	Evaluación de varias enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con Cadmio (Cd) en condiciones de invernadero
2.	Creador / Creador	M	Hurtado, L.; Universidad Técnica Estatal de Quevedo
3.	Materia / Subject	M	Ciencia Ambientales; Recuperación de suelos contaminados
4.	Descripción / Description	M	El presente estudio se realizó en invernadero y laboratorio de análisis de metales pesados del Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas (DNMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria (INIAP). Por lo que se planteó como objetivos evaluar diferentes enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con Cadmio (Cd) en condiciones de invernadero. Determinar la mejor dosis y enmienda para la recuperación de suelos degradados por la presencia de Cadmio. Determinar la capacidad de absorción de Cadmio por la planta de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) variedad INIAP -415. Se llegó a la conclusión que con la utilización de la dosis de 1 t /ha de las enmiendas los suelos contaminados de las cinco provincias obtuvieron valores de Cadmio más bajos que el testigo. Además la materia orgánica y el pH contribuye a la retención y movilidad del Cadmio en estos suelos. De la misma manera la aplicación de enmiendas permite la recuperación de los suelos degradados por la presencia de Cadmio siendo así que el carbonato de calcio, humus (1 y 2), la vinaza y micorrizas lograron precipitar mayores cantidades de Cadmio en el suelo.

			Las enmiendas carbonato de calcio, carbonato de magnesio, dolomita y humus (1 y 2) afectaron la absorción de Cadmio en plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) variedad INIAP-415, tanto en la parte aérea como radicular. Estas enmiendas afectaron significativamente la acumulación total de Cadmio en la planta, excepto el humus 1. Las enmiendas dolomita, carbonato de magnesio, humus 2 y carbonato de calcio afectaron la capacidad de absorción de cadmio en peso seco de biomasa acumulada.
5.	Editor / Publisher	M	FACAMB; Carrera Gestión Ambiental; Hurtado L.
6.	Colaborador / Contributor	O	Ing. Francisco Mite, INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria) - Departamento Nacional de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue.
7.	Fecha / Date	M	01-10-2012
8.	Tipo / Type	M	Tesis de Grado; Artículo
9.	Formato / Format	R	.doc Ms Word 10; pdf
10.	Identificador / Identifier		http://biblioteca.uteq.edu.ec
11.	Fuente / Source	O	Investigación Ambiental. Evaluación de varias enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con Cadmio (Cd) en condiciones de invernadero; (2012)
12.	Lenguaje / language	M	Español
13.	Relación / Relation	O	Ninguna
14.	Cobertura / Coverage	O	Localización a Nivel Nacional
15.	Derechos / Rights	M	Ligia Hurtado ; INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria)
16.	Audiencia /	O	Tesis de pregrado / Bachelor Thesis

	Audience		
--	----------	--	--

1. INTRODUCCION

El cultivo de cacao es muy importante en el Ecuador. Según los datos del último Censo Agropecuario realizado en el año 2000, existen 243.059,00 ha, como cultivo solo y 190.919,00 ha de cultivo asociado. En la provincia de los Ríos el cultivo de cacao abarcaría el 24,1%; en Guayas el 21,08% y Manabí el 21,63%, (SICA, 2007).

Las provincias de Esmeraldas y El Oro participan con el 10,09 % y 7,92 %, respectivamente; la diferencia se encuentra en el resto de provincias del Callejón Interandino y la Amazonía. En lo referente al cultivo asociado, alrededor del 80 % se encuentra ubicado en el Litoral Ecuatoriano y 20 % en el resto de provincias (SICA, 2007).

Algunos suelos dedicados a este cultivo en el país se ven afectados por la contaminación de elementos nocivos como el Cadmio (Cd). Estudios realizados por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2009), indica que suelos cacaoteros colectados en la provincia de Manabí presentaron altos contenidos de Cadmio (2,37 ppm) en la primera capa de suelo; es decir, en los primeros 5 cm.

Estos valores disminuyen a manera que se profundiza manteniéndose la premisa de una contaminación antropogénica. En los siguientes 10 cm, se presentaron contenidos de 2,33 ppm de Cadmio. Valores superiores a 2 ppm son considerados como críticos en suelos agrícolas (Mite *et al.*, 2010).

En la provincia de El Oro y Guayas los valores reportados en suelos fueron de 2,53 ppm y 1,50 ppm de Cadmio, respectivamente. Por otro lado, en la provincia de Santa Elena se encontró un valor de 1,65 ppm, el mismo que no superó el nivel crítico de 2 ppm (INIAP, 2009).

Para la provincia de Zamora Chinchipe los suelos presentaron valores de 1,24 ppm de Cadmio en los primeros 5 cm de profundidad. Sin embargo, este valor está por debajo de lo permitido a pesar de que en esta provincia existen pozos petroleros activos y minas que emanan residuos tóxicos a la atmósfera (INIAP, 2009).

Por lo mencionado anteriormente, se vio la necesidad de desarrollar alternativas de solución para descontaminar los suelos con alto contenido de Cadmio. Entre las alternativas se considera que la remediación química, la bio-remediación y la fito-remediación, solos o combinadas podrían ayudar a mejorar la calidad de estos suelos.

1.1 Justificación

Las exportaciones de cacao desde Ecuador hacia los mercados internacionales se ven amenazadas por la contaminación que genera el Cadmio en las almendras de cacao exportable.

La polución por metales pesados originadas por fuentes naturales antropogénicas no sólo existe en Ecuador si no en todo el mundo. El Cadmio es uno de los elementos traza más nocivos que encontrándose en el suelo, suele ser absorbido por las plantas y almacenado en los frutos. Además, no se le conoce función fisiológica benéfica alguna y en niveles elevados, puede causar daño a los mamíferos terrestres e incluso a las personas.

En Ecuador se han encontrado contenidos altos de este metal en los primeros 5 cm de suelo. Por esta razón, surge la necesidad de buscar y aplicar medidas fito-correctivas así como técnicas de bio-remediación y remediación química elevando a proyecto la utilización de enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con Cadmio, a través de pruebas biológicas en condiciones de invernadero.

1.2 Objetivos

1.2.1. General

Evaluar diferentes enmiendas para la recuperación de suelos cacaoteros contaminados con Cadmio (Cd) en condiciones de invernadero en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (INIAP)

1.2.2. Específicos

Determinar la mejor dosis y enmienda para la recuperación de suelos degradados por la presencia de Cadmio.

Determinar la capacidad de absorción de Cadmio por la planta de arroz (*Oryza sativa L.*), variedad INIAP- 415

1.3 Hipótesis

H₀ La aplicación de enmiendas con distintas dosis no permite la recuperación de suelos degradados por la presencia de Cadmio.

H₀ La aplicación de enmiendas con distintas dosis permite la recuperación de suelos degradados por la presencia de Cadmio.

H₁ Las plantas de arroz (*Oryza sativa L.*), variedad INIAP- 415 no tienen la capacidad de acumular altos contenidos de Cadmio en suelos enmendados.

H₁ Las plantas de arroz (*Oryza sativa L.*), variedad INIAP- 415 tienen la capacidad de acumular altos contenidos de Cadmio en suelos enmendados

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre el Cadmio

Uno de los mayores agentes tóxicos asociados a la contaminación ambiental e industrial es el Cadmio, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

Los efectos adversos para el hombre y el medio ambiente

La bio-acumulación

Su persistencia en el ambiente

El que viaja a grandes distancias con el viento y el agua

Por afinidad química se lo encuentra con el zinc, el tiempo de permanencia de Cadmio en los suelos es de 300 años y el 90% permanece sin transformarse en suelos agrícolas. Este elemento llega por deposición aérea en un 41 %, con los fertilizantes fosfatados el 54%, y; por aplicación de abono de estiércol el 5% (Ramírez, 2002).

Stephen, Macnaught y Bosecker, citados por Sepúlveda *et al.* (2005), indican que los metales pesados como el Cadmio no pueden descomponerse por vía biológica, física, ni química, de manera que la remediación de sitios contaminados con metales o metaloides se limita a la alteración de su solubilidad, movilidad y/o toxicidad, básicamente a través de cambios en su estado de valencia.

Pérez *et al.* (2001), mencionan que el Cadmio es causante de los efectos tóxicos agresivos en el mundo vegetal y en los herbívoros, mientras que en los carnívoros aún se está investigando. En el año de 1965, en Japón según la comunicación del Ministerio de Sanidad y Asistencia Pública se llegó a producir más de 100 muertes. La causa está relacionada con la ingestión masiva de Cadmio, bien a través de cadenas alimentarias (arroz cultivado en aguas contaminadas) como

consecuencia también se presentó a la enfermedad Itay-Itay causada específicamente por el Cadmio.

2.1.1 Propiedades del Cadmio

Sarabia (2002), señala que el Cadmio es un metal que no se encuentra libre en la naturaleza y sólo existe un mineral que lo contiene en cantidad apreciable, la greenckonita o sulfuro de Cadmio (CdS). Es un elemento divalente, con un peso atómico de 48, masa atómica de 112,41 punto de fusión 320,9 °C y punto de ebullición 767 °C.

Por su parte, Saldívar (2006), indica que el Cadmio por ser un elemento maleable y resistente a la corrosión, emite vapores que son 3,88 veces más pesados que el aire con una presión relativamente alta, por lo que pasa fácilmente al estado de vapor, en este estado se oxida produciendo el óxido de Cadmio (CdO) que permanece en el aire.

Dickinson, citado por Carrera (1994), indica que el Cadmio es un metal electropositivo con bajo punto de fusión, dúctil, de color blanco argentino con ligeramente azulado, más blando que el zinc y produce un crujido muy fuerte cuando se le dobla parecido al del estaño, se alea fácilmente con otros metales, su compuesto más común es el sulfuro de Cadmio.

Alloway citado por Rodríguez – Ortiz *et al.* (2009), señalan que cuando los suelos contienen cantidades excesivas de Cadmio pueden formar fosfatos, que es un material altamente insoluble. Bowen citado por el mismo autor indica que los problemas por contaminación de Cadmio en el suelo llegan a ser serios si se toma en cuenta el tiempo de permanencia en suelos de clima templado que es de 75 a 380 años.

2.1.2 Origen del Cadmio

Roberts (1996), manifiesta que el Cadmio se encuentra en la corteza terrestre en cantidades de 0,1 a 0,2 ppm. Además, en la naturaleza se encuentra en

combinación con otros elementos, esto normalmente ocurre con el zinc pero también se localiza en niveles bajos con el cobre y en sedimentos de roca.

U.S.E.P.A. citado por Sarabia (2002), indica que el Cadmio procede, principalmente de fuentes naturales debido a la actividad volcánica, lixiviación de rocas e incendios forestales, las fuentes antropogénica de Cadmio varían desde productos de la extracción de zinc, combustión de carbón, escoria de las minas, material catódico de baterías, producción de hierro y acero, fertilizantes y pesticidas.

2.1.3 Cadmio en suelos agrícolas

El suelo hace un papel receptor y amortiguador de la contaminación esto hace que muchos suelos del mundo se encuentren en un nivel muy avanzado de degradación especialmente por contaminación química, disminuyendo su capacidad actual y potencial para diferentes usos convirtiéndose en un impacto negativo que se produce en las actividades que regulan la vida del suelo por efectos químicos, por ejemplo la acidificación y toxicidad por metales pesados (Leiva, 2009).

Reddy y Perkins, citados por Estévez (2000), manifiestan que las propiedades y componentes de los suelos juegan un papel importante en la dinámica de los metales pesados así como también el contenido de arcilla coloidal, materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico.

Estudios realizados por Sánchez - Camazano citados por Carrera (1994), manifiestan que el Cadmio se encuentra presente en el suelo de fincas cacaoteras en la provincia de El Oro y Guayas. Además se encontraron almendras de cacao con cantidades mayores a 1 ppm. Así mismo, Carrillo (2003), observó en suelos del Litoral Ecuatoriano cantidades de Cadmio en forma total y biodisponible mayores a las permitidas por el codex alimentarius.

INIAP (2009), reportó presencia de Cadmio en zonas cacoteras en cantidades que variaron de 1,24 a 2,37 ppm, las cuales son consideradas tóxicas para los suelos en diferentes provincias como El Oro, Guayas, Zamora Chinchipe, Santa Elena y Manabí.

2.1.4 Cadmio en tejido vegetal

Roucoux y Dabin, citados por Carrillo (1996), mencionan que el Cadmio es considerado como un elemento tóxico para las plantas y la causa principal para esta toxicidad es la obstaculización de la actividad enzimática.

INIAP (2009), reportó que las concentraciones máximas encontradas en las almendras, se tiene que en seis provincias de Ecuador, las muestras han sobrepasado los 2,0 ppm de Cadmio, indicando que hay fincas ya que tienen cacao con índices de contaminación elevados con un valor de 4,08 ppm de Cadmio en la almendra, que es el más elevado encontrado en una de estas fincas

Chan y Hale citado por Rodríguez – Serrano *et al.* (2008), indican que en la planta, el Cadmio se acumula preferentemente en la raíz y es secuestrado en la vacuola de las células, y sólo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente en raíces, tallos, hojas, frutos y semillas.

2.1.5 Efectos del Cadmio sobre las plantas

Pernía *et al.* (2008), mencionan lo citado por algunos autores en lo concerniente a las principales sintomatologías provocadas en las plantas por la presencia del Cadmio:

- Reducción en el crecimiento y elongación de las raíces
- Inhibición de la apertura estomática
- Inhibición de la fotosíntesis

- Disminución en el contenido de carotinoides
- Disminución en la tasa de transpiración
- Inhibición de la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico
- Aumento en los niveles de peroxidación lipídica
- Estrés exudativo y enzimas antioxidantes
- Inhibición de la fosforilación oxidativa mitocondrial
- Interferencia con la toma, transporte y uso de varios macro y micronutrientes, especialmente: Fe, Mn y Zn
- Aceleración de la senescencia celular
- Reacciones semejantes a hipersensibilidad
- Reducción del intercambio normal de H^+/K^+ y la actividad de la ATPasa de membrana plasmática
- Disturbio en el control Redox y el metabolismo
- Polimorfismos en el ADN

2.1.6 Toxicidad por Cadmio en plantas

Rodríguez - Serrano *et al.* (2008), indican que el Cadmio provoca desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta. Gouia *et al.*, citados por el mismo autor señalan que el Cadmio también reduce la absorción de nitratos y el transporte de los mismos en el xilema y floema.

Sandalio *et al.* Citado por Rodríguez - Serrano *et al.* (2008), Manifiestan que las plantas expuestas a suelos contaminados con Cadmio presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración. El mismo autor cita a Benavides *et al.* los cuales mencionan que uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por Cadmio es la clorosis producida por una deficiencia en hierro, por la reducción del transporte de magnesio.

Saberbeck citado por Carrillo (1996), señala que el Cadmio es mucho más tóxico para el reino animal que para el vegetal. Los niveles alrededor de 0,5 ppm de Cadmio no son todavía tóxicos para las plantas y más bien son considerados críticos cuando son usados como nutrientes o forraje. Miles *et al.* citado por este

mismo autor mencionan que el Cadmio es un problema preocupante debido a su toxicidad en las plantas siendo absorbido, acumulado e introducido rápidamente a la cadena alimenticia. Además, Paúl y Foresta (1981), indican que el Cadmio en las plantas por ser toxico provoca la obstaculización de la actividad enzimática.

En estudios realizados por INIAP (2009), se demostró que en zonas cacaoteras del país como la provincia de El Oro, se encontraron valores de 3,90ppm y 4,08 ppm de Cadmio en hoja y en almendras. En Guayas se reportaron valores de 9,66 ppm en hojas y 3,57 ppm en almendras, para la provincia de Santa Elena los valores fueron 2,81 ppm y 1,49 ppm en hojas y almendras respectivamente, en la provincia de Zamora Chinchipe se encontraron valores de 8,61ppm en hojas y almendras de cacao 2,13 ppm.

2.1.7 Estrategias de tolerancia al Cadmio

Rodríguez- Serrano *et al.* (2008), exponen que las plantas han desarrollado distintas estrategias para evitar la toxicidad de metales pesados. La tolerancia a metales viene determinada por la reducción del transporte del mismo al interior de la célula y/o una mayor capacidad para secuestrar estos metales.

Rodríguez - Serrano *et al.*, (2008), también manifiestan que la raíz constituye una de las principales barreras de defensa mediante la inmovilización del Cadmio por pectinas de la pared celular. Los carbohidratos extracelulares (mucílago y calosa) de la raíz también pueden intervenir en la inmovilización del metal (Benavides *et al.* 2005). La acumulación del metal en los tricomas de la superficie foliar también es un mecanismo de inmovilización y defensa celular (Salt *et al.* 1995).

Kabata - Pendias y Pendias citado por Ortiz - Cano (2009), reportan efectos de sinergismo entre Cadmio y zinc en la zona adyacente a las raíces y posibles sinergismos o antagonismos en la planta, este mismo autor manifiesta lo citado por Haghiri, y EPA, 1995; los cuales indican que al parecer cuando en el suelo

predominan altas cantidades de zinc con respecto al Cadmio, se inhibe la absorción de este último.

2.1.8 Tecnologías para el tratamiento de suelos con Cadmio

Según Velasco *et al.* (2004), la remediación de sitios contaminados con metales pesados, puede realizarse a través de métodos físico-químicos y biológicos. Sin embargo, la efectividad de un método de remediación para un sitio contaminado con compuestos inorgánicos, depende del conocimiento de los factores hidrológicos y geológicos del sitio, de la solubilidad y especiación de los metales, de los procesos de atenuación e inmovilización y de la medida en que estos puedan migrar en el suelo.

2.1.9 Remediación de suelos contaminados por Cadmio

Prieto *et al.* (2009), mencionan que es importante determinar el nivel de riesgo ambiental de los metales pesados sobre diversos representantes del ecosistema terrestre utilizando bioensayos eco-toxicológicos. La fito-remediación aplicada a suelos contaminados con elementos o compuestos inorgánicos, incluye básicamente, tres mecanismos; la fito-extracción, fito-acumulación, fito-estabilización y fito-volatilización (Singh *et al.*, 2003; Prasad y Freitas, 2003).

2.1.10 Medidas fito-correctivas (procesos biológicos)

Leiva (2009), menciona que las medidas fito-correctivas consisten en el uso de plantas para limpiar o corregir emplazamientos contaminados en estos casos se utilizan las técnicas de fito-extracción y rizo-filtración.

Ortiz - Cano *et al.* (2009), sugieren que como los metales no se degradan, pueden acumularse en el ecosistema a través del tiempo provocando concentraciones elevadas, que causen efectos adversos en la mayoría de los organismos, por ello se han desarrollado técnicas para remediar los suelos contaminados de metales pesados.

Sepúlveda *et al.* (2005), manifiestan que en la fito-extracción, la biodisponibilidad del contaminante hacia las raíces puede facilitarse a través de la adición de agentes acidificantes de fertilizantes o quelantes. Con este principio, existen dos estrategias básicas (Salt *et al.* 1998).

Fito-extracción asistida por quelantes.-La adición de estos agentes favorece a la solubilidad y acumulación de metales en partes cultivables de una planta.

Fito-extracción continúa de largo plazo.- La cual se basa en procesos fisiológicos especializados que permiten la acumulación de metales durante todo el ciclo de crecimiento.

Chane y Halle citados por Ortiz-Cano *et al.* (2009), manifiestan que la fito-remediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de especies de plantas que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales.

2.1.11 Plantas híper-cumuladoras

Rodríguez *et al.* (2008), manifiestan que las plantas híper-acumuladoras son en muchos de los casos, endémicas de suelos ricos en metales pesados. Además, el contenido de Cadmio de estas plantas es aproximadamente 100 veces superior al de las plantas no acumuladoras cultivadas en las mismas condiciones. Así mismo, este autor cita lo mencionado por Shah y Nongrkyrich los mismos que indican que los mecanismos responsables de la híper-acumulación pueden variar dependiendo de la especie.

González *et al.* (2005), plantean que las plantas híper- acumuladoras son capaces de acumular excesivas cantidades de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) en su follaje (> 1% del peso seco de la planta). Este mecanismo implica alta tolerancia específica a metales pesados, los cuales están presentes en el suelo

en concentraciones que normalmente podrían considerarse fito-tóxicas (Baker y Brooks, 1989).

2.1.12 Fito-extracción química (procesos químicos)

Sepúlveda *et al.* (2004), Establecen que a diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales no pueden descomponerse por vía biológica, física ni química, de manera que la remediación de sitios contaminados con metales o metaloides se limita a la alteración de su solubilidad, movilidad y/o toxicidad, básicamente a través de cambios en su estado de valencia, favoreciendo su inmovilización (quelación) y/o movilización (disolución).

2.1.13 Tratamiento químico

Según Sepúlveda *et al.* (2004), el tratamiento químico, también conocido como óxido-reducción química, la cual implica una serie de reacciones de óxido-reducción (redox), las cuales transforman los elementos potencialmente tóxicos en compuestos o elementos no peligrosos o menos riesgosos, reduciendo su toxicidad o su solubilidad y/o aumentando su estabilidad química. Cuando se requiere tratar contaminación por metales y/o metaloides, se busca cambiar el estado de valencia, ya que de este depende la capacidad del metal para reaccionar con otros contaminantes o compuestos presentes en el suelo y por consiguiente, su precipitación.

González *et al.* (2005), plantean que los tratamientos químicos incluyen la adición de fosfatos, sustancias altamente adsorbentes (zeolitas, aminosilicatos, etc), encalado y agentes quelatantes, estas alternativas tienen limitaciones económicas y de riesgo.

La vinaza actúa como agente complejante construyendo enlaces en forma de quelatos, proceso que depende directamente de la disponibilidad en estructuras carboxilo y carboxilatos (al menos en un entorno no sintético) y de grupos funcionales capaces de capturar cationes sin necesidad de un gran aporte de energía (Irisarri, 2005).

2.1.14 Participación de plantas y microorganismos en la recuperación de suelos contaminados con Cadmio

Puschenreiter *et al.* (2001), coinciden con Ortiz-Cano *et al.* (2009), porque es preciso seleccionar la especie adecuada, con el fin de mejorar la absorción de metales pesados de la rizosfera. Este mismo autor manifiesta lo citado por Mahony y Baum *et al.* en que la incorporación de micorrizas permitió que las plantas de quelite absorbieran o metabolizaran el Cadmio.

Ortiz - Cano *et al.* (2009), manifiestan que las micorrizas afectaron positivamente la transferencia de Cadmio del suelo a las plantas de quelite, conforme se incrementó la adición de 0 a 5 ppm de suelo ligeramente básico de textura franca. La *A. hybridus* L. conocido con el nombre vulgar de bleo, tiene la capacidad de concentrar en sus tejidos Cadmio y plomo al crecer conforme aumenta la edad de planta y las micorrizas al hacer simbiosis causa una correlación positiva.

Rivas *et al.* citado por Monge – Amaya *et al.* (2008), explica donde se han detectado bacterias de ambientes mineros, como las del género *Pseudomonas*, que presentan resistencia a metales pesados como Cadmio, cobre y plomo. Asimismo, algunas especies de microalgas marinas son útiles para la biosorción de Cadmio (Basso *et al.* 2002).

Prieto *et al.* (2009). cita Calow en donde señala la potencialidad del uso de cebolla (*Allium cepa* L., Liliaceae), betarraga (*Beta vulgaris* L., Chenopodiaceae), arroz (*Oriza sativa* L., Poaceae) y rabanito (*Raphanussativus* L., Brassicaceae) para evaluar la toxicidad y el riesgo de sustancias químicas peligrosas en el ambiente.

Lora *et al.* (2010) indican que para remediar suelos contaminados con Cadmio se puede utilizar dosis de 6.000 kg/ha de carbonato de calcio (CaCO_3) para disminuir el contenido de Cadmio a niveles no tóxico estos autores manifiesta que esto

pudo haberse dado posiblemente, por elevación del pH del suelo y por formación de fosfato de Cadmio de baja solubilidad.

2.1.15 Toxicología del Cadmio en plantas

Diez *et al.* (2002), indican que la colonización vegetal de los suelos ricos en metales depende de la desarrollar mecanismos de tolerancia. Muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo porque restringen su absorción y/o translocación hacia las hojas (estrategia de exclusión); sin embargo, otras los absorben y acumulan activamente en su biomasa aérea (estrategia acumuladora), manifestado por (Baker y Walter, 1990). Además, se han reconocido diferentes grados de acumulación metálica, desde pequeñas elevaciones sobre el nivel de fondo hasta respuestas extremas, en las que el metal llega a exceder el 1% de la materia seca de la planta.

2.1.16 En los vegetales

Pérez *et al.* (2001), indican que el ambiente biótico lo más significativo es la presencia del referido metal en las plantas almacenándose en la parte aérea. En este sentido el trigo y el arroz representan reservorios importantes de Cadmio. Desde el punto de vista de la acción fitopatológica se demuestra que el Cadmio es muy poco activo respecto al tomate y la col. Sin embargo, presenta una enorme sensibilidad la espinaca y la soja, así como el mastuerzo chino, de tal manera que pueden informarnos de los niveles de Cadmio en el suelo.

2.1.17 En los animales

Pérez, *et al.* (2001), Señalan que contenido en Cadmio de las aguas del mar es mucho más bajo que el que acumulan los organismos que viven en la misma (zooplact): moluscos, mariscos y especialmente la jaiba que llega a adquirir niveles de 5-15 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de este metal. Se ha demostrado que el efecto tóxico del Cadmio disminuye la prolijidad de los peces, y; resulta particularmente tóxico para los alevines. La muerte se produce por hipoxia determinada por acúmulos de mucina en las branquias.

2.1.18 En las personas

El Cadmio es un xenobiótico ubicuo y de comprobada toxicidad para el hombre y los ecosistemas. Su alta permanencia en el medio ambiente y sus innumerables usos lo hacen un elemento de toxicidad similar o mayor que la del plomo para el medio ambiente y para el trabajador (Ramírez ,2002).

Pérez *et al.* (2001), mencionan que el Cadmio ofrece singular tendencia a acumularse en los glóbulos rojos, donde se une a proteínas de bajo peso molecular tales como las metalotioneinas, observándose una afinidad especial por el riñón y el hígado. Hay que tener en cuenta que el Cadmio adquiere niveles de permanencia realmente largos ya que en la especie humana se mantiene entre 50 y 60 años.

Al efluente tóxico del Cadmio se refieren a: disminución de la hemoglobina, palidez, alteraciones en la absorción del hierro y disminución notable de este elemento a nivel de médula ósea responsable de las hemopatías. Se le atribuyen también efectos en la: hipertensión, arterioesclerosis, trastornos cardiacos, es posible que determinadas enfermedades renales, cardiovasculares, óseas, malformaciones, raquitismo, osteomalacia (Pérez *et al.*, 2001).

Ramírez, (2002) manifiesta que la exposición laboral podría estar asociada a incremento de riesgo de cáncer de próstata, pulmonar o renal otros síntomas como la pérdida del sentido del olfato (Anosmia), pérdida de peso, decaimiento general, coloración amarilla de los dientes e incremento de frecuencia de caries dental. Además de síntomas gastrointestinales variados, anemia moderada, por alteración en el transporte del Fe (hierro) dentro de las células eritropoyéticas, similar a la producida por el plomo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El trabajo de remediación de suelos se realizó en invernadero y laboratorio de análisis de metales pesados del Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas (DMNSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria (INIAP) ubicado en el km 5 de la vía Quevedo – El Empalme, en el Cantón Quevedo, provincia Los Ríos; sus coordenadas geográficas son 79° 24' 14" de longitud Occidental y 01° 04' 26" de latitud sur, con una altitud de 75 msnm.

3.2 Materiales

3.2.1 Laboratorio

Matraces Erlenmeyer de 75 y 125 cm³

Embudos de vidrio

Matraces aforados 25 y 50 cm³

Pinzas

Papel filtro cualitativo

Placa calentadora

Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer AA-400)

Agitador horizontal

Balanza analítica

Centrífuga

Potenciómetro

3.2.2 Campo

Molino industrial para suelos

Tamiz de 2 mm

Pala y sacos plásticos

Libreta de apuntes
Mascarillas
Fundas plásticas
Vasos plásticos
Carbonato de calcio
Carbonato de magnesio
Dolomita
Zeolita 1
Zeolita 2
Humus 1
Humus 2
Carbón vegetal
Micorrizas
Vinaza

3.2.3 Reactivos

Ácido nítrico
Ácido clorhídrico
Ácido perclórico

3.2.4 Soluciones

Solución patrón de Cadmio
Modificador matriz de Cadmio
Agua destilada y des-ionizada

3.3 Manejo de la investigación

3.3.1 Trabajo de campo

3.3.1.1 Selección de fincas

Basándose en experiencias del Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas, se seleccionaron cinco fincas cacaoteras de las provincias de: El Oro, Manabí, Santa Elena, Zamora Chinchipe y Guayas; las mismas que presentaron altos contenidos de Cadmio, según análisis previos.

Los parámetros edafológicos y climáticos para cada una de las provincias antes mencionadas se observan en las tablas 1 y 2, respectivamente.

Tabla 1. Parámetros edafológicos de las fincas cacaoteras contaminadas en cada una de las provincias en estudio.

Fincas cacaoteras en estudio	Características físicas y químicas de los suelos				
	Potencial hidrogeno (pH)		Materia orgánica (MO)		Cadmio (Cd)
Zamora Chinchipe	5,2	Acido	6,4 %	alto	1,24 ppm
Santa Elena	8,5	Me. Alc	2,6 %	bajo	1,50 ppm
Guayas	8,3	Me. Alc	3,5 %	medio	1,65 ppm
El Oro	6,3	Li. Acd	3,4 %	medio	2,23 ppm
Manabí	7,0	Neutro	5,9 %	alto	2,37 ppm

Fuente: DMNSA Departamento Nacional de Suelos y Aguas del INIAP, 2012

Tabla 2. Parámetros climáticos de las fincas cacaoteras contaminadas en cada una de las provincias en estudio

Fincas cacaoteras en estudio	Parámetros climáticos de las fincas cacaoteras en estudio					
	Humedad %	Temperatura max min		Precipitación mm	Heliofanía horas	Altura msnm
Zamora Chinchipe	87	25	18	2489,8	00	995
Santa Elena	80	26,5	21,2	41	00	30
Guayas	73	30,8	23,3	561,2	544,2	10
El Oro	88	31,3	20,9	790,5	540,3	25
Manabí	78	30,8	21,5	627,7	484,1	103

Fuente: INAMHI Estación Meteorológica de la EET Pichilingue, 2012.

3.3.1.2 Colecta de las muestras de los suelos

A cada una de las cinco fincas contaminadas con Cadmio que se seleccionaron previamente se les realizó un muestreo superficial a una profundidad de 0 a 5 cm de donde se colectó una muestra por sitio proveniente de 10 sub-muestras por cada finca. Estas sub-muestras fueron colocadas en sacos plásticos nuevos y limpios, identificados y llevados al invernadero del Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas del INIAP.

3.3.2 Trabajo de invernadero

3.3.2.1 Manejo de muestras de suelo

Para la realización de este estudio las muestras de suelo fueron secadas a temperatura de invernadero y fue preparada por medio de operaciones sucesivas de desgrumado, homogenizado y cribado hasta obtener el 100% del material con partículas menores a 2mm, mediante la utilización de un molino eléctrico de suelos. Las muestras se colocaron en fundas plásticas transparentes con su respectiva identificación (etiquetadas).

3.3.2.2 Incubación de las muestras de suelos

Este proceso consistió en colocar 1500 g en fundas plásticas transparentes, posteriormente se aplicó las diferentes enmiendas en varias dosis, luego se homogenizó y se adicionó agua destilada hasta obtener una masa homogénea. Estas muestras pasaron un periodo de reposo por 8 días volteándolos cada 12 horas, con lo cual se cumplió con el proceso de simulación de las reacciones químicas, físicas y biológicas que ocurren en el suelo con las enmiendas.

3.3.2.3 Tratamientos

Para este trabajo se utilizó 10 tipos diferentes de enmiendas que funcionaron como tratamientos, se utilizaron 11 dosis expresadas en t/ha por cada enmienda para cada una de las fincas ubicadas en las provincias de Zamora, Santa Elena, Guayas, El Oro, Manabí.

Tabla 3. Tratamientos y dosis que se utilizará para realizar el trabajo de invernadero

Tratamientos	dosis g/maceta										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Carbón vegetal	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Carbonato de calcio	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Dolomita	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Carbonato de magnesio	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Zeolita 1	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Zeolita 2	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Humus nacaro	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Humus UTEQ	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Vinaza (ml)	0	0,4	0,8	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2

Elaborado por Departamento Nacional de Suelos y Aguas del INIAP

3.3.2.4 Siembra de las plantas de arroz

Luego del proceso de incubación, los suelos fueron colocados en macetas y posteriormente se realizó la siembra de la planta indicadores. Para este caso se usaron semillas de arroz (*Oryza sativa L.*) variedad INIAP – 415, las cuales se mantuvieron en condiciones de oscuridad y a temperaturas de 6°C para inhibir su germinación y mantener su fertilidad luego de esto se procedió a dejar por un período de germinación de dos días. En cada maceta se colocaron 100 semillas pre-germinadas de arroz.

3.3.2.5 Mantenimiento de las plantas indicadores

El manejo que se le dio a las plantas durante los 45 días que permanecieron en el invernadero, fue riego con agua destilada con la finalidad de mantener el suelo en capacidad de campo es decir con un 80 a 100 % de humedad.

Después de trasplantar las plantas se realizó la primera fertilización a los 7 días con fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4) (100 ppm de P y 125,8 ppm K) en solución, a los 10 días se le realizó la segunda fertilización con nitrato de amonio NH_4NO_3 (50 ppm de N), la tercera fertilización se la realizó a los 15 días con sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (50 ppm de N y 57 ppm de S) y también con nitrato de amonio NH_4NO_3 (50 ppm de N), la cuarta fertilización se la realizó a los 20 días aplicando nitrato de amonio NH_4NO_3 (100 ppm de N).

3.3.2.6 Colecta de plantas de arroz

Transcurridos los 45 días después del trasplante se procedió a cortar las plantas de arroz y separar la parte aérea de la radical, estas fueron lavadas con agua corriente después se sumergió en una solución HCl 0,2 mol.dm³ luego se pasó por agua destilada y des-ionizada. Las muestras se secaron al ambiente para eliminar el exceso del agua, luego se tomó el peso húmedo y se colocó en la estufa por 72 horas a 70°C. Una vez seca la muestra se tomó el peso seco de cada una de ellas para luego poder calcular el porcentaje de materia seca.

3.3.3 Trabajo de laboratorio

3.3.3.1 Mineralización de tejidos

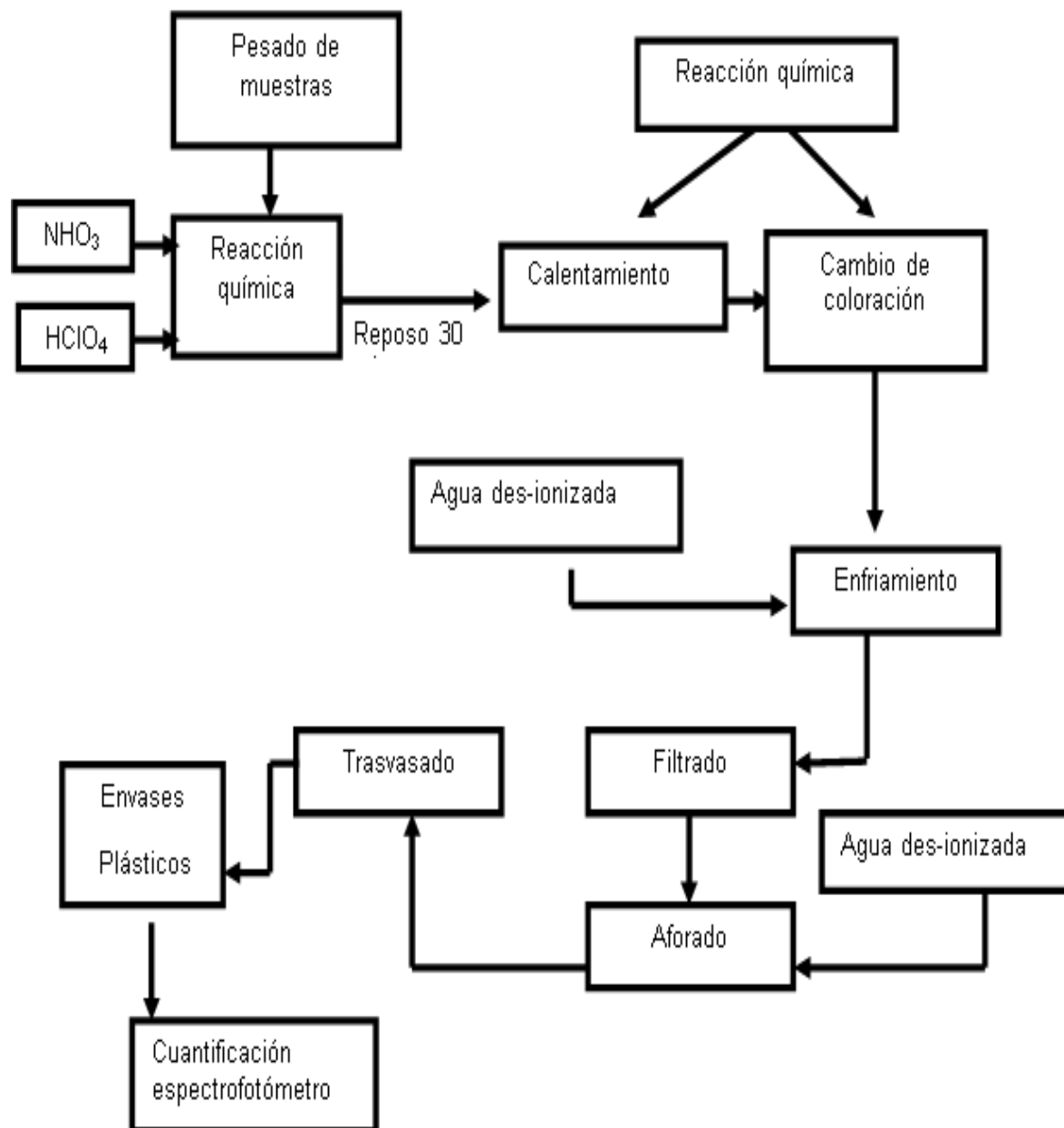


Gráfico 1. Diagrama de flujo del proceso de digestión en tejidos

3.3.3.2 Digestión de suelos

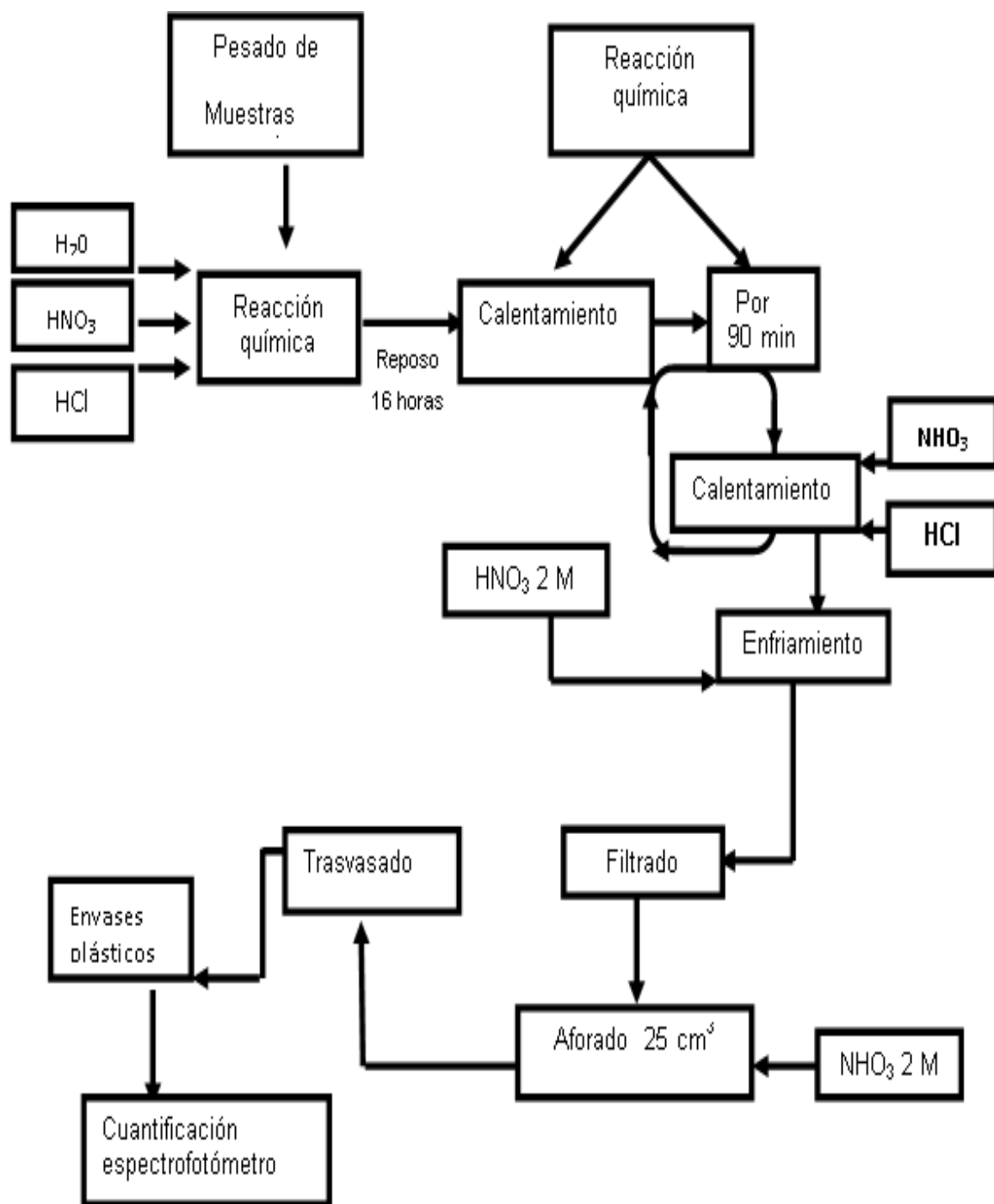


Gráfico 2. Diagrama de flujo del proceso de digestión de suelo

3.3.4 Diseño experimental

El trabajo consistió en 11 tratamientos replicado tres veces, para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones y un arreglo factorial A x B. Se uso la prueba de Tukey al 0,05% de acuerdo a la siguiente tabla 4.

Tabla 4. ANOVA para fase laboratorio

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD
Dosis	D-1
Enmienda	E-1
Dosis*Enmienda	(D-1)*(E-1)
Error	(D*D)*(E-1)-1
Total	(D*E-1)

3.3.5 Variables a evaluar en el suelo

3.3.5.1 Determinación de Cadmio en suelos (digestión con agua regia)

Se colocó aproximadamente 0,5 g de suelo en un matraz erlenmeyer de 125 cm³ agregando 1 cm³ de agua des-ionizada, 1,25 cm³ de ácido nítrico HNO₃ y 3,75 cm³ de ácido clorhídrico fumante HCL se dejó en reposo durante 16 horas después se colocó en una placa calentadora a 110°C, por aproximadamente 120 minutos hasta la que la muestra se secó luego se agregó el ácido nítrico 1,25 y 3,75 cm³ de ácido clorhídrico fumante (HCL) por 90 minutos más hasta que se seco , en el matraz se agregó ácido nítrico 2 M. y ese extracto se filtró en un matraz aforado de 25cm³ y llevado a volumen con agua des-ionizada, la muestra obtenida se almacenó en un recipiente plástico identificado y conservado en refrigeración hasta su cuantificación, la determinación de los contenidos de Cadmio se realizó en el laboratorio , utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca, PerkinElmer AA400 con HGA900 para análisis

electrotérmico. Los resultados que se obtuvieron están expresados en ppm (partes por millón).

3.3.5.2 Determinación de pH (potencial hidrogeno)

El análisis pH se determinó mediante el método utilizado por el laboratorio del Departamento Nacional de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Para este método se utilizó suelo seco y tamizado. Se tomó 20 g de suelo y se mezcló con 50 cm³ de agua destilada (relación 1:2.5) removiendo el contenido en el agitador horizontal durante 5 minutos luego se dejó decantar por treinta minutos, luego se debe remover la muestra para con un pH-metro para proceder con la lectura. Con este método obtenemos la acidez activa o actual del suelo (concentración de brotes existentes en la disolución del suelo).

3.3.5.3 Determinación de materia orgánica

La materia orgánica se determinó por el procedimiento de Walkey & Black, que consiste en obtener la concentración del carbono orgánico, para sacar la relación carbono – nitrógeno con el fin de determinar el grado de formación, la evolución de un suelo y la disponibilidad de nitrógeno para las plantas y microorganismos.

La muestra de suelo para este procedimiento se molió y tamizó a 0,25 mm luego se pesó 0,25 g de suelo, se agregó 5 cm³ de dicromato de potasio 1N y se añadió 10 cm³ de ácido sulfúrico concentrado. Se agitó suavemente por un minuto y se dejó reposar por treinta minutos y se agregó 100 cm³ de agua destilada, 5 cm³ de ácido fosfórico concentrado y 20 a 15 gotas de difenilamina. Después se procedió a titular el exceso de dicromato con la solución de sal de Mohr 0,5 N el viraje de color se hace azul a verde, anotar el volumen consumido.

Cálculos:

$$\%C = \frac{0.39 (V_0 - V)N}{m}$$

$$\%MO = \frac{0,39 (V_0 - V)1,72.1.1.N}{m}$$

3.3.6 Variables a evaluar en el tejido

3.3.6.1 Influencia de enmiendas y dosis en la materia seca de las plantas de arroz

Para este estudio se sembraron plantas de arroz en cada uno de los suelos muestreados se mantuvo durante 45 días. Después de esto se procedió a la cosecha de la planta y estas muestras se colocaron en la estufa a 70 °C por 72 horas, luego se pesó en la balanza lo resultados obtenidos fueron expresados en g/maceta.

3.3.6.2 Influencia de dosis y enmiendas en la Adsorción de Cadmio por las plantas

Se colocó aproximadamente 0,5 g de tejido en un matraz erlenmeyer de 50 cm³ recibiendo enseguida una mezcla nítrica - perclórica relación (4:1), HNO₃ (8 cm³) y HClO₄ (2 cm³), una hora después se colocó en una placa calentadora a 180°C, por aproximadamente 90 minutos hasta la digestión total. La digestión estuvo completa con el aparecimiento del humo blanco y la formación de un liquido incoloro. El extracto se filtró en un matraz aforado de 50 cm³ y llevado a volumen con agua desionizada. La muestra obtenida se almacenó en un recipiente plástico identificado y conservado en refrigeración hasta su cuantificación.

La determinación de los contenidos de Cadmio se realizó en el laboratorio, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca, PerkinElmer AA400 con HGA900 para análisis electrotérmico, los resultados que se obtuvieron están expresados en ppm (partes por millón).

4. RESULTADOS

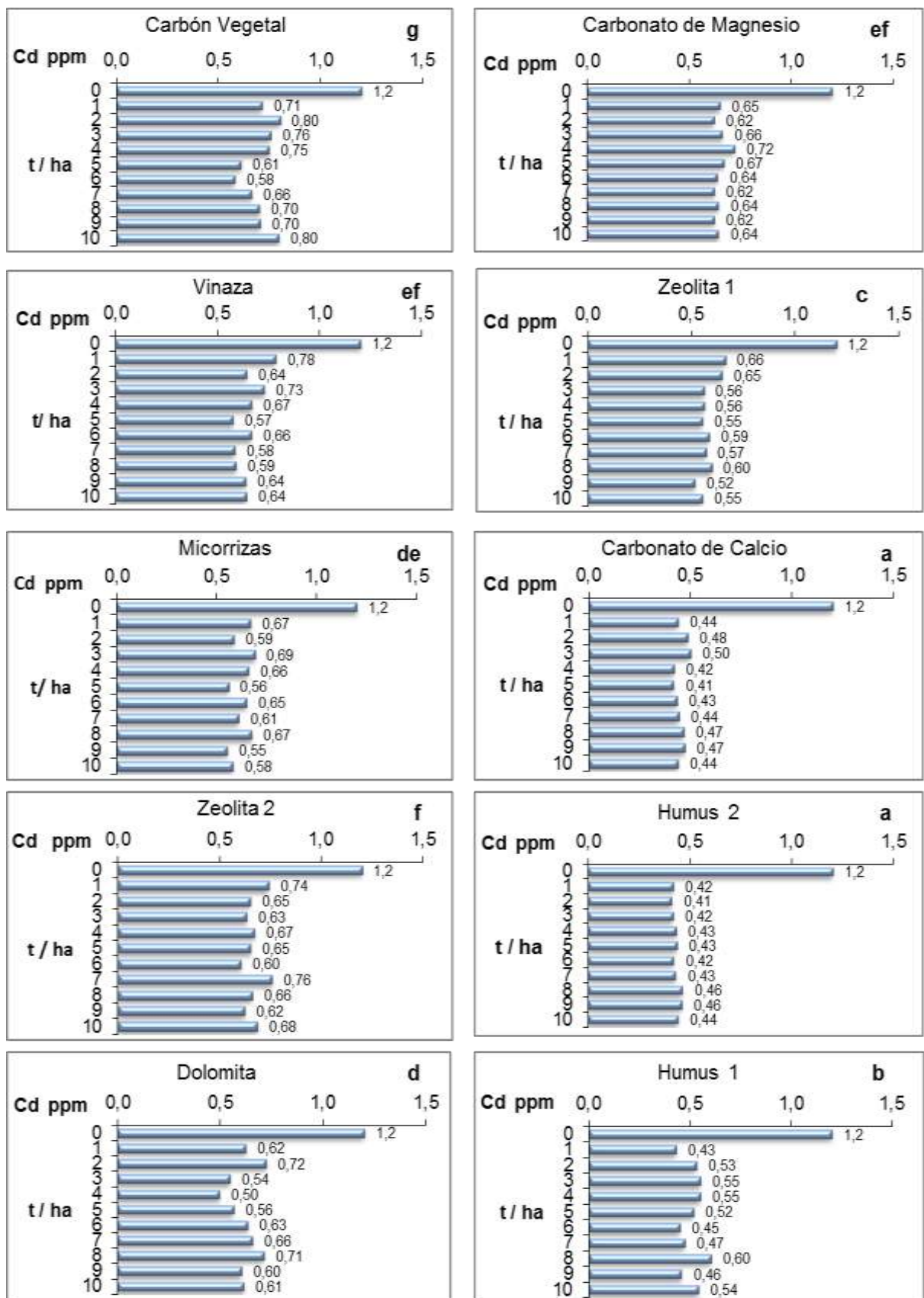
4.1 Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero.

4.1.1.1 Suelos de Zamora Chinchipe

En el Gráfico 3 se presenta los efectos de enmiendas y dosis aplicadas al suelo, sobre las cantidades de Cadmio. Se encontraron diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0.001$) según Tukey. Con el uso de humus 2, los valores de Cadmio se redujeron considerablemente, con la aplicación de las distintas dosis se obtuvieron resultados promedios de 0,41 a 0,46 ppm de Cadmio, valores bajos en relación al testigo que presentó 1,20 ppm. Las dosis que mejor funcionaron fueron las de 1 y 2 t/ha, con las que se alcanzaron valores de 0,42; 0,41 ppm, en su orden.

Similar respuesta se dio con el Carbonato de calcio con la aplicación de las distintas dosis se encontraron valores promedios de 0,41 a 0,50 ppm, los mismos que se encuentran por debajo del testigo. Los mejores resultados fueron con la aplicación de 4 y 5 t/ha con valores de 0,42 y 0,41 ppm, respectivamente.

Con la aplicación de Humus 1, se encontraron valores promedios de 0,43 a 0,60 ppm, los cuales se encuentran por debajo del valor testigo de 1,20 ppm. Los mejores resultados fueron con la aplicación de 1 y 6 t/ha con valores de 0,43 y 0,45 ppm.

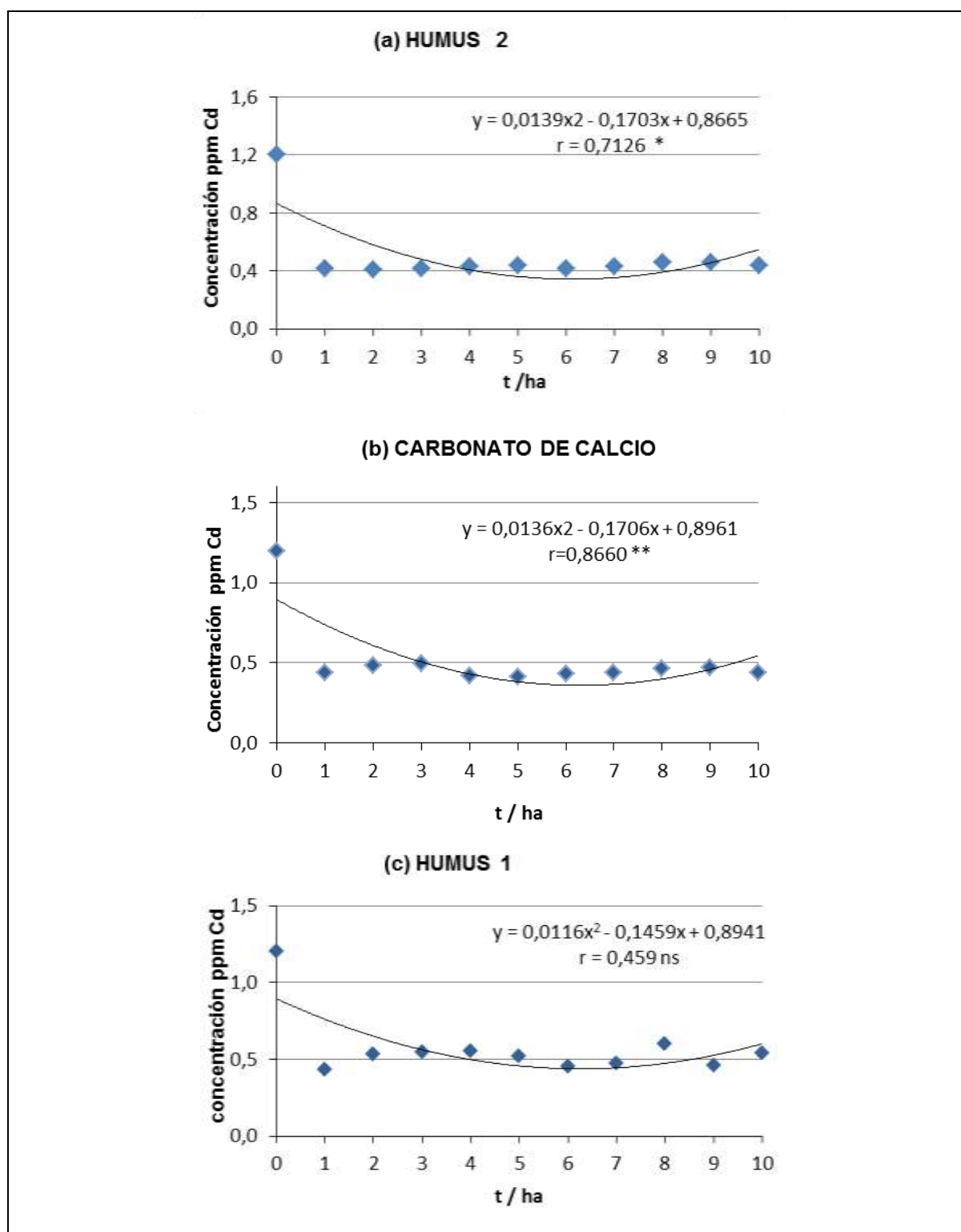


Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 3. Efecto de varias dosis de enmiendas sobre las cantidades de Cadmio en suelos contaminados de Zamora Chinchipe.

En el gráfico 4 se presentan las regresiones entre las cantidades de enmiendas aplicadas y las concentraciones de Cadmio obtenidas. Para el caso de humus 2 se encontraron relaciones significativas al 5 %. Conforme aumenta la dosis de la enmienda el contenido de Cadmio va disminuyendo. Se ve que con la dosis 1 t /ha se logra bajar esta concentración de 1,20 ppm a 0,42 ppm.

También, con el uso de carbonato de calcio se encontraron relaciones altamente significativas al 1%. Al aplicar las distintas dosis de esta enmienda el contenido de Cd empieza a disminuir, encontrándose promedios de 0,41 a 0,46 ppm que están por debajo del valor testigo que fue de 1,20 ppm, presentando las mejores dosis 4 y 5 t/ha con valores de 0,42 y 0,41 ppm, en su orden. En cambio con la aplicación de diferentes dosis humus 1, no se encontraron relaciones significativas.



* Significativo 5 % ** altamente significativo 1% ^{ns} no significativo

Gráfico 4. Efecto de las enmiendas y dosis de humus 2 (a), carbonato de calcio (b), humus 1 (c) sobre la concentración de Cadmio en el suelo de Zamora Chinchipe

4.1.1.2 Influencia de varios niveles de enmiendas sobre las propiedades químicas del suelo

En la tabla 5 se puede observar la Influencia del Humus 2 en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en la finca de la provincia de Zamora Chinchipe, la misma que se caracterizó por presentar una reacción **Acida** ($pH_{H_2O} = 5,5$) y tendió a acidificarse conforme se aumentaron las dosis de humus 2.

La materia orgánica sufre variaciones en su porcentaje debido a que el valor inicial encontrado fue 3,4% considerado **Medio** al aplicar el humus 2 en dosis de 1 a 4 t/ha este porcentaje se redujo 2,0 y 2,8 % considerado **Bajo**. Con la aplicación de 5 a 10 t/ha estos valores llegan a porcentajes de 3,2 a 3,6% considerados **Medios**

Tabla 5. Influencia del Humus 2 en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en la provincia de Zamora Chinchipe

Humus 2	DOSIS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pH (H2O)	5,5	5,3	5,2	5,3	5,3	5,3	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	
MO (%)	3,4	2,0	2,8	2,2	2,8	3,6	3,2	3,2	3,2	3,5	3,6	

En la tabla 6 se visualiza la Influencia del carbonato de calcio en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en la finca de la provincia de Zamora Chinchipe, la misma que se caracterizó por presentar una reacción **Acida** ($pH_{H_2O} = 5,5$), a medida que las dosis de carbonato de calcio se incrementan los valores de pH tienden a ser **neutros**.

También la materia orgánica se ve afectada y tiende a aumentar su contenido en relación al valor inicial de 3,4 % considerado **Media**. Al aplicar 1 y 2 t /ha se puede apreciar porcentajes de 1,9 y 2,9% consideradas **Bajas**. Mientras que las demás dosis se mantuvieron de 3,3 a 3,9 %, las cuales se consideran **Medias**.

Tabla 6. Influencia del carbonato de calcio en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en la provincia de Zamora Chinchipe

Carbonato de calcio	Dosis										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH (H ₂ O)	5,5	5,6	5,8	6,0	6,1	6,3	6,3	6,5	6,5	6,5	6,6
MO (%)	3,4	1,9	2,9	3,3	3,9	3,6	3,7	3,3	3,6	3,9	3,4

En el tabla 7 se visualiza la Influencia del humus 1 en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en la finca de la provincia de Zamora Chinchipe la misma que se caracterizó por presentar una reacción **Acida** (pH_{H2O} =5,5) encontrada inicialmente. Con la aplicación de las diferentes dosis el pH empieza a disminuir hasta llegar a 5,3.

También, la materia orgánica se ve afectada y tiende a disminuir su contenido en relación al valor inicial de 3,9% considerada **Medio**, al aplicar de 1 a 6 t /ha se puede apreciar porcentajes de 3,4 a 3,9 %. Mientras que, a partir de las dosis 7 a 10 t /ha desciende a 3,1 a 3,4% consideradas **Medios**.

Tabla 7 . Influencia del humus 1 en los valores de potencial hidrógeno (pH) y materia orgánica (MO) en suelos de la provincia de Zamora Chinchipe.

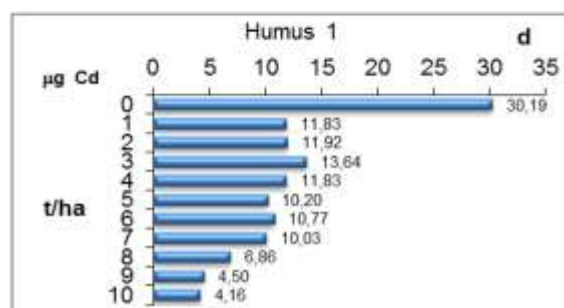
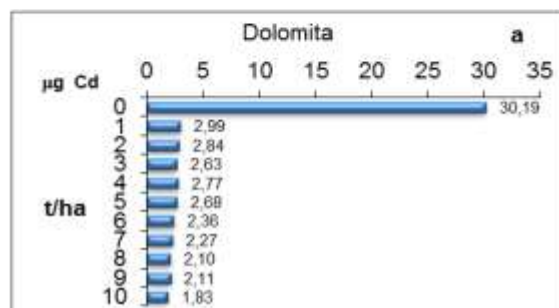
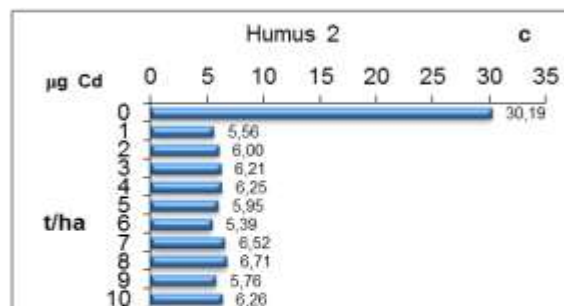
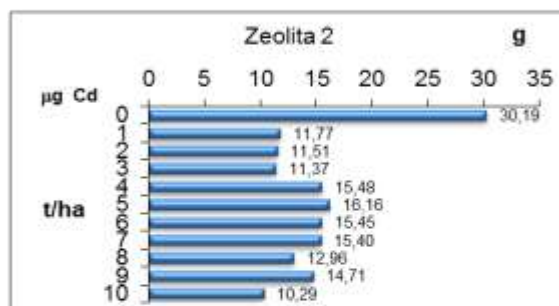
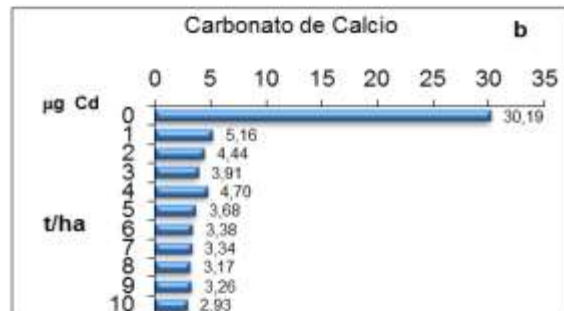
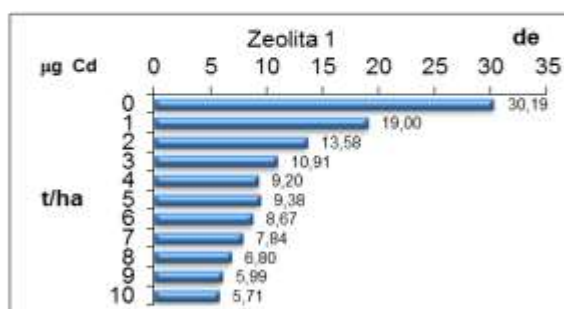
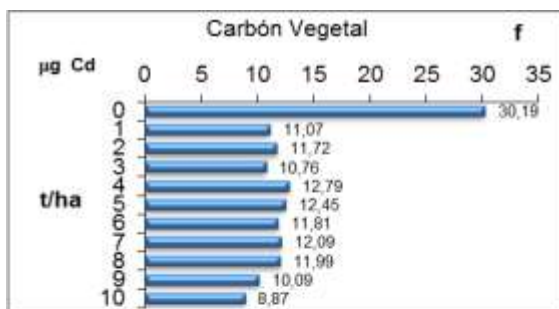
Humus 1	Dosis										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH (H ₂ O)	5,5	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,2	5,3	5,4
MO (%)	3,9	3,9	3,9	3,8	3,4	3,6	3,9	3,1	3,0	3,1	3,4

4.1.2 Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis para la provincia de Zamora Chinchipe

4.1.2.1 Respuesta de diferentes niveles de enmiendas, sobre la absorción de Cadmio en la parte aérea de las plantas

En el gráfico 5. se aprecia la respuesta de la absorción de Cd en la parte aérea de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo, al realizar el análisis estadístico se encontró diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción entre ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. Los mejores tratamientos fueron la dolomita que presento valores promedios de 1,83 a 2,99 $\mu\text{g Cd /maceta}$, siendo notable que estos valores se encuentran por debajo del testigo que presento 30,19 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las dosis que impidieron que la parte aérea absorba menor cantidad de Cadmio fueron 8 y 10 t /ha, con valores de 2,10 y 1,83 $\mu\text{g Cd /maceta}$, respectivamente.

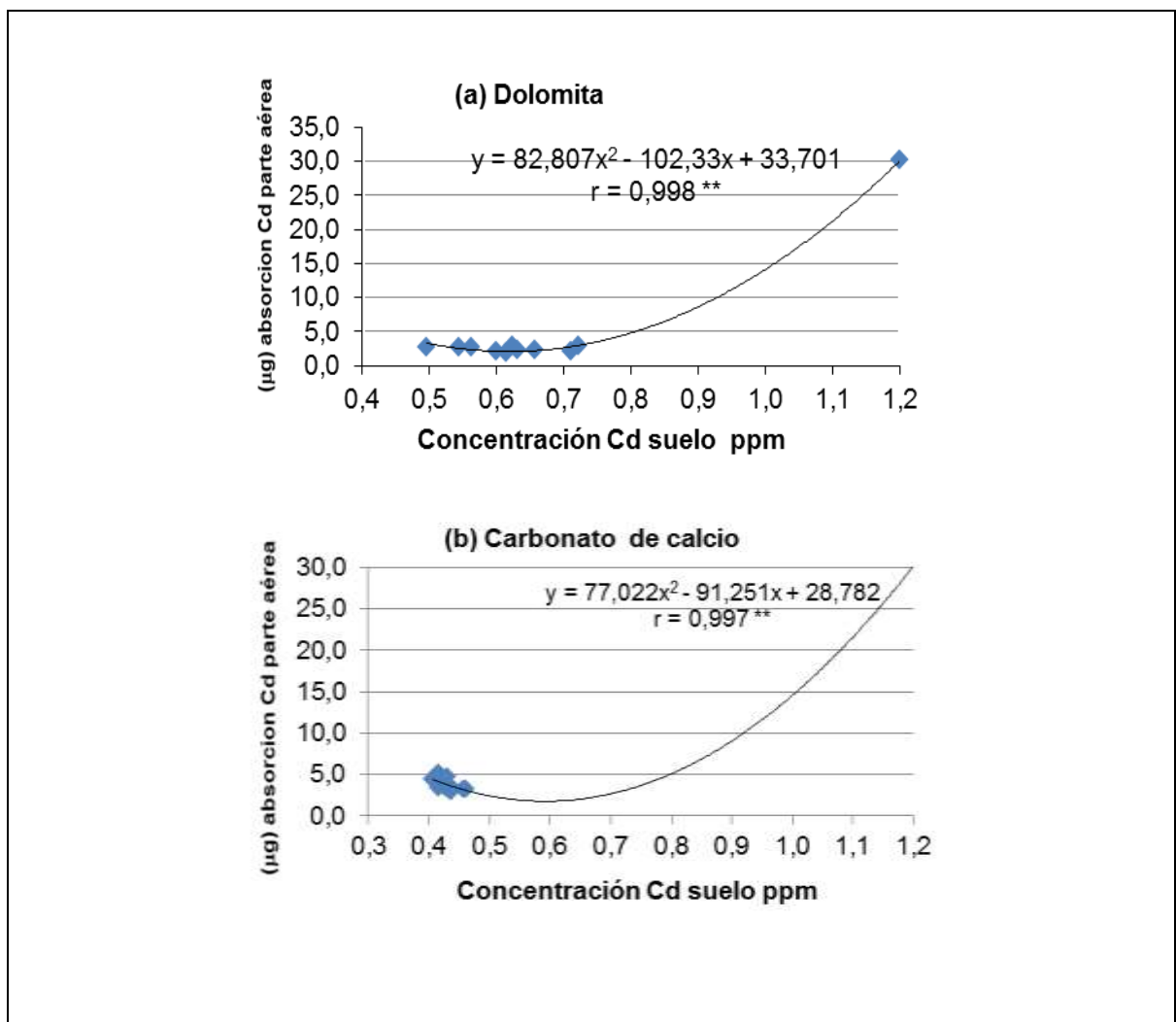
Otro de los tratamientos que presentó un buen resultado fue el carbonato de calcio, al aplicar las distintas dosis la absorción de Cadmio en la parte aérea de la planta disminuye, presentando valores de 2,93 a 5,16 $\mu\text{g Cd /maceta}$, notándose diferencia entre el testigo que absorbió 30,19 $\mu\text{g Cd /maceta}$, lo que da a entender que el mejor resultado para la menor absorción Cadmio seria aplicar las dosis de 8 y 10 t/ha de carbonato de calcio con valores promedios de 3,17 y 2,93 $\mu\text{g Cd /maceta}$.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 5. Influencia de diferentes niveles de enmiendas sobre la absorción de Cadmio por parte aérea de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas y dosis al suelo.

En el gráfico 6 se aprecia la regresiones entre las cantidades de Cadmio en el suelo vs la cantidad de μg Cd /maceta absorbidos por la parte aérea de las plantas. Con la aplicación de dolomita y carbonato de calcio, se observan relaciones altamente significativas al 1%. Esto sugiere que la absorción de Cadmio por las plantas esta relacionado directamente con la concentración de este metal pesado en el suelo. Además la dolomita y el carbonato de calcio aplicadas influyen los resultados de esta relación.



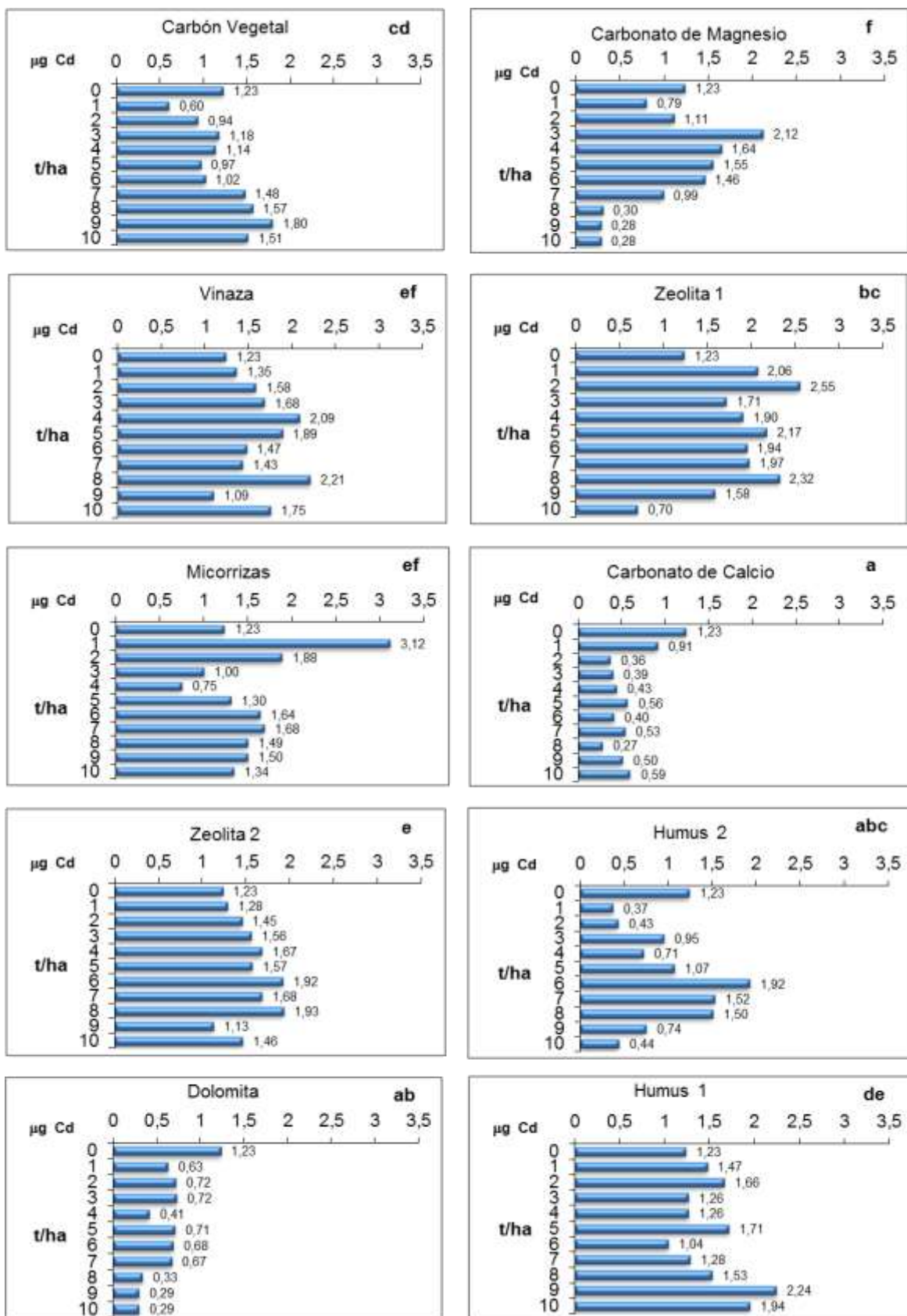
* Significativo 5 % ** altamente significativo 1% ^{ns} no significativo

Gráfico 6. Relación entre las cantidades de Cd en el suelo & la cantidad de μg Cd/absorbidos por la parte aérea de las plantas con la aplicación de dolomita (a) y carbonato de calcio (b).

4.1.2.2 Respuesta de diferentes niveles de enmiendas sobre la absorción de Cadmio en la parte radical de las planta.

En el gráfico 7 se puede apreciar la respuesta de absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes dosis y enmiendas presentando diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. Los mejores resultados fueron los que menos absorbió Cd en la parte radical el mejor comportamiento se dio con la aplicación de dolomita donde se obtuvo valores promedios de 0,29 a 0,72 $\mu\text{g Cd/maceta}$ estos contenidos fueron inferiores tomando en consideración que el valor testigo fue de 1,23 $\mu\text{g Cd /maceta}$ en este tratamiento la mejor dosis se dio en 8, 9 t/ha debido a que los valores encontrados fueron de 0,29 y 0,33 $\mu\text{g Cd /maceta}$.

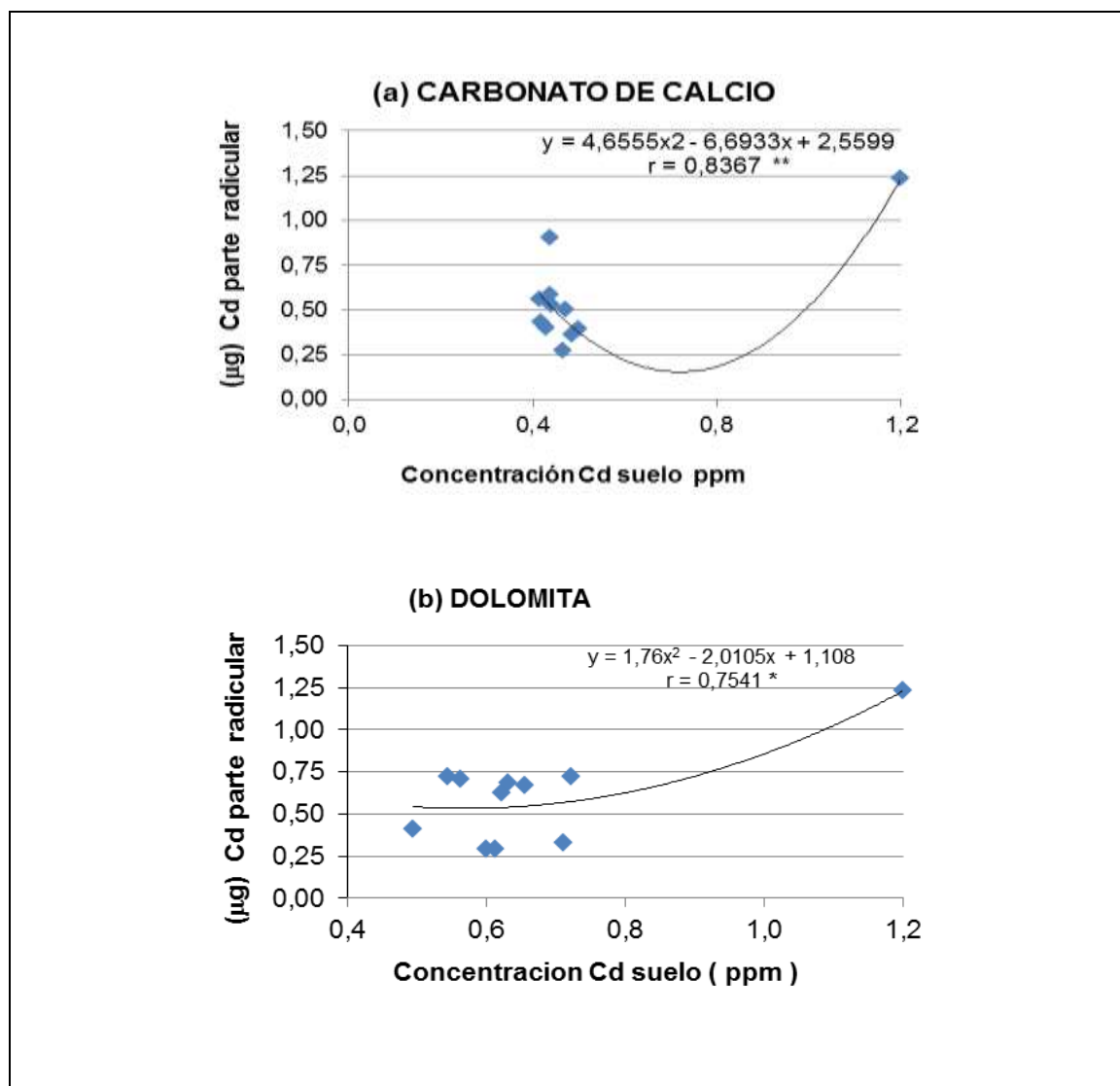
También dio un buen resultado la aplicación de carbonato de calcio logrando reducir la cantidad de Cd que absorbía la parte radical representado con el valor testigo de 1,23 $\mu\text{g Cd /maceta}$ con la aplicación de las distintas dosis se encontraron promedios de 0,27 a 0,91 $\mu\text{g Cd /maceta}$ funcionando con este tratamiento las dosis de 2 y 3 t/ha presentando valores de 0,26 y 0,23, $\mu\text{g Cd /maceta}$ respectivamente.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 7. Respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes dosis y enmiendas.

En el gráfico 8 se muestra la regresión entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio en la parte radicular de las plantas. Con la aplicación de carbonato de calcio, se encontró relaciones altamente significativas al 1%. Mientras que con el uso de dolomita la relación fu significativa al 5 %. Los resultados obtenidos en las raíces guardan similitud en lo encontrado en la arte aérea.



* Significativo 5 % ** altamente significativo 1% ^{ns} no significativo

Gráfico 8. La relación entre la concentración de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd en la parte radicular e las plantas con la aplicación de dolomita.

4.1.3 Efectos de diferentes niveles de enmiendas sobre la capacidad de absorción μg Cadmio /g del total de materia seca en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), variedad INIAP-415

En el gráfico 9 se puede apreciar los valores promedios μg Cd absorbido/ g del total de materia seca, como consecuencia de la aplicación de distintas enmiendas y dosis en donde se observa que mejor resultado se obtuvo con la aplicación de dolomita que presento un rango de 0,63 a 1,01 μg Cd absorbido/ g del total de materia se valores encontrados por debajo de la absorción del testigo que fue de 7,00 μg Cd absorbido/ g del total de materia seca.

Otro de los tratamientos que se obtuvo resultados positivos fue el carbonato de calcio que presento valores promedios de 0,92 a 1,47 μg Cd absorbido /g del total de materia seca, valores notables que se encuentran por debajo del valor testigo de 7,00 μg Cd absorbido/g de materia seca.

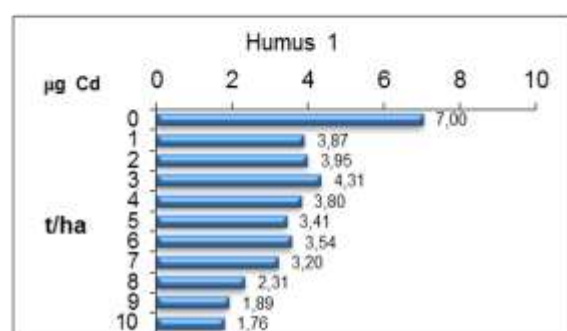
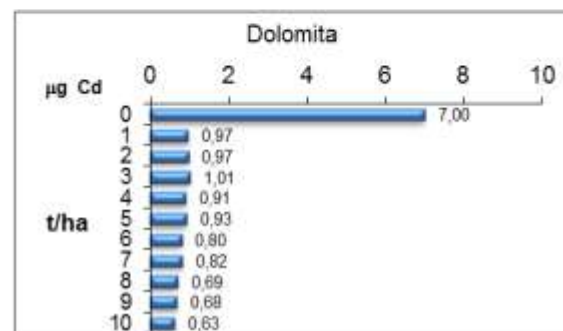
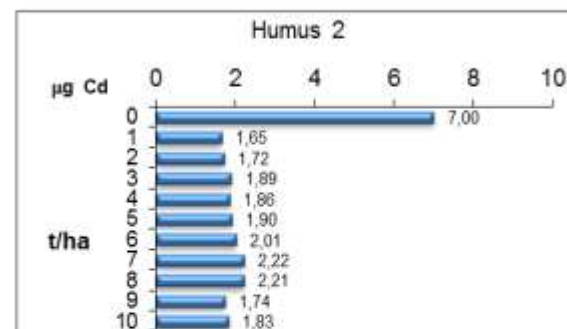
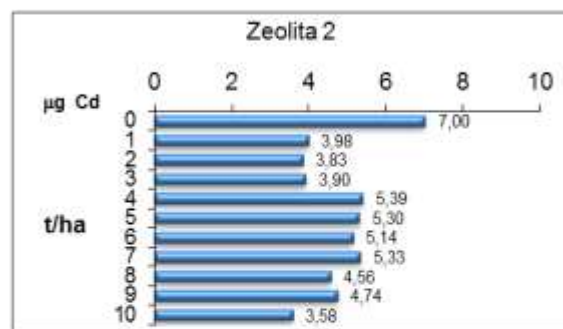
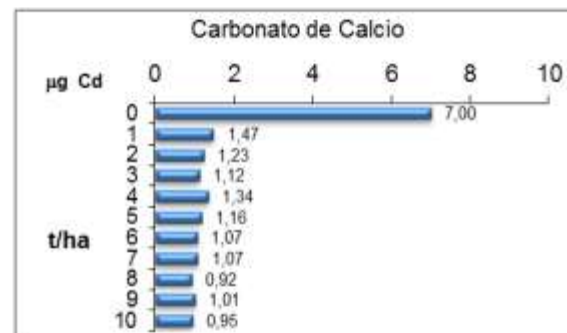
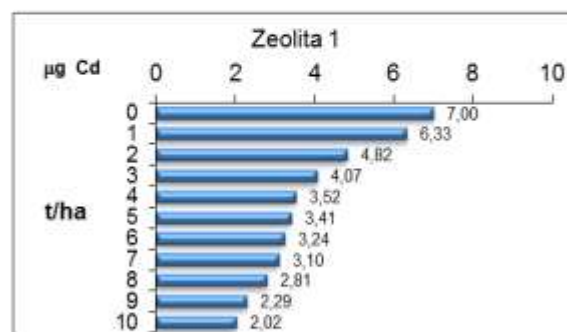
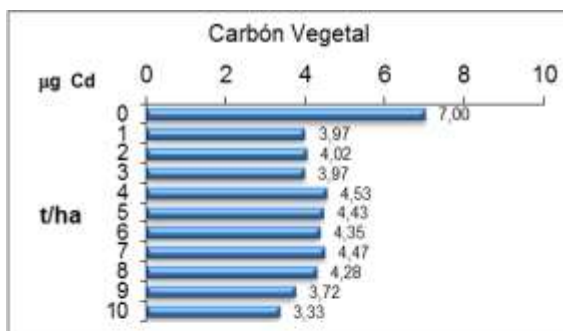
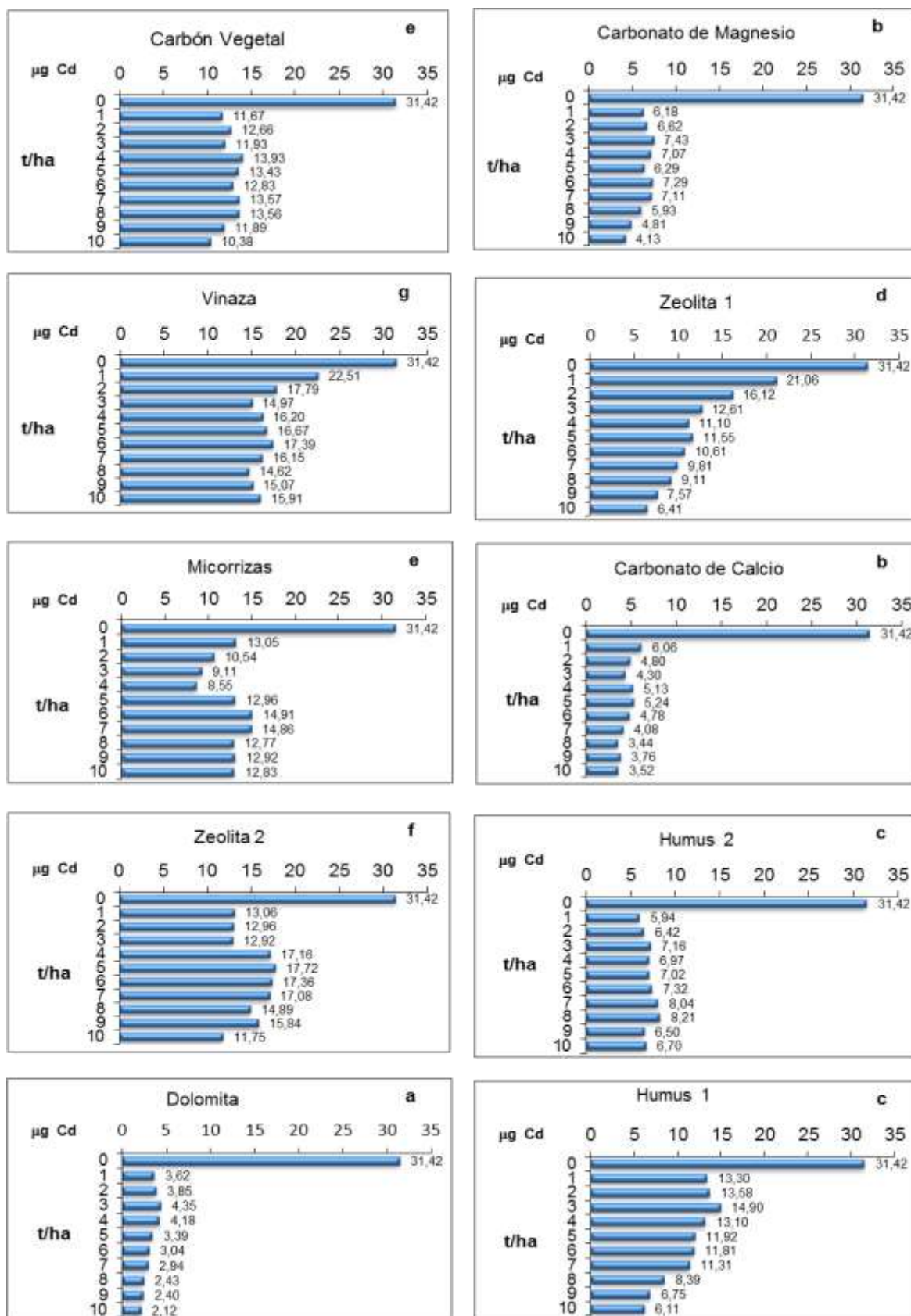


Gráfico 9. Valores promedios $\mu\text{g Cd}$ absorbido/ g de materia seca como consecuencia de a la aplicación de distintas enmiendas y dosis.

4.1.4 Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas.

En el gráfico 10 se puede observar la respuesta de la absorción de Cd por parte de las plantas sometidas a diferentes dosis y enmiendas aplicadas al suelo la cual presentó diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0.0001$) según Tukey en donde los mejores tratamientos se obtuvo al aplicar dolomita presentando promedios de absorción 2,12 a 4,35 $\mu\text{g Cd /maceta}$, las dosis más sobresalen fueron 7 y 8 t/ha presentado valores de 2,40 y 2,12 $\mu\text{g Cd /maceta}$ notándose que estos valores se encuentran por debajo del valor testigo que en este caso fue de 31,42 $\mu\text{g Cd /maceta}$.

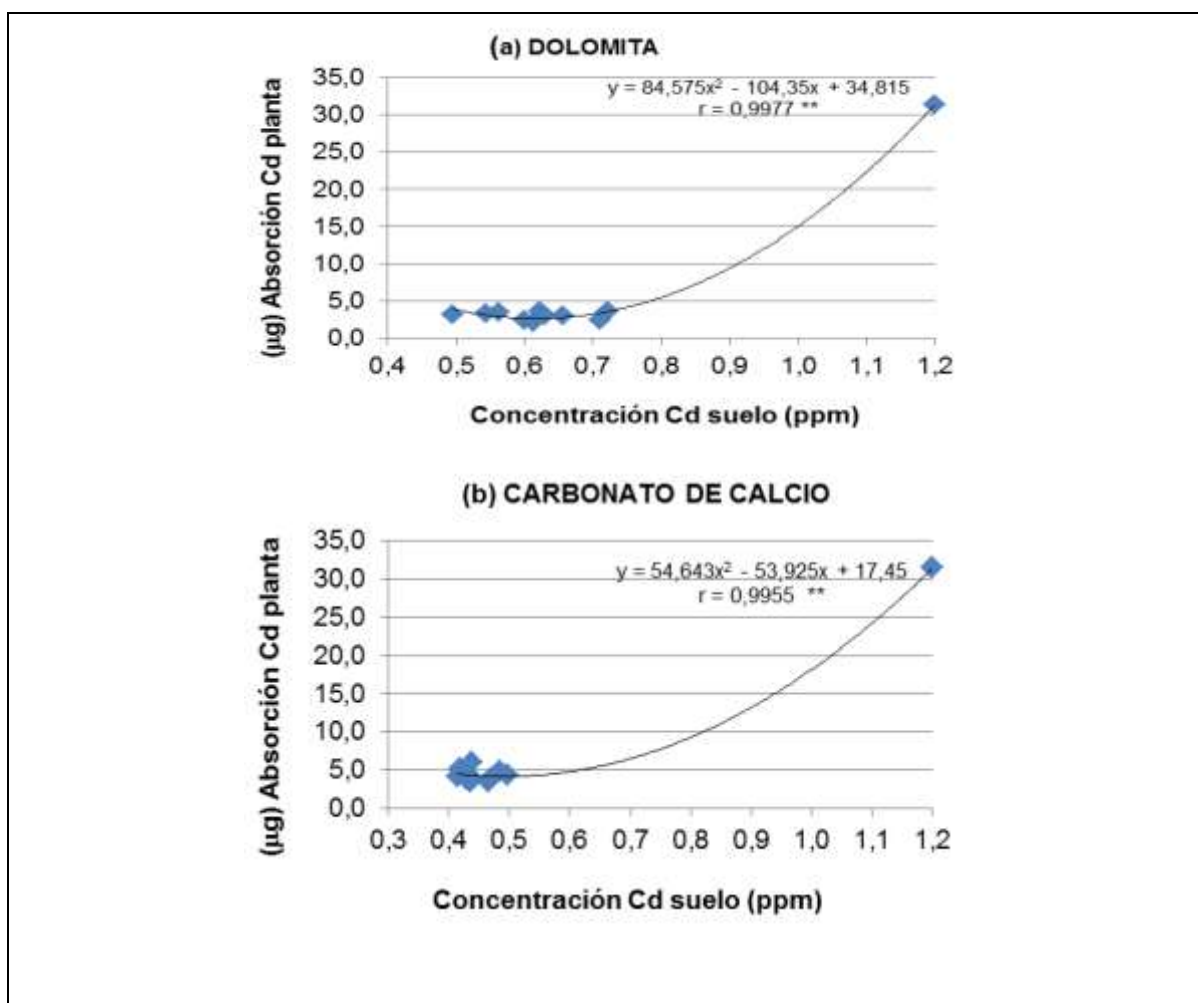
Otro tratamiento que obtuvo efecto similar al anterior fue el carbonato de calcio que presento valores promedio de 3,44 a 5,24 $\mu\text{g Cd /maceta}$ apreciándose que las mejores dosis fueron 8 y 10 t/ha con valores de 3,44 y 3,52 $\mu\text{g Cd /maceta}$ respectivamente estos valores se encuentran por debajo del testigo que fue de 31,24 $\mu\text{g Cd /maceta}$.



Media con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 10. Respuesta de la absorción de Cadmio por parte de las plantas sometidas a diferentes dosis y enmiendas aplicadas al suelo.

En el gráfico 11 se puede observar la relación entre las concentraciones de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido por las plantas cuando se aplicó dolomita y carbonato de calcio, encontrándose relaciones altamente significativas al 1%. Dándose a entender que la absorción total de Cadmio por la planta esta relacionado directamente con la concentración de Cadmio disponible en el suelo.



* Significativo 5 % ** altamente significativo 1% ^{ns} no significativo

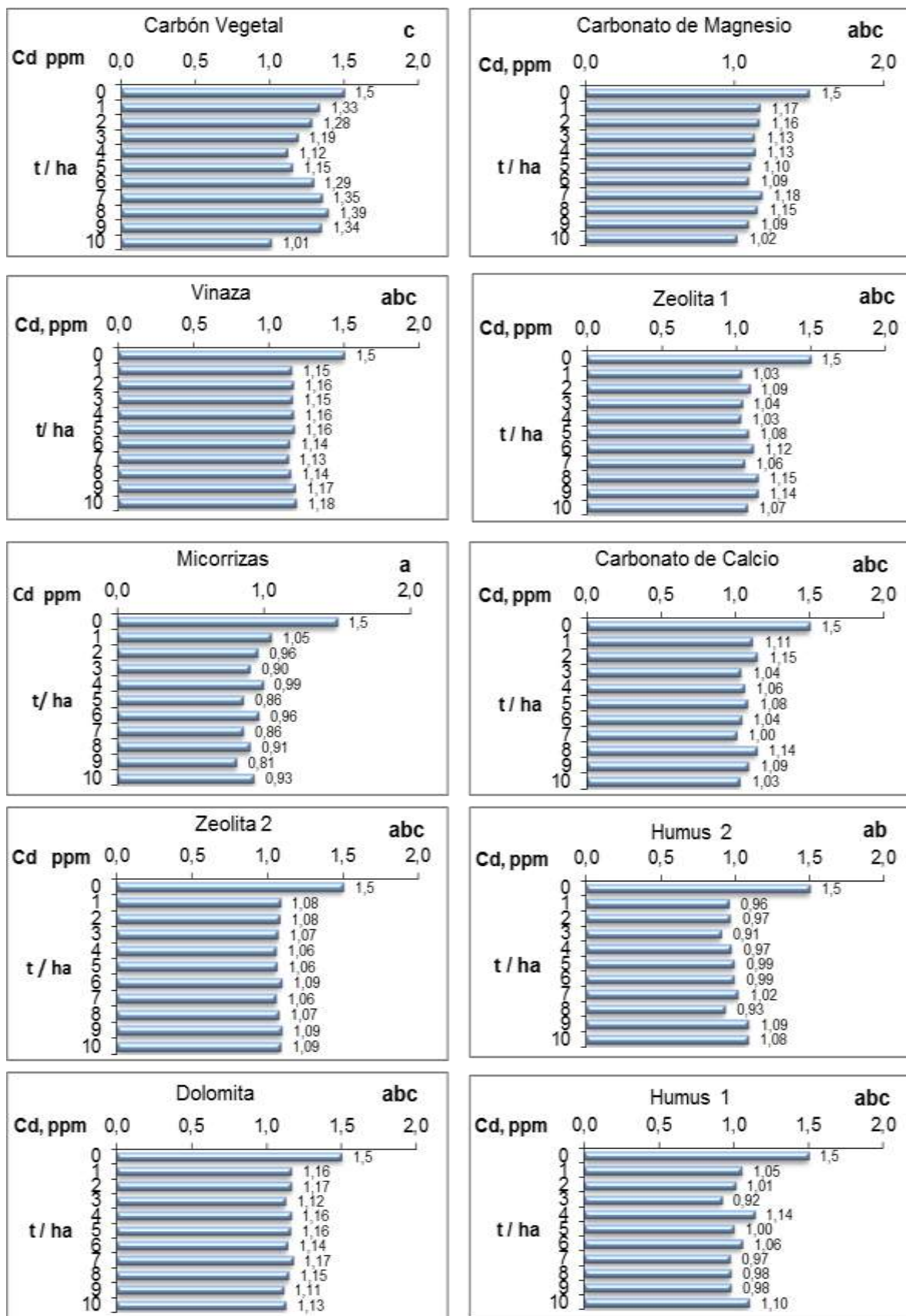
Gráfico 11. Relación entre las concentraciones de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó dolomita (a), carbonato de calcio (b).

4.2 Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar de suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero

4.2.1 Suelo de Santa Elena

En el gráfico 12 se puede notar los efectos de las enmiendas y dosis aplicadas al suelo contaminado con Cadmio. Al realizar el análisis estadístico se muestra la existencia de diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. Siendo así que con la aplicación de micorrizas, los promedios fluctuaron entre 1,05 a 0,91 ppm, considerados bajos en relación con el testigo que fue de 1,50 ppm. Las mejores dosis que funcionaron fueron las de 5 y 9 t/ha, con valores de 0,86 y 0,81 ppm respectivamente.

Otro de los tratamientos que obtuvo una respuesta positiva fue el humus 2, presentando efectos positivo sobre los contenidos de Cadmio en el suelo, con valores promedios de 0,91 a 1,08 ppm, cantidades bajas al compáralos con el testigo. Las mejores dosis fueron 3 y 8 t/ha con valores de 0,91 y 0,93, respectivamente.

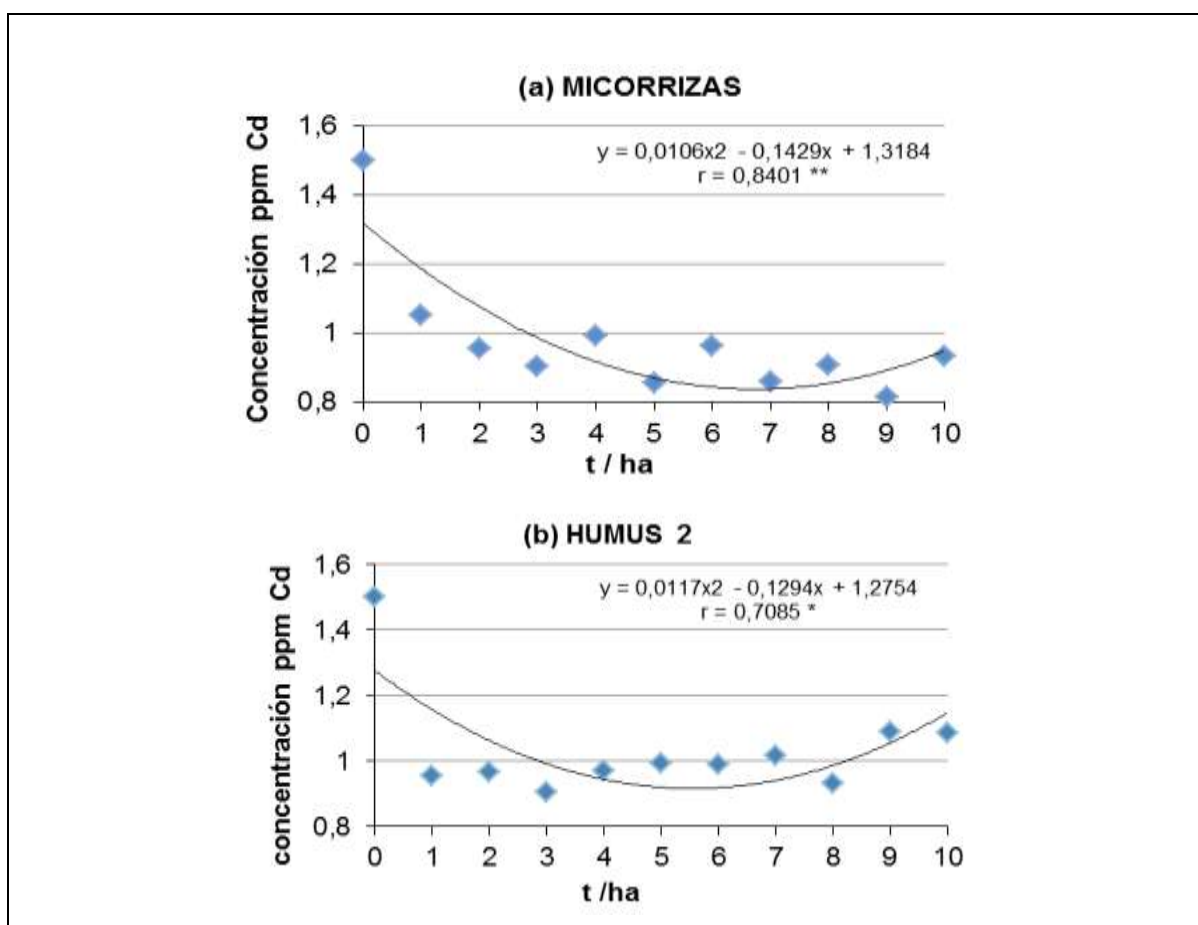


Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 12. Efectos de las enmiendas y dosis al aplicar a los suelos de la provincia de Santa Elena.

En el gráfico 13 se puede visualizar las regresiones entre la aplicación de diferentes dosis de micorrizas, sobre la concentración de Cadmio en el suelo. Donde encontramos la existencia relaciones altamente significativas al 1%. Conforme aumenta las dosis los contenidos de Cadmio en el suelo disminuyen a concentraciones inferiores a lo registrado por el valor testigo de 1,50 ppm. Las mejores dosis se daría con la aplicación de 5 y 9 t /ha, con las cuales se logra disminuir a 0,86 y 0,81 ppm, respectivamente.

Además, el efecto de las diferentes dosis de humus 2 en el suelo presento relaciones significativas al 5 %. Encontrándose valores promedios de fluctúan entre 0,91 a 1,08 ppm concentración encontrada por debajo del testigo 1,50 ppm. Entre las mejores dosis que permiten una reducción de Cadmio disponible se da al aplicar 3 t /ha logrando una disminución de 0,91ppm de Cadmio.



* Significativo 5 % ** altamente significativo 1% ns no significativo

Gráfico 13. Efectos de la aplicación de diferentes dosis de micorrizas (a), humus 2(b), sobre la concentración de Cadmio en el suelo de Santa Elena.

4.2.1.1 Influencia varios niveles de enmiendas sobre las propiedades químicas del suelo.

En el tabla 8 se puede considerar la Influencia de las micorrizas en los valores de potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO) en la finca cacaotera de la provincia de Santa Elena que se caracteriza por presentar valores de pH de 8,5 considerados **Medianamente Alcalinos**, con la aplicación de micorrizas esta característica tuvo modificaciones debido a que presentaron valores promedios de 8,0 a 8,1 en este caso considerados **Ligeramente Alcalinos**.

Otro factor es el efecto de las dosis en la materia orgánica que presento un porcentaje inicial de 1,8 % considerado **Bajo**. Es notable que a medida que se aplicas las distintas dosis la materia orgánica disminuye, hasta el punto de llegar a 1,1 % considerado porcentaje **Bajo**.

Tabla 8. Influencia de las micorrizas en los valores de potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

Micorrizas	DOSIS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pH _{H2O}	8,5	8,1	8,1	8,1	8,0	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	
MO (%)	1,8	1,5	2,1	1,5	2,8	1,4	1,2	2,9	1,4	1,2	1,1	

En el tabla 9 Se puede reconocer la Influencia de las humus 2 en los valores de potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO) en la finca cacaotera de la provincia de santa Elena, donde el valor de pH sufre variaciones debido a que se encontró un valor inicial de 8,0 considerados **Medianamente Alcalinos**, con la aplicación de las distintas dosis de humus 2 estos valores llegan a un rango de 8,0 a 8,1 en este caso considerados **Ligeramente Alcalinos**.

Por otro lado la materia orgánica sufre variaciones en su porcentaje al presentar un valor inicial de 1,2 % considerado **Bajo**, a medida que se aplican dosis de 1 a 4 t /ha de humus 2, estos valores no sufren variaciones, pero con la aplicación de 6 a 10 t /ha estos valores llegan a un promedio de 1,8% considerado **Bajo**.

Tabla 9. Influencia del humus 2 en los valores de potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

Humus 2	DOSIS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH _{H2O}	8,0	8,1	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1	8,1	8,0	8,0
MO (%)	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8

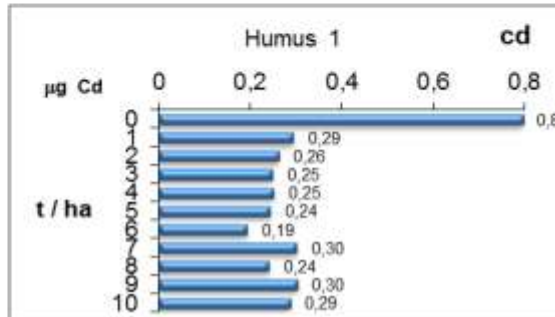
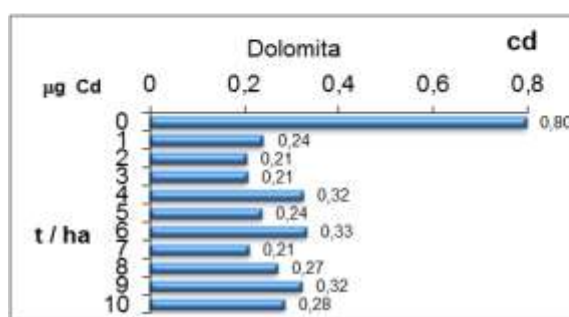
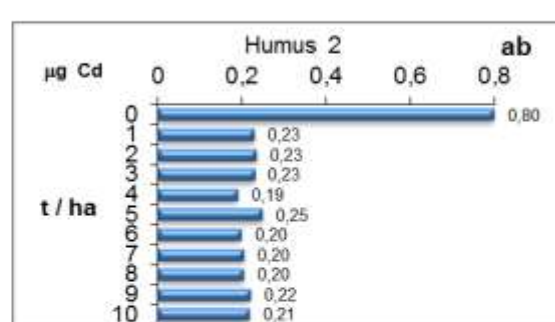
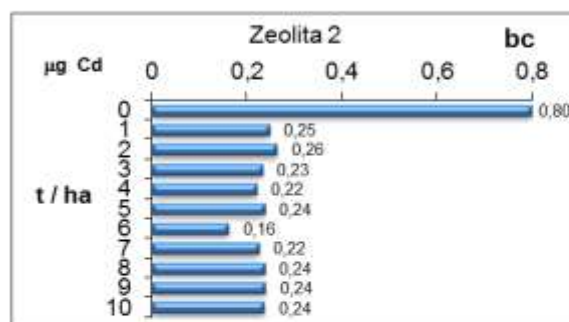
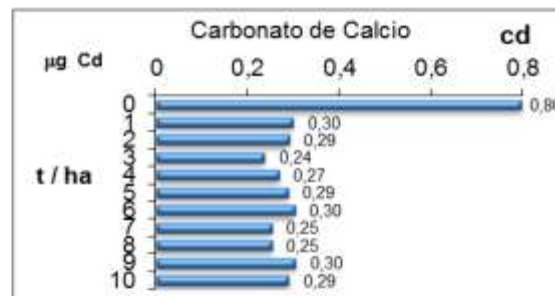
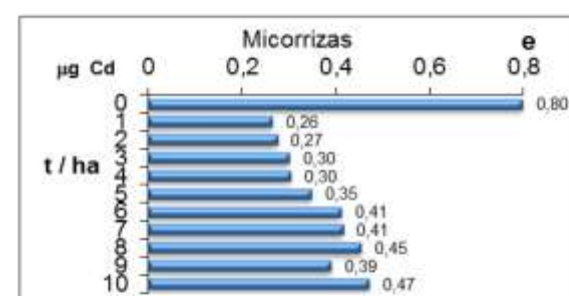
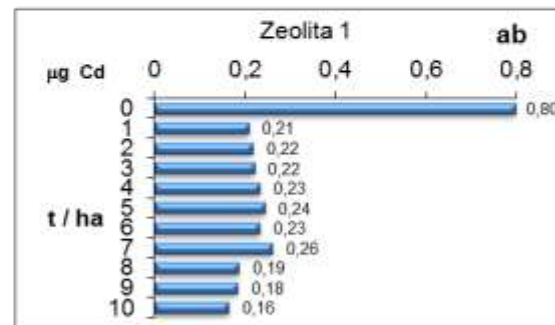
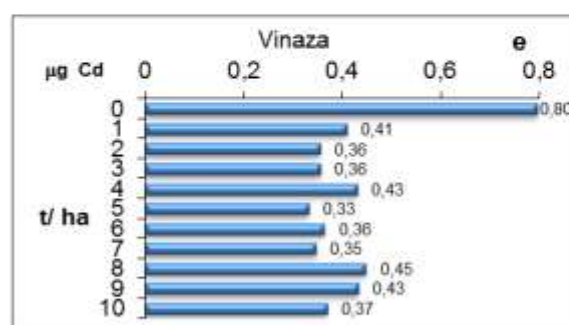
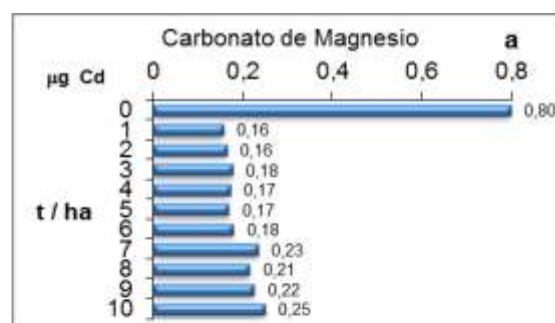
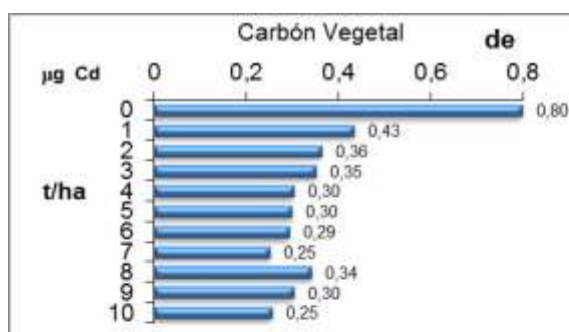
4.2.2 Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis.

4.2.2.1 Respuesta de diferentes niveles de enmiendas, sobre la absorción de Cadmio en la parte aérea de las plantas

En el gráfico 14 se observa la respuesta de la absorción de Cadmio en la parte aérea de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo, al efectuarse el análisis estadístico se encontró diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. Donde se destacaron los mejores tratamientos como el carbonato de magnesio que presento valores promedios de 0,16 a 0,25 $\mu\text{g Cd/maceta}$. Estos valores se encuentran por debajo del testigo que presento 0,80 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis que permiten una menor absorción de cantidad de Cadmio fueron 1 y 4 t /ha, con valores de 0,16 y 0,17, $\mu\text{g Cd /maceta}$ respectivamente.

En relación con el tratamiento donde se uso zeolita 1, la absorción de Cadmio en la parte aérea de la planta es baja, alcanzando valores de 0,16 a 0,26 $\mu\text{g Cd /maceta}$, notándose diferencia entre el testigo que absorbió 0,80 $\mu\text{g Cd /maceta}$ lo que nos da a entender que el mejor resultado para la menor absorción seria aplicar 9 y 10 t/ha con valores promedios de 0,18 y 0,16 $\mu\text{g Cd /maceta}$.

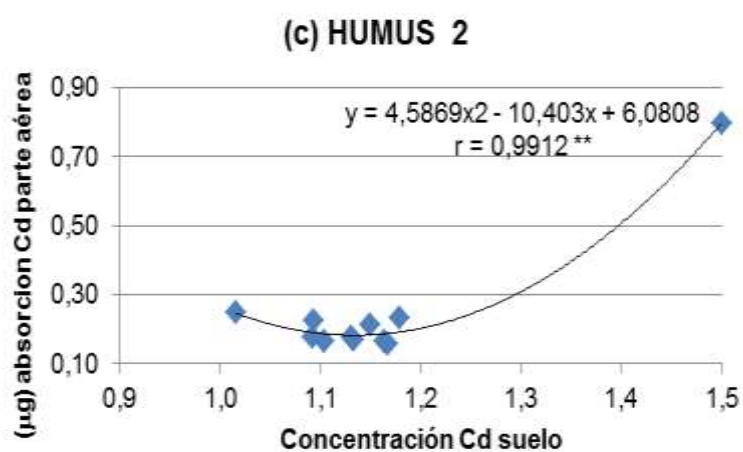
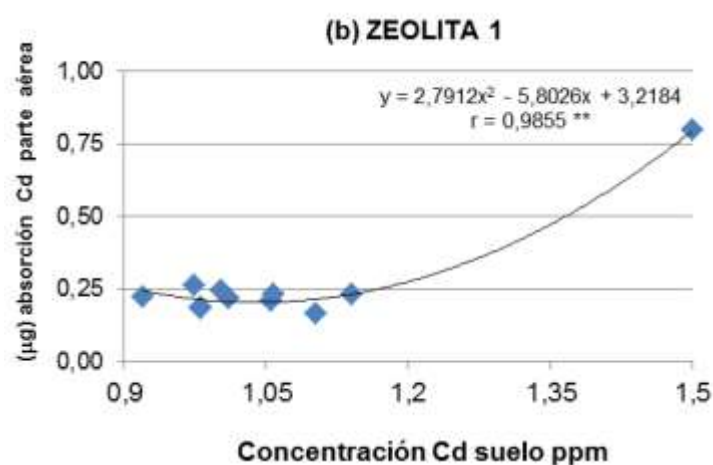
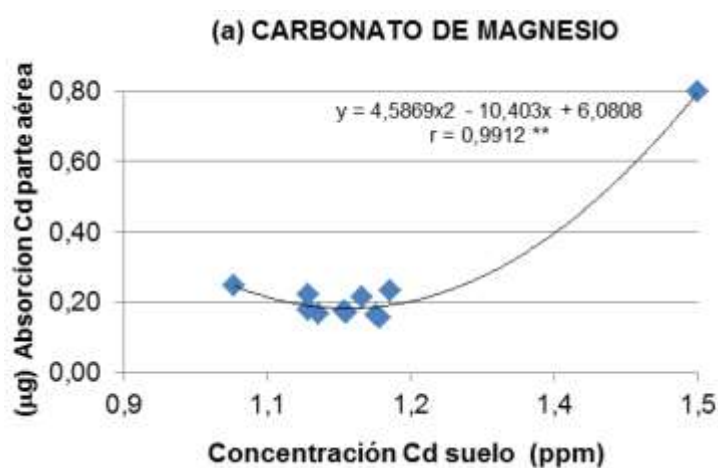
Además, el humus 2 presento valores que fluctuaron entre de 0,19 a 0,25 $\mu\text{g Cd /maceta}$, estas cantidades encontradas en la parte aérea se encuentra por debajo del valor testigo de 0,80 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis se da con la aplicación de 1 t /ha con valor de 0,23 0,80 $\mu\text{g Cd /maceta}$.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 14. Respuesta de la absorción de Cadmio en la parte aérea sometida a diferentes enmiendas y dosis en Santa Elena

En el gráfico 15 se puede observar relación entre las concentraciones de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la parte aérea de las plantas. Cuando se aplicó carbonato de magnesio, zeolita 1 y humus 2 se encontró relaciones altamente significativas al 1 %. Esto nos muestra que la absorción de Cadmio por la parte aérea esta relacionado directamente con la concentración de Cadmio en el suelo. Igualmente el carbonato de magnesio, zeolita 1 y humus 2 aplicadas influncian en los resultados de esta relación.



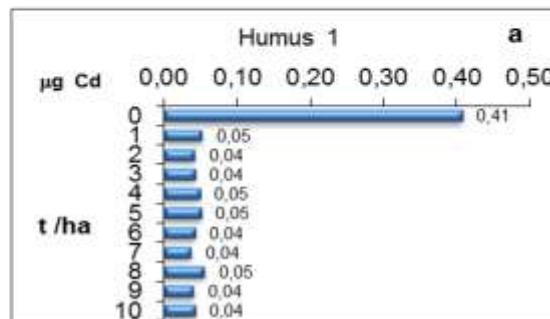
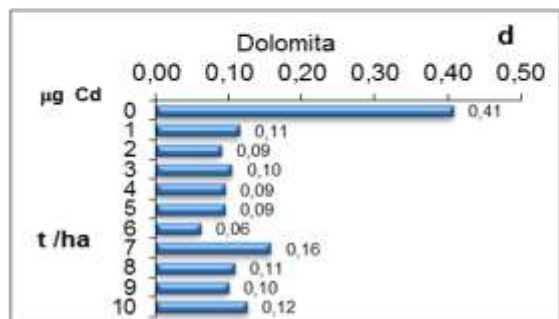
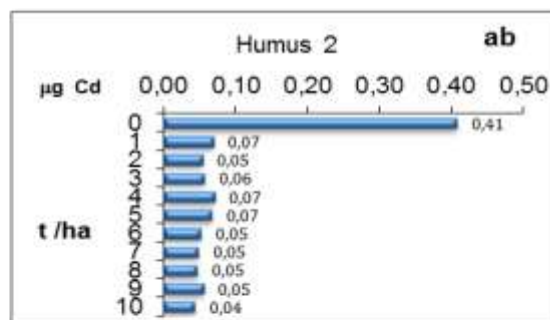
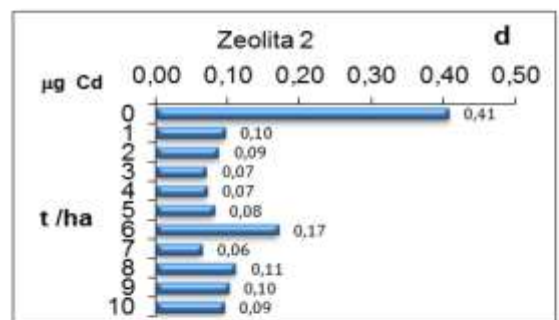
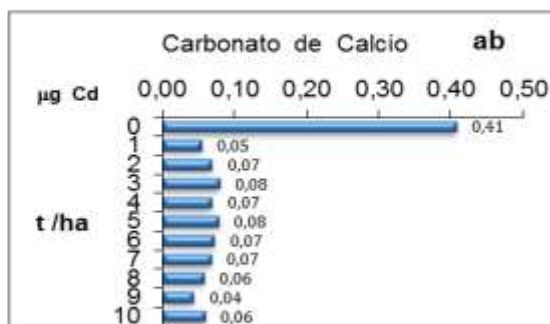
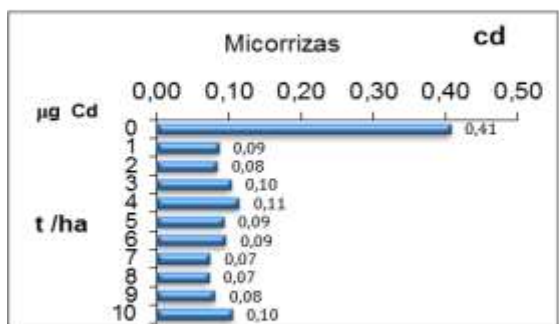
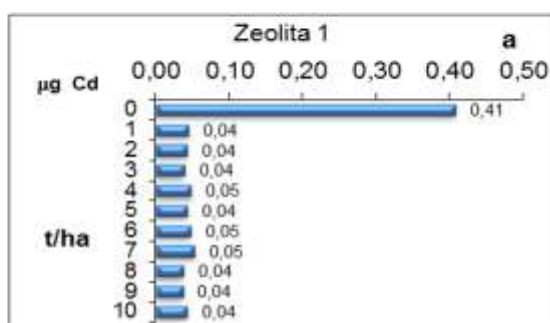
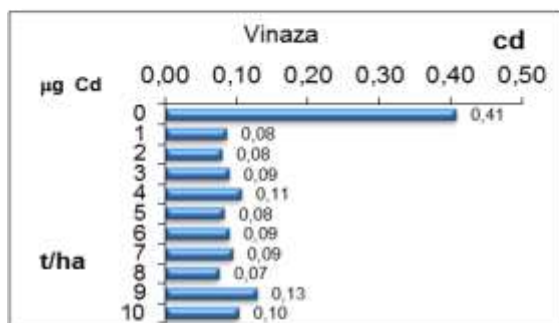
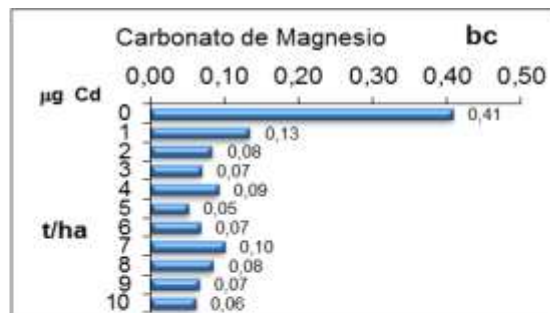
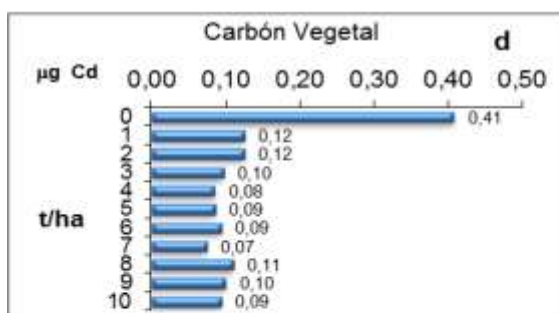
* Significativo ** altamente significativo ^{ns} no significativo

Gráfico 15. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido por las parte aérea cuando se aplicó carbonato de magnesio (a), zeolita 1(b) y Humus 2(c)

4.2.2.2 Respuesta de diferentes niveles de enmiendas sobre la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas

En el gráfico 16 se aprecia la respuesta de la absorción de Cadmio de la parte radical de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo, al realizar el análisis estadístico se encontró diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. En las cuales se destacaron los mejores tratamientos donde la zeolita 1 y el humus 1 presentaron valores promedios de 0,04 a 0,05 $\mu\text{g Cd /maceta}$ respectivamente siendo notable que valores mencionados se encuentran por debajo del testigo que presentó 0,41 $\mu\text{g Cd /maceta}$, las dosis que presentan una menor absorción de cantidad de Cadmio fueron 1 y 2 t/ha, con valores de 0,04 $\mu\text{g Cd /maceta}$ para la zeolita 1 y para el humus 1 las mejores dosis se dio con 2 y 6 t/ha con valores promedios de 0,04 y 0,05 t/ha.

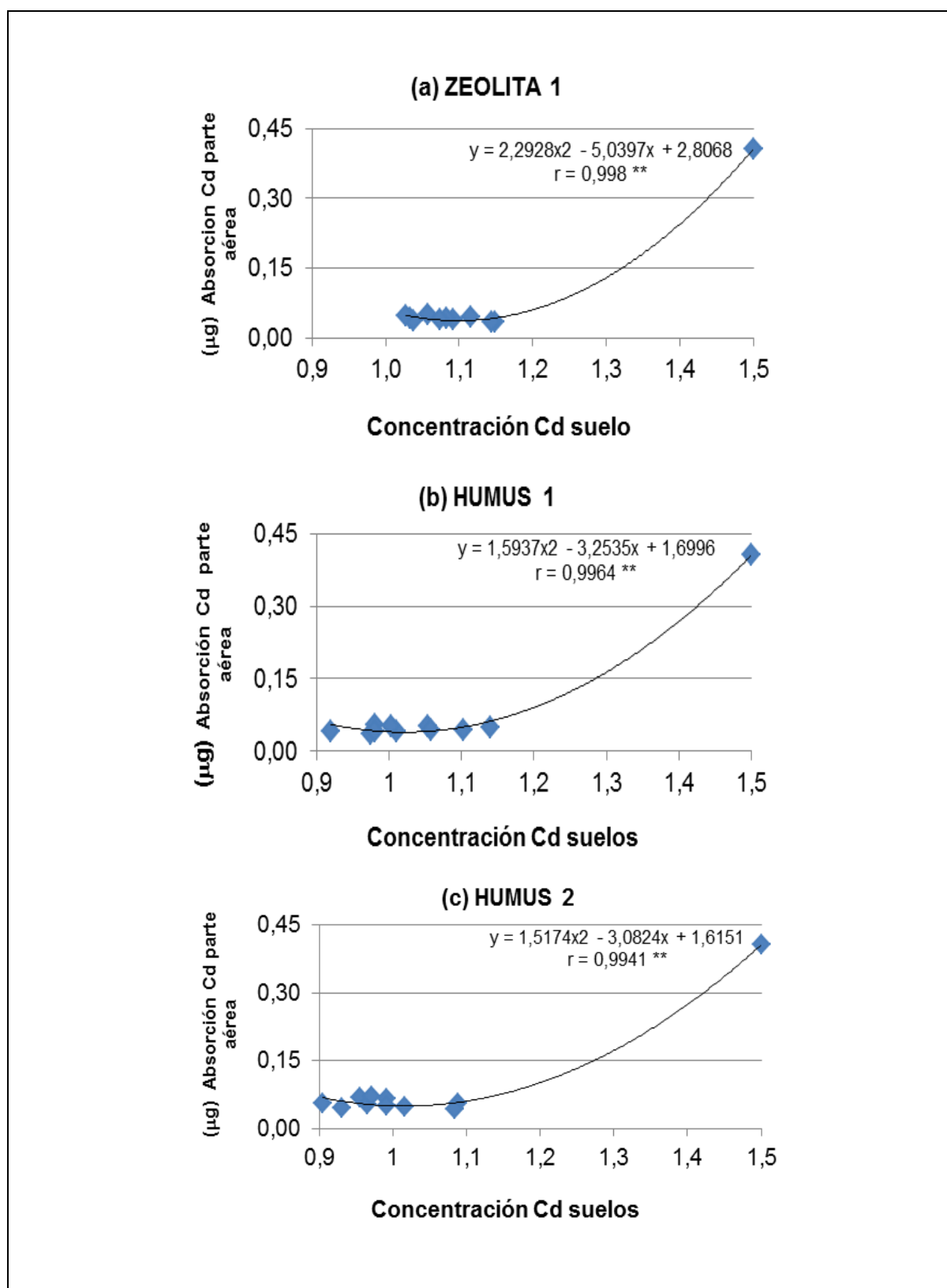
Además con el humus 2 nos indica valores de 0,04 a 0,07 $\mu\text{g Cd /maceta}$ notándose diferencia entre el testigo que absorbió 0,41 $\mu\text{g Cd /maceta}$ lo que nos da a entender que el mejor resultado para la menor absorción sería aplicar 2 t /ha con valores promedios de 0,04 $\mu\text{g Cd /maceta}$.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 16. Respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometida a diferentes enmiendas y dosis.

En el gráfico 17. Se observa las regresiones entre la concentración de Cadmio en el suelo vs cantidad de Cadmio absorbido en la parte radical de la planta. Aplicando diferentes dosis de zeolita 1 y humus (1 y 2), se observa relaciones altamente significativas al 1%. Por lo que se puede apreciar los resultados obtenidos en la parte radical es similar a lo obtenido en la parte aérea.



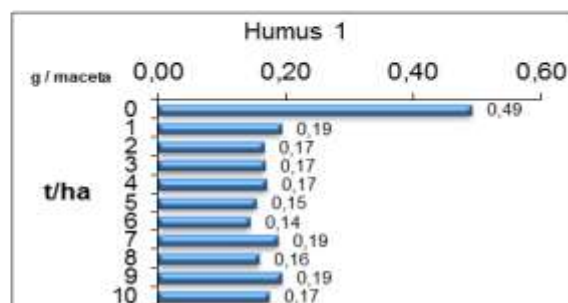
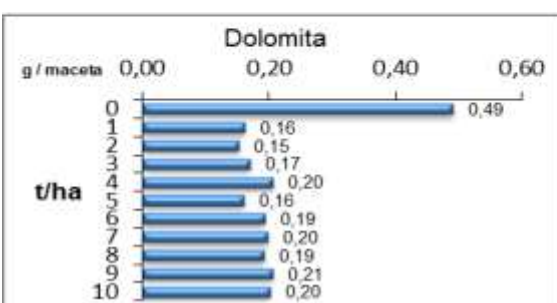
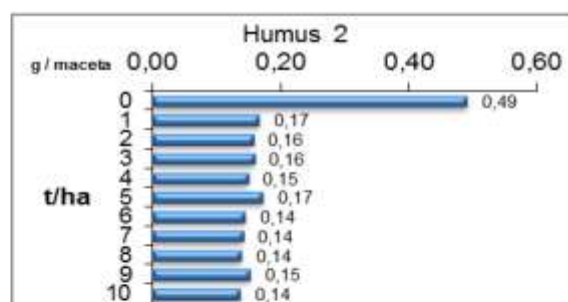
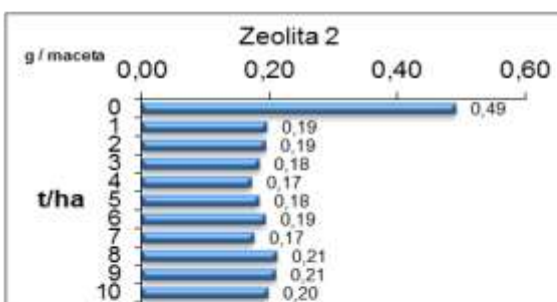
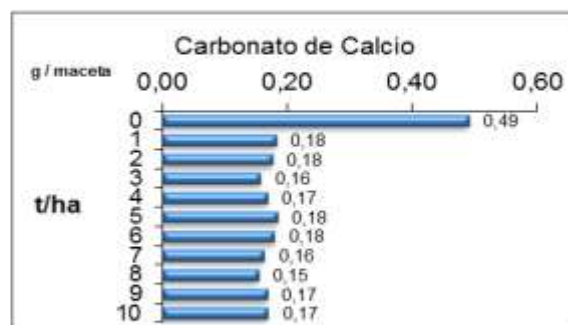
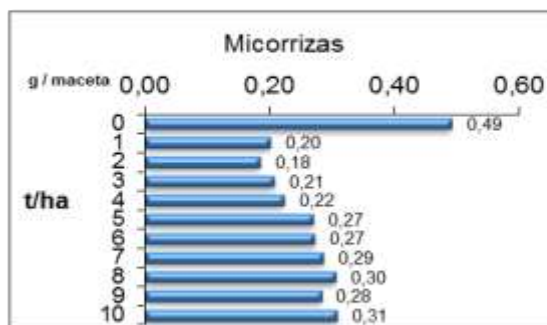
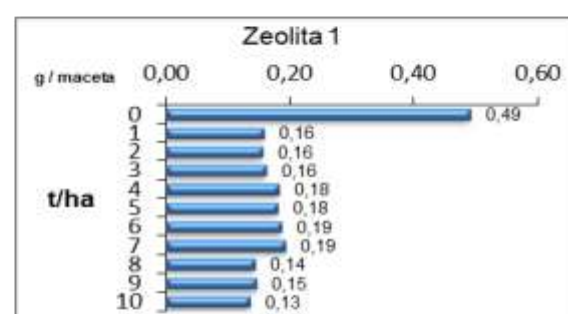
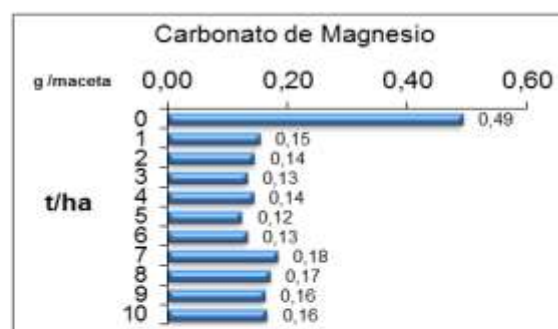
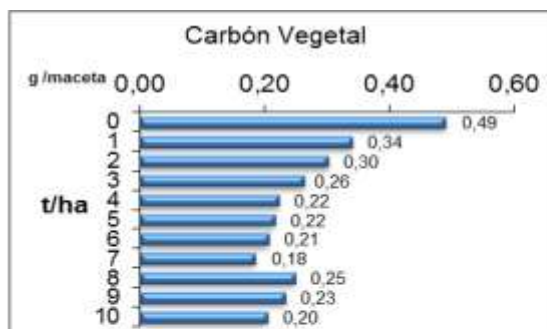
* Significativo 5 % ** altamente significativo 1% ^{ns} no significativo

Gráfico 17. Relación entre las cantidades de Cd en el suelo & la cantidad de μg Cd/absorbidos por la parte aérea de las plantas con la aplicación de zeolita 1 (a), humus 1 (b) y humus 2 (c).

4.2.3 Efectos de diferentes enmiendas sobre la capacidad de absorción de μg Cadmio /g del total de materia seca en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), variedad INIAP-415.

En el gráfico 18 se observa la concentración de μg Cd absorbido/g del total de materia seca sometidas a diferentes enmiendas y dosis. Los mejores resultados obtenidos fueron el uso de carbonato de magnesio que presentaron valores promedios de 0,12 a 1,18 μg Cd absorbido/ g del total de materia seca por debajo del valor testigo que es de 0,49 μg Cd absorbido /g del total de materia seca.

Otro de los tratamientos que mejor funcionaron es el humus 2 que presento en valores promedios de 0,14 a 0,17 μg Cd absorbido /g del total de materia seca encontrándose estos valores por debajo del testigo que fue de 0,49 μg Cd absorbido/ g del total de materia seca.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

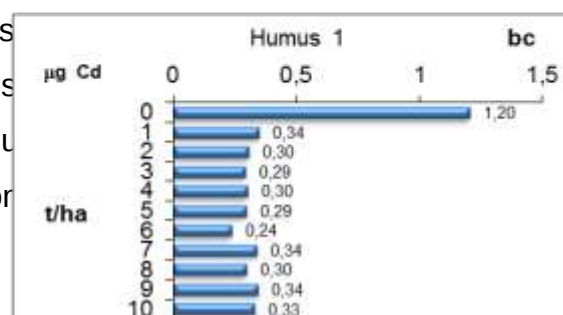
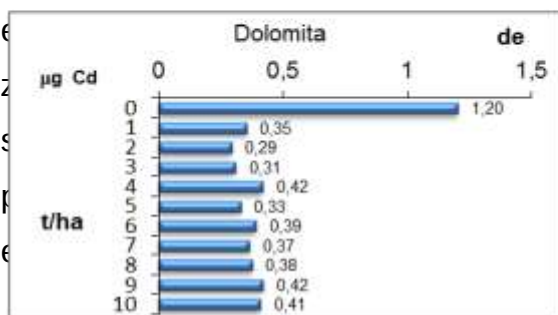
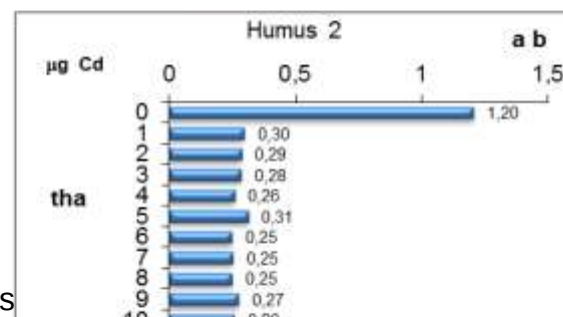
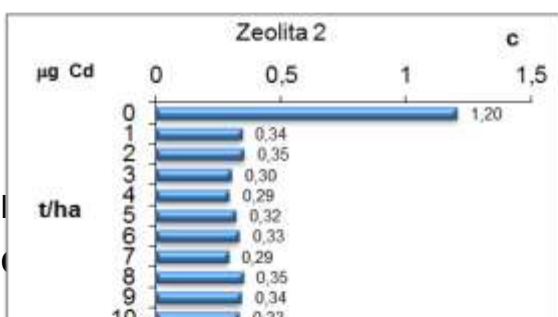
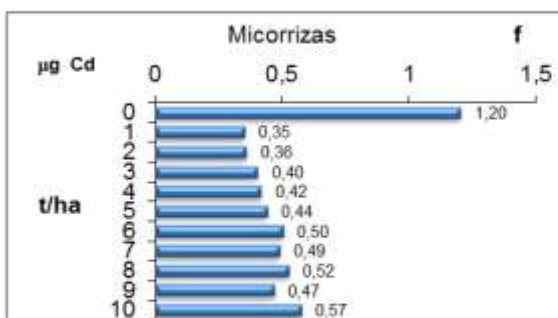
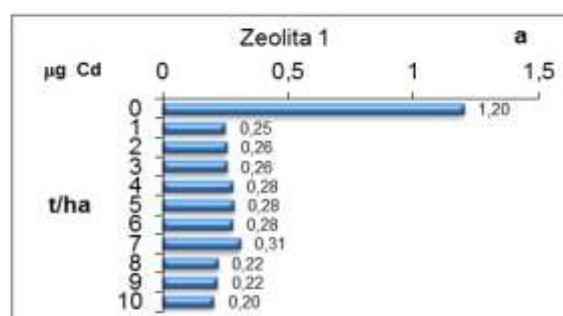
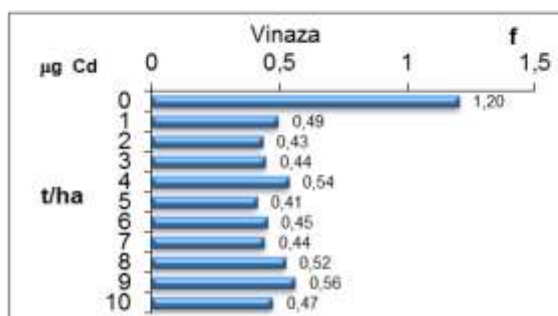
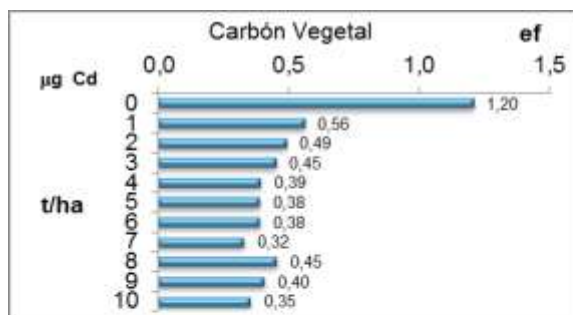
Gráfico 18. Capacidad de absorción μg Cadmio /g del total de materia seca en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), variedad INIAP-415 sometidas a diferentes enmiendas y dosis.

4.2.4 Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas

En el gráfico 19 se muestra la respuesta de la absorción de Cadmio en las plantas sometida a diferentes enmiendas y dosis se aplicó un análisis estadístico donde se encontró la existencia de diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. Al aplicar zeolita 1 nos da valores de Cadmio bajos legando así a presentar promedios de 0,20 a 0,31 $\mu\text{g Cd /maceta}$ valores inferiores en relación al testigo que es de 1,20 $\mu\text{g Cd /maceta}$, al aplicar las distintas dosis el mejor resultados se dio con 8 y 10 t/ha obteniéndose valores de 0,22 y 0,20 $\mu\text{g Cd /maceta}$.

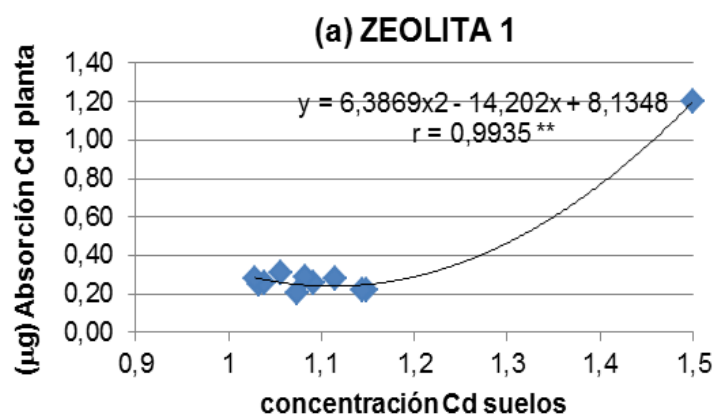
Otro de los tratamiento que funciono satisfactoriamente en la no disponibilidad de Cadmio en la planta fue el uso de carbonato de magnesio que presento valores de 0,22 a 0,33 $\mu\text{g Cd /maceta}$ promedios mínimos en relación al testigo que presento 1,50 $\mu\text{g Cd /maceta}$ siendo así que al aplicar dosis de 3,5 t/ha tenemos resultados de 0,24 a 0,22 $\mu\text{g Cd /maceta}$.

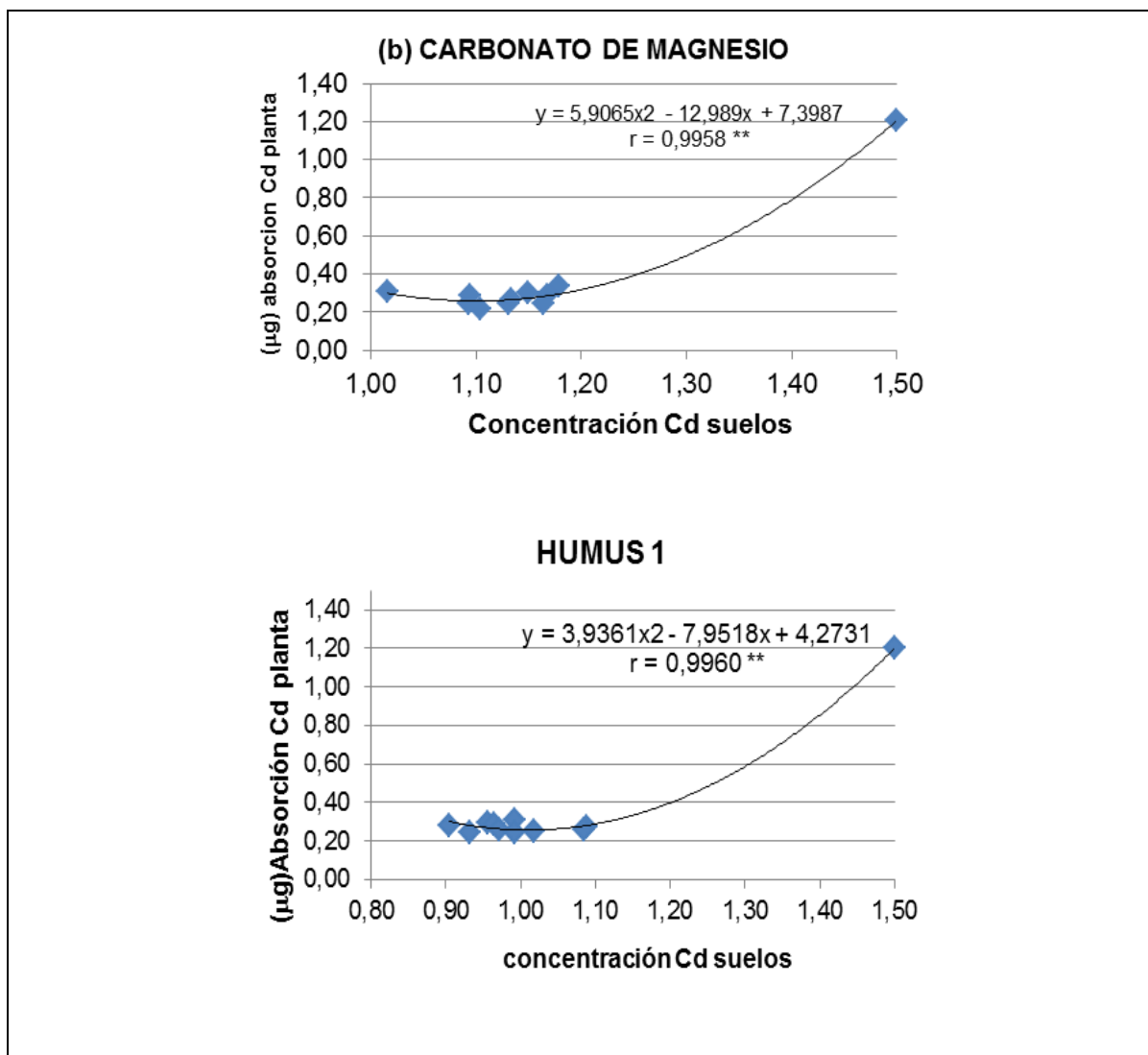
El humus 2 presento valores de 0,43 a 0,65 $\mu\text{g Cd /maceta}$ valores bajos en relación con lo absorbido por el testigo de 1,50 $\mu\text{g Cd /maceta}$. las mejor dosis se a 5 t /ha con un valor de 0,43 $\mu\text{g Cd /maceta}$



En el gráfico 20 se puede apreciar la regresión entre la concentración de Cadmio

absoluta y la concentración de los diferentes tipos de enmienda. Se puede observar que la concentración de Cadmio en el grano de maíz disminuye a medida que se aumenta la dosis de enmienda.





* Significativo ** altamente significativo ^{ns} no significativo

Grafico 20. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó carbonato de magnesio (a) ,zeolita 1 (b) y humus 1 (c).

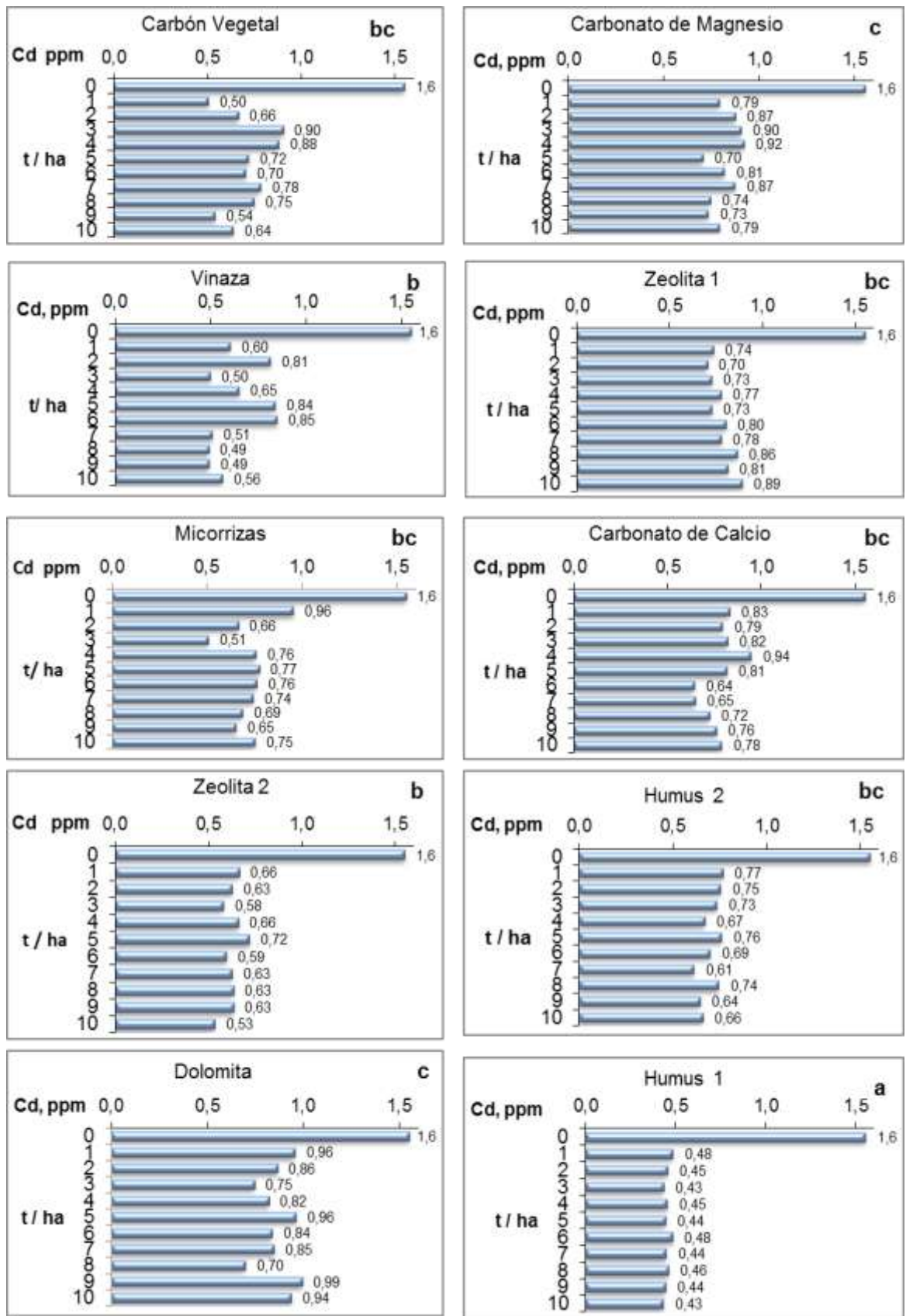
4.3 Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero

4.3.1 Suelo de Guayas

En el gráfico 21 se presenta los efectos de enmiendas y dosis en el suelo contaminados con Cadmio donde se realizó un análisis estadístico que mostro la existencia de diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0001$) según Tukey. Con la aplicación de humus 1 los valores de

Cadmio disminuyeron considerablemente en relación con el valor inicial que fue de 1,70 ppm, al aplicar las distintas dosis se obtuvieron resultados promedios de 0,43 a 0,48 ppm de Cadmio, valores bajos en relación al testigo que presento 1,60 ppm. Las dosis que mejor funcionaron fueron 3 y 5 t/ha con valores de 0,43 y 0,44 ppm.

Otro de los tratamientos que obtuvo una respuesta satisfactoria fue uso de zeolita 2 presentando valores promedios de 0,53 a 0,72 ppm en suelos, que se encuentran por debajo del valor testigo que fue de 1,60 ppm , las dosis que mejor funcionaron en este tratamiento fueron 3 y 10 t/ha con valores de 0,58 y 0,53 ppm respectivamente.

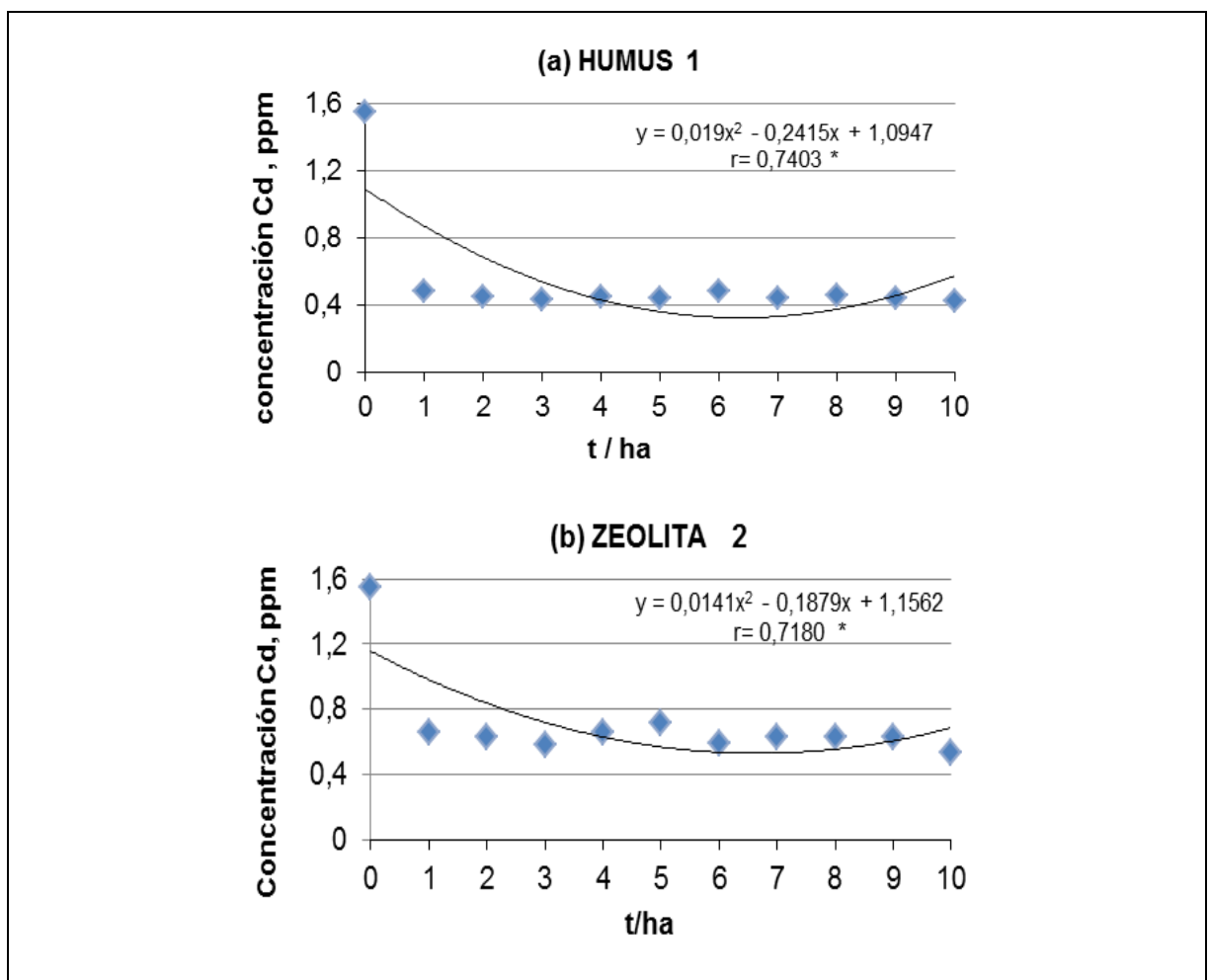


Medias con una misma letra son estadísticamente iguales

Gráfico 21. Efecto de las enmiendas y dosis en el suelo contaminando con Cadmio para la finca de la provincia del Guayas.

En la gráfico 22 se puede observar regresiones entre las cantidades de enmiendas aplicadas y los contenidos de Cadmio obtenidos para el caso de humus 1 se encontraron relaciones significativas al 5 %. Al aplicar las diferentes dosis el contenido de Cadmio empieza a disminuir encontrándose valores promedios de 0,43 a 0,48 ppm, cantidades bajas en relación con le testigo que fue de 1,60, resultando las mejores dosis 3 y 5 t/ha que fueron las que arrojaron valores de 0,43 y 0,44 ppm.

También se encontraron relaciones significativas al 5%. Cuando se aplicó las diferentes dosis de zeolita 2, el contenido de Cadmio presenta valores promedios de 0,63 a 0,58 ppm, cantidades encontradas por debajo del valor testigo que presentó 1,60 ppm. Las dosis que mejor funcionaron fueron 3 y 10 t/ha que nos dieron valores bajos de 0,58 a 0,53 ppm en relación con el valor testigo.



* Significativo 5% ** altamente significativo 1% ^{ns} no significativo

Grafico 22. Efecto de enmiendas y dosis de humus 1 (a) y zeolita (b) sobre la concentración de Cadmio en el suelo de Guayas.

4.3.1.1 Influencia de varios niveles de enmiendas sobre las propiedades químicas del suelo.

En el tabla 10 se muestra la influencia del humus 1 en los valores de potencial hidrogeno ($\text{Ph}_{\text{H}_2\text{O}}$) en el suelo de la provincia del Guayas, caracterizándose por presentar una reacción **Ligeramente Alcalina** ($\text{Ph}_{\text{H}_2\text{O}}=7,8$) valor encontrado inicialmente, con la aplicación de las distintas dosis el valor de pH se mantiene en parámetros de 7,8 a 7,7.

La materia orgánica presentó un porcentaje de 3,1 considerado **Medio** como valor inicial, con la aplicación de las distintas dosis de humus 1, sufre variaciones en su porcentaje llegando así a presentar un promedio de 2,5 considerado **Bajo** en comparación con el testigo

Tabla 10. Influencia del humus 1 en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

Humus 2	DOSIS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pH _{H2O}	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,7
MO	3,1	2,5	2,1	3,0	2,7	2,1	2,4	2,5	2,5	2,8	2,1	

En el tabla 11 se muestra la influencia de la Zeolita 2, en los valores de potencial hidrogeno ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) en el suelo de Guayas, caracterizándose por presentar una reacción **Ligeramente Alcalina** ($\text{Ph}_{\text{H}_2\text{O}}=7,8$) valor encontrado inicialmente, con la aplicación de la zeolita 2 el valor de pH no sufre variaciones.

En cuanto a la materia orgánica presento un valor inicial de 3,1 % considerado **Medio** con la aplicación de las distintas dosis de zeolita 2, sufre variaciones en su porcentaje llegando así un promedio de 2,3 considerado **Bajo** en comparación con el testigo.

Tabla 11. Influencia del zeolita 2 en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

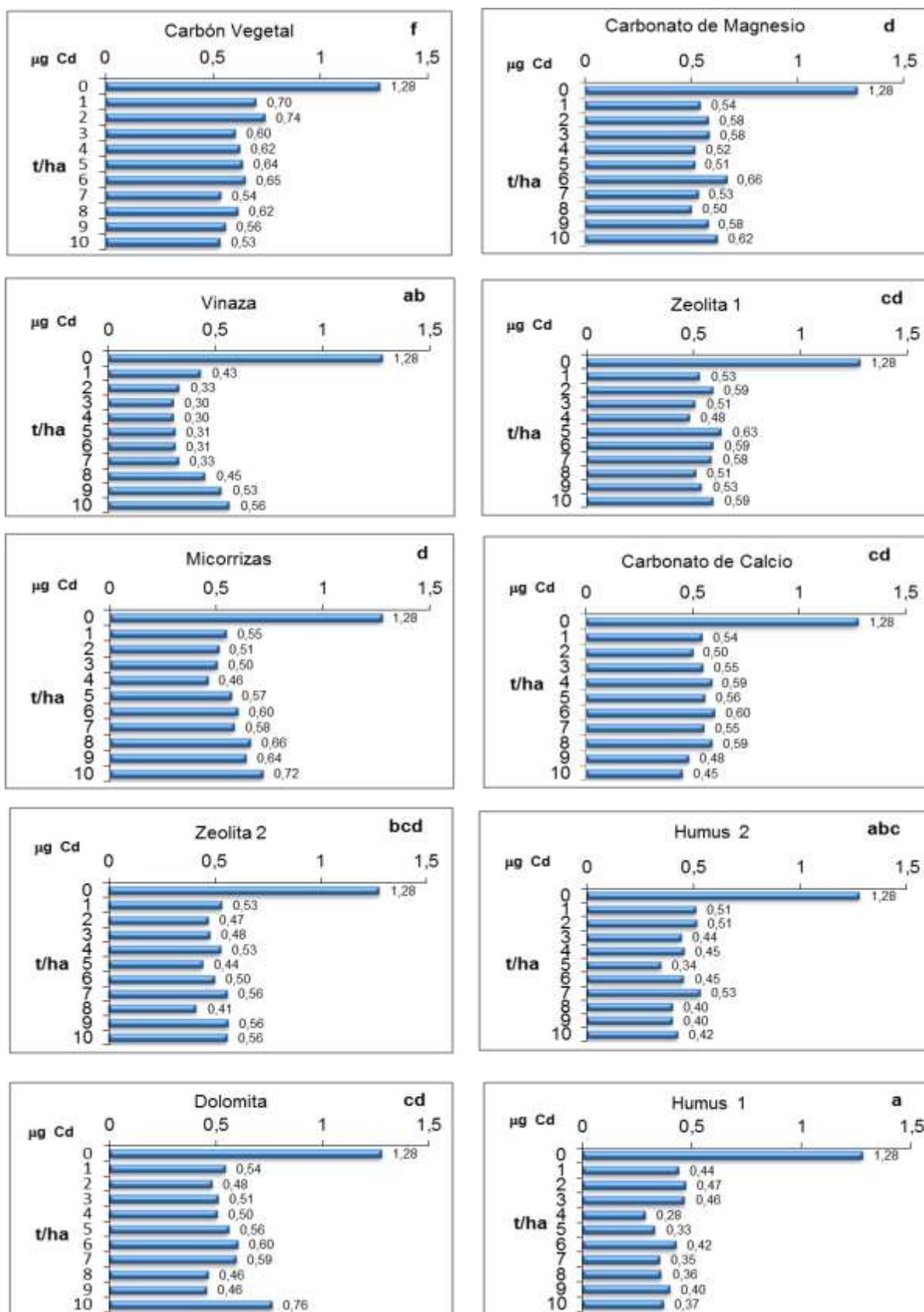
Zeolita 2	DOSIS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH_{H2O}	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,8	7,8	7,9	7,8	7,8
MO (%)	3,1	2,5	2,1	2,2	2,9	2,2	1,7	2,1	2,8	2,4	2,2

4.3.2 Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis para la provincia Guayas

4.3.2.1 Respuesta de diferentes niveles de enmiendas sobre la absorción de Cadmio en la parte aérea de las plantas.

En el gráfico 23 se puede apreciar la respuesta de la absorción de Cadmio en la parte aérea de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas, aplicadas al suelo en la provincia de Guayas, al realizar el análisis estadístico se encontró diferencias significativas para dosis, enmiendas ($p > 0.0001$) según Tukey. Donde los mejores tratamientos se dieron con la utilización de humus 1 que presento valores promedios de 0,28 a 0,47 $\mu\text{g Cd /maceta}$, siendo notable que estos contenidos se encuentran por debajo del testigo que presentó 1,28 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis que permiten que el Cadmio llegue en mínima cantidad a la parte aérea de la planta fueron 4 y 5 t/ha, con valores de 0,28 y 0,33 $\mu\text{g Cd /maceta}$.

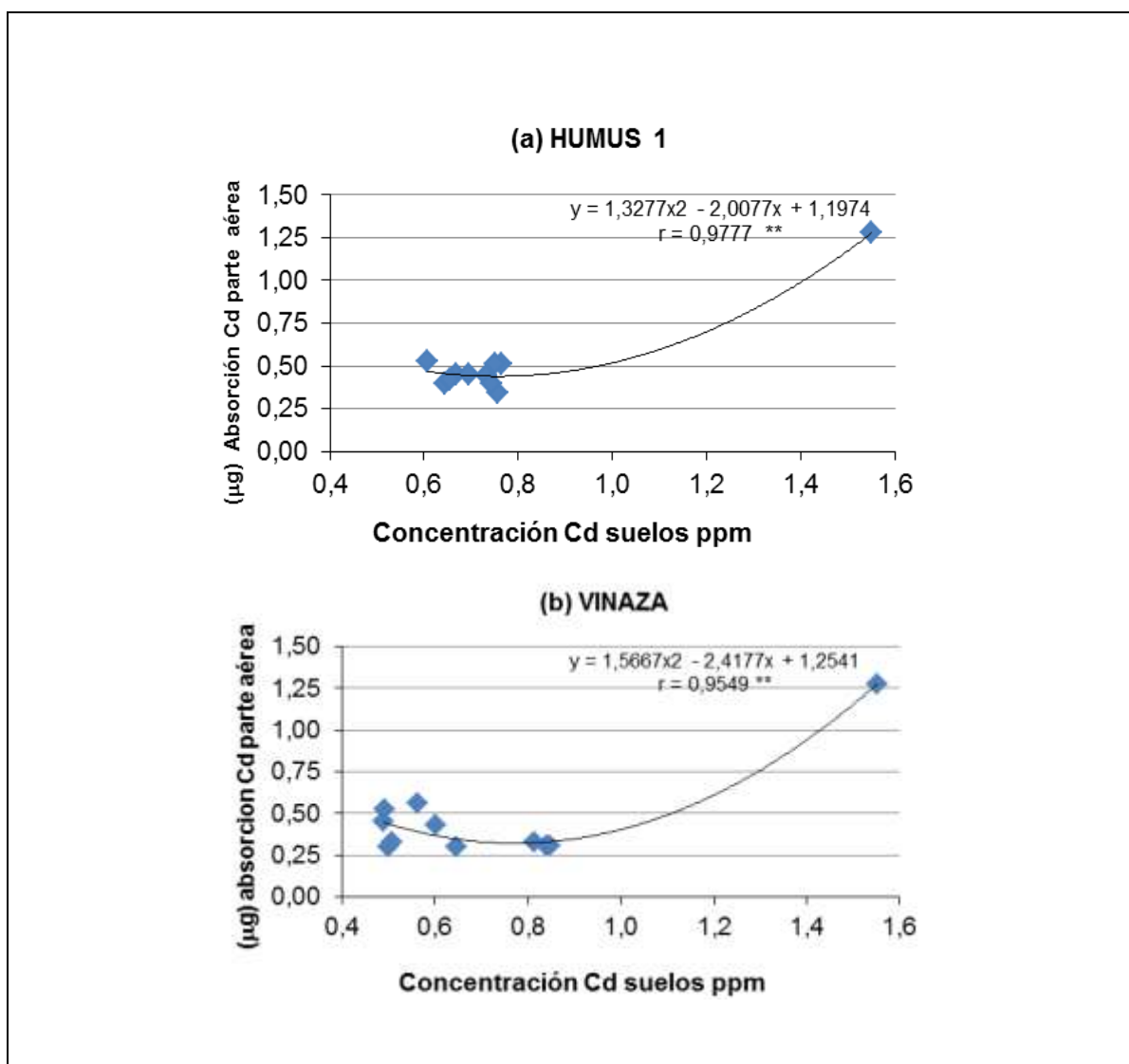
Con la utilización vinaza la respuesta mostrada en la parte aérea de la planta al aplicar las distintas dosis presentó valores de 0,30 a 0,56 $\mu\text{g Cd /maceta}$, cantidades encontradas por debajo el testigo el cual absorbió 1,28 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis que permiten una menor absorción de cantidad de Cadmio es 3 y 6 t/ha con valores promedios de 0,30 a 0,31 $\mu\text{g Cd /maceta}$.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 23. Respuesta de la absorción de Cadmio de la parte aérea de las plantas de arroz sometidas a diferentes enmiendas y dosis.

En el gráfico 24 se observa la relación entre las concentraciones de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la parte aérea. Cuando se aplicó humus 1 y vinaza. Se encontró relaciones altamente significativas al 1%. Entendiéndose que la absorción de Cadmio en la parte aérea de las plantas esta relacionada con la concentración de Cadmio en el suelo. Asimismo el humus 1 y vinaza aplicadas influyen en los resultados en esta relación.



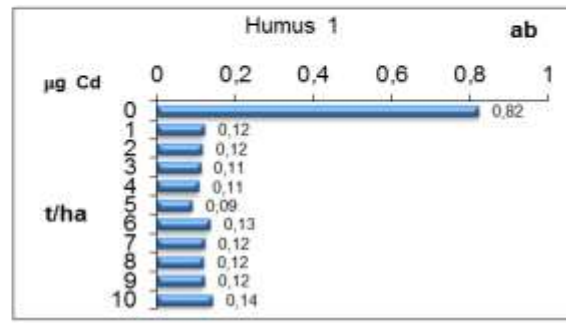
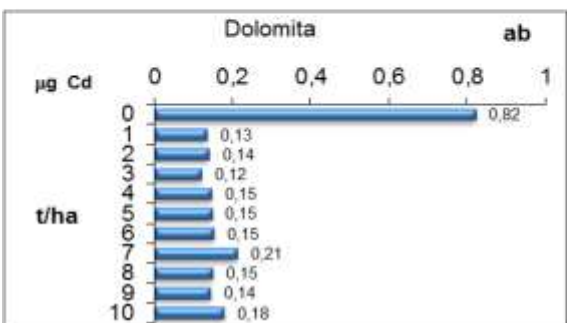
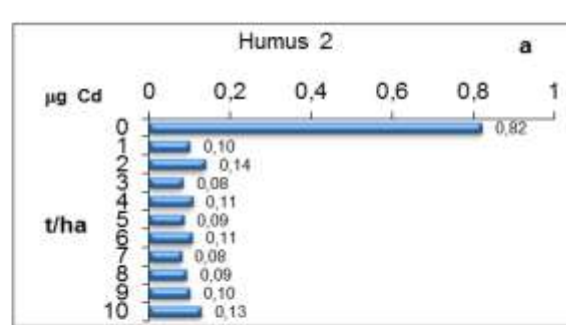
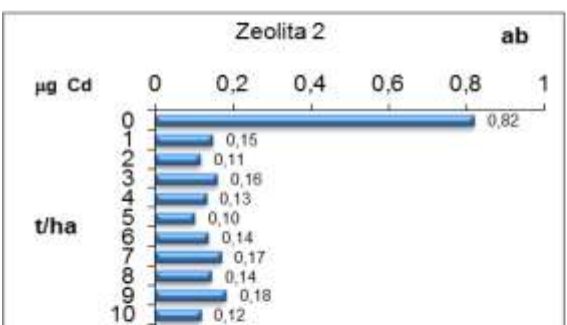
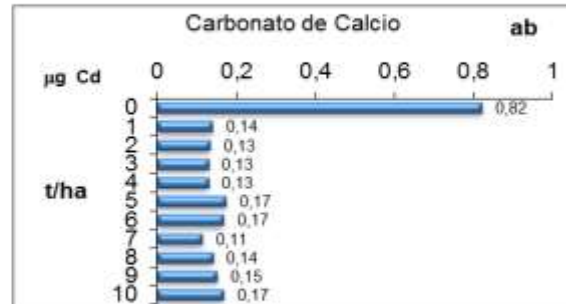
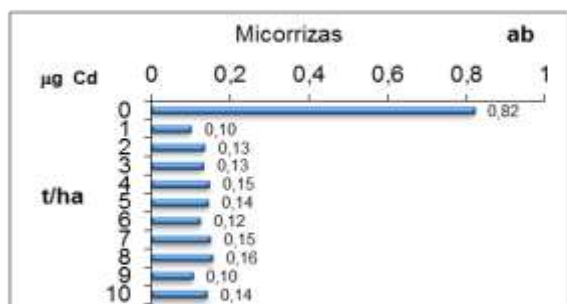
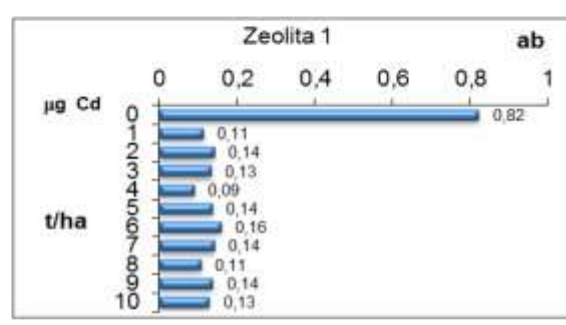
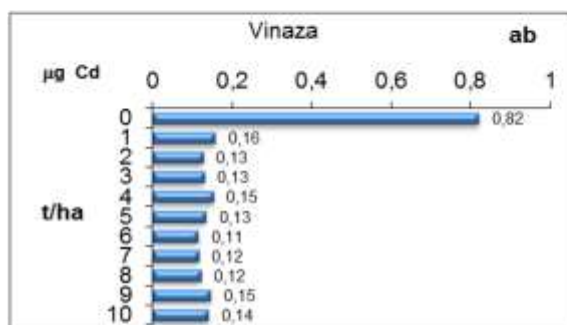
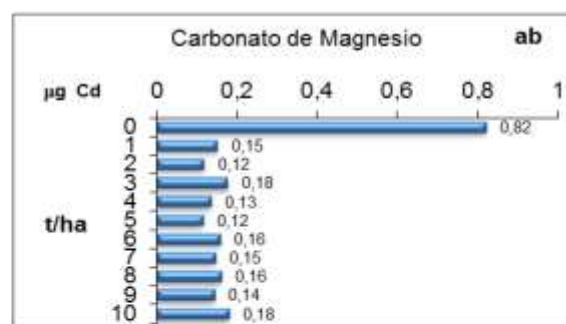
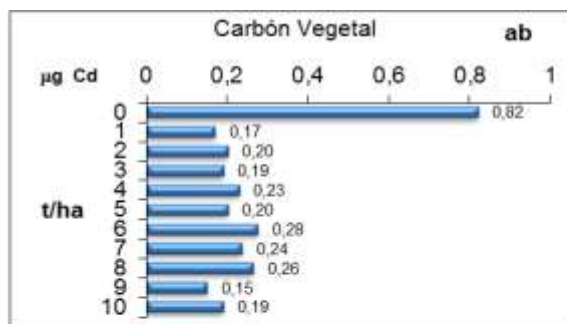
* Significativo 5 % ** altamente significativo 1 % ^{ns} no significativo

Gráfico 24. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la parte aérea de las plantas cuando se aplicó humus 1 (a) y vinaza (b).

4.3.2.2 Respuesta de diferentes niveles de enmiendas sobre la absorción de Cadmio en la parte radical de la planta.

En el gráfico 25 se muestra la respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo en la provincia de Guayas. Encontrando que existen diferencias significativas entre enmiendas y dosis y la interacción de las dos ($p < 0.0001$) según Tukey. Los mejores tratamientos se dieron con la utilización de humus 2 que presento valores promedios de 0,09 a 0,14 $\mu\text{g Cd /maceta}$, valores que se encuentran por debajo del testigo de 0,82 $\mu\text{g Cd/maceta}$. Las mejores dosis que permitieron la absorción por parte de la raíz se de en mínima cantidad fue 3 y 5 t /ha, con valores de 0,08 y 0,09 $\mu\text{g Cd /maceta}$ consecutivamente.

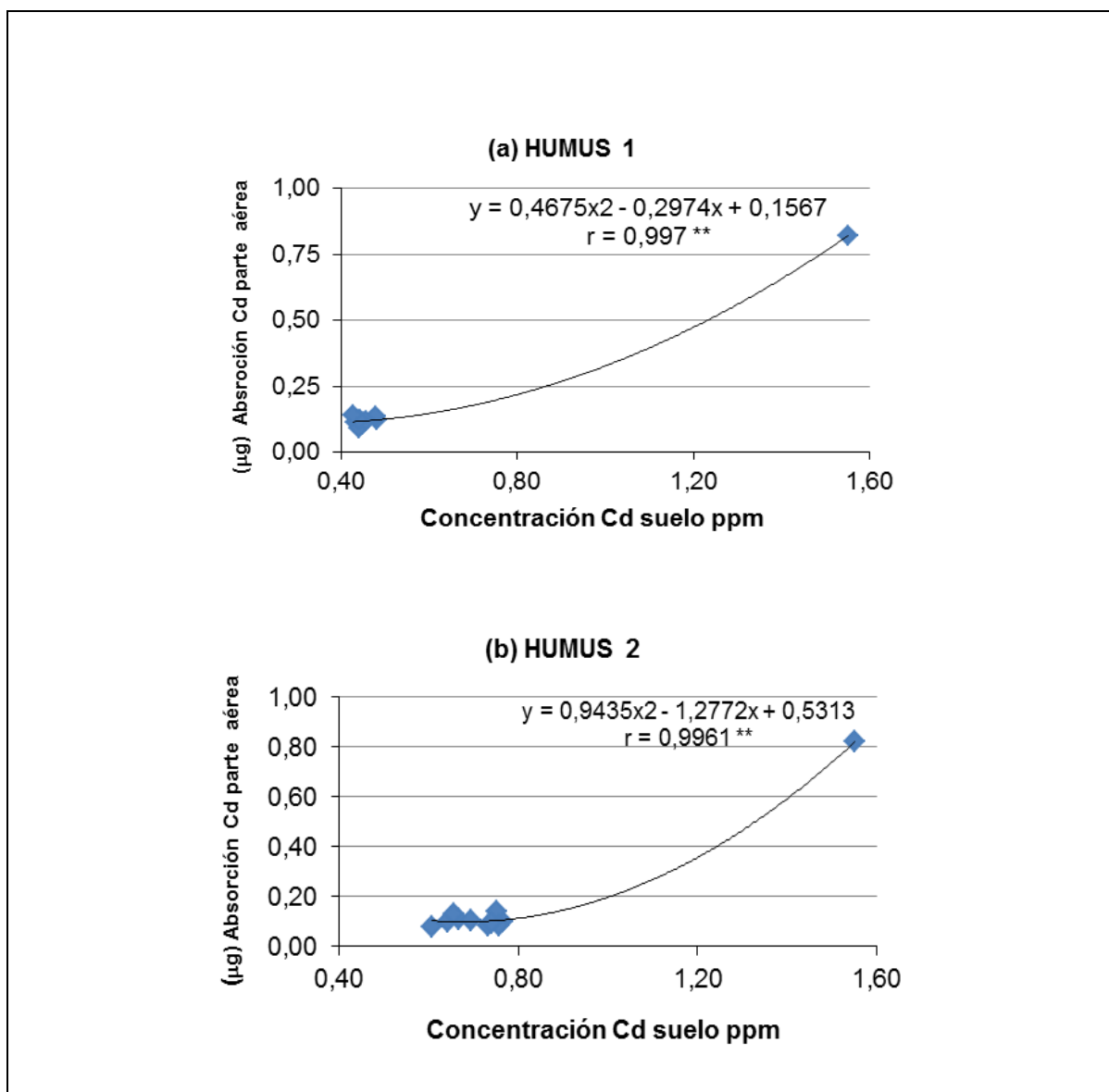
Con la utilización del tratamiento a base de humus 1, la respuesta mostrada por la parte radical de la planta presentó valores de 0,09 a 0,14 $\mu\text{g Cd /maceta}$, notándose diferencia en relación al testigo de 0,82 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis para una menor absorción de Cadmio se daría al aplicar 3 y 5 t/ha con valores promedios de 0,11 y 0,09 $\mu\text{g Cd /maceta}$ respectivamente.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 25. Se muestra la respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo de la provincia del Guayas.

En el gráfico 26 se muestra la regresiones entre las concentraciones de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido por la parte aérea cuando se aplicó humus 2 y humus 1, encontrándose relaciones altamente significativas al 1 %. Los resultados obtenidos en la parte radical guarda analogía con lo encontrado en la parte aérea.



* Significativo 5 % ** Altamente Significativo 1 % ^{ns} No significativo

Grafico 26. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó humus 1(a) y humus 1(b).

4.3.3 Efecto de los diferentes niveles de enmiendas sobre la capacidad de absorción μg Cadmio/g del total de materia seca en plantas de arroz (*oryza sativa* L.), variedad INIAP- 415

En el gráfico 27 se muestra la respuesta de la absorción de μg Cd absorbido /g del total de materia seca, sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo en la provincia del Guayas. Los mejores tratamientos se dieron con la utilización de humus 1 que presentó valores promedios de 0,22 a 0,31 μg Cd absorbido / g del total de materia seca, valores se encuentran por debajo del testigo que presentó 0,68 μg Cd absorbido / g del total de materia seca.

Con la utilización del tratamiento a base de humus 2 la respuesta mostrada en la relación con los μg Cd absorbido / g del total de materia seca presentó valores de 0,26 a 0,37 μg Cd / g del total de materia seca, siendo apreciable que estos valores presentan diferencia en relación al testigo con 0,68 μg Cd absorbido / g del total de materia seca.

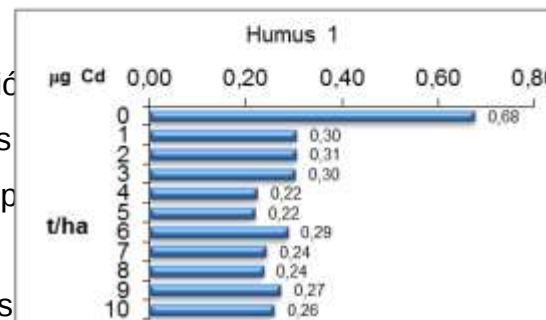
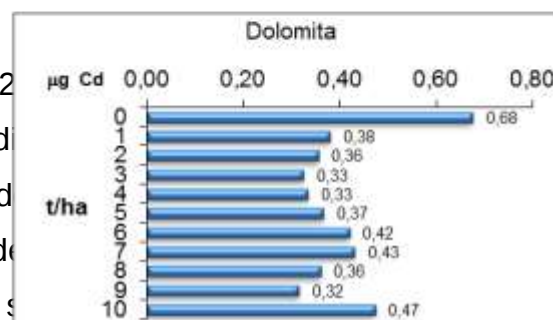
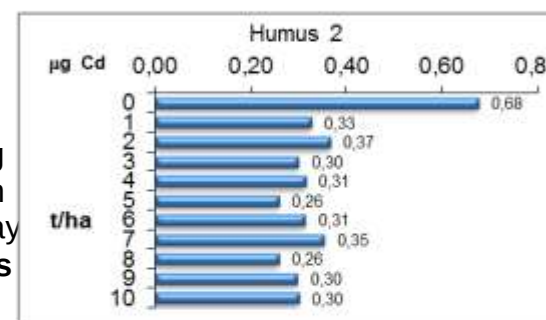
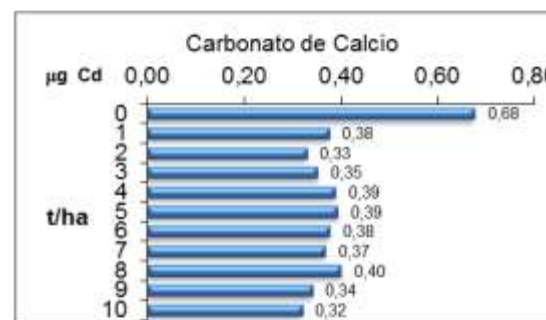
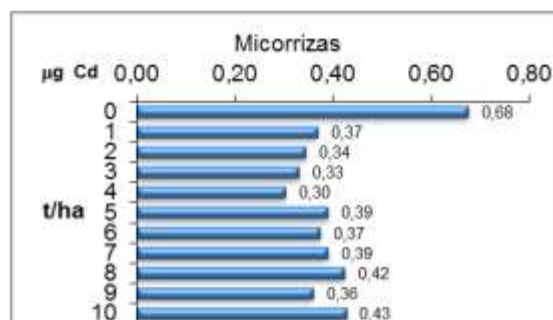
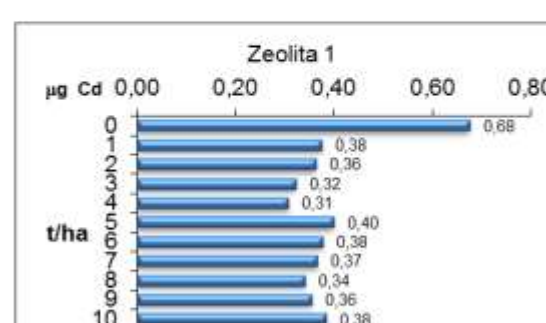
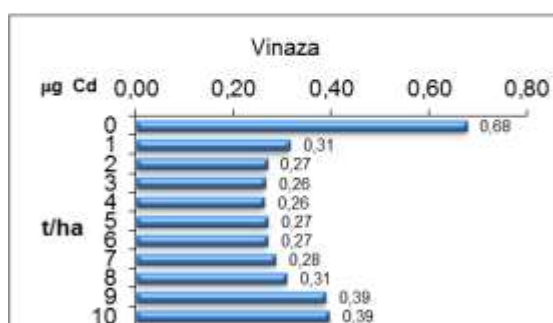
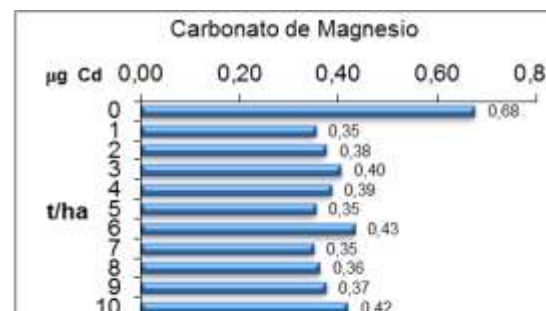
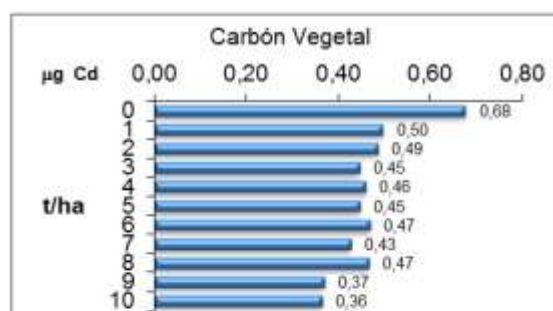


Gráfico 27.

4.3.4 Influencia

de Cadmio en plantas

En el gráfico 27 se muestran los

sometidas a diferentes dosis de

Guayas, donde se observó una

interacción de los diferentes

tratamientos con las dosis de

promedios de 0,39 a 0,58 µg Cd /maceta,

estos valores se encuentran por debajo

del testigo que presento 2,10 µg Cd /maceta.

Las mejores dosis que funcionaron

g
ón
uay
as

ció
as
s p
.
us

para que la absorción por parte de la planta de en mínima cantidad fue 4 y 5 t/ha, con valores de 0,39 y 0,42 $\mu\text{g Cd}$ /maceta respectivamente.

Otra de las opciones con mejor comportamiento es con humus 2, la respuesta mostrada por la planta al aplicar las distintas dosis presentó valores de 0,43 a 0,65 $\mu\text{g Cd}$ /maceta, siendo apreciable que estas cantidades presentan diferencia en relación al testigo el cual absorbió 2,10 $\mu\text{g Cd}$ /maceta, se parecía que la planta absorbe menor cantidad de Cadmio al aplicar dosis de 5 y 9 t/ha con valores promedios de 0,43 y 0,50 $\mu\text{g Cd}$ /maceta respectivamente.

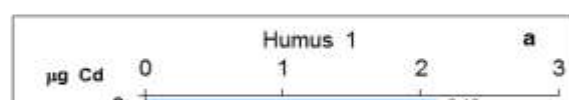
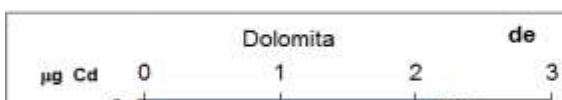
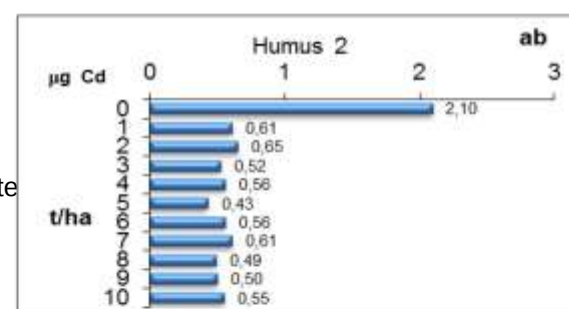
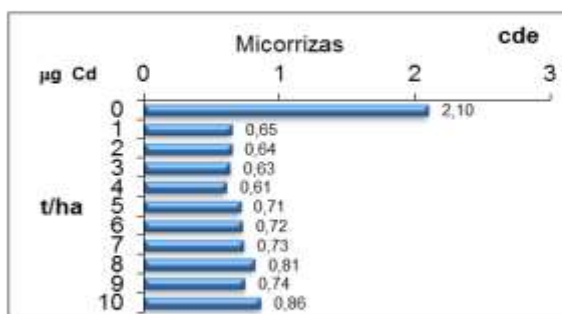
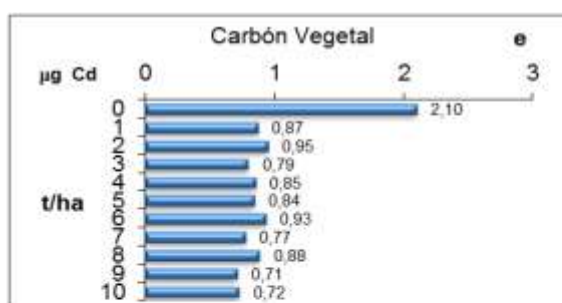
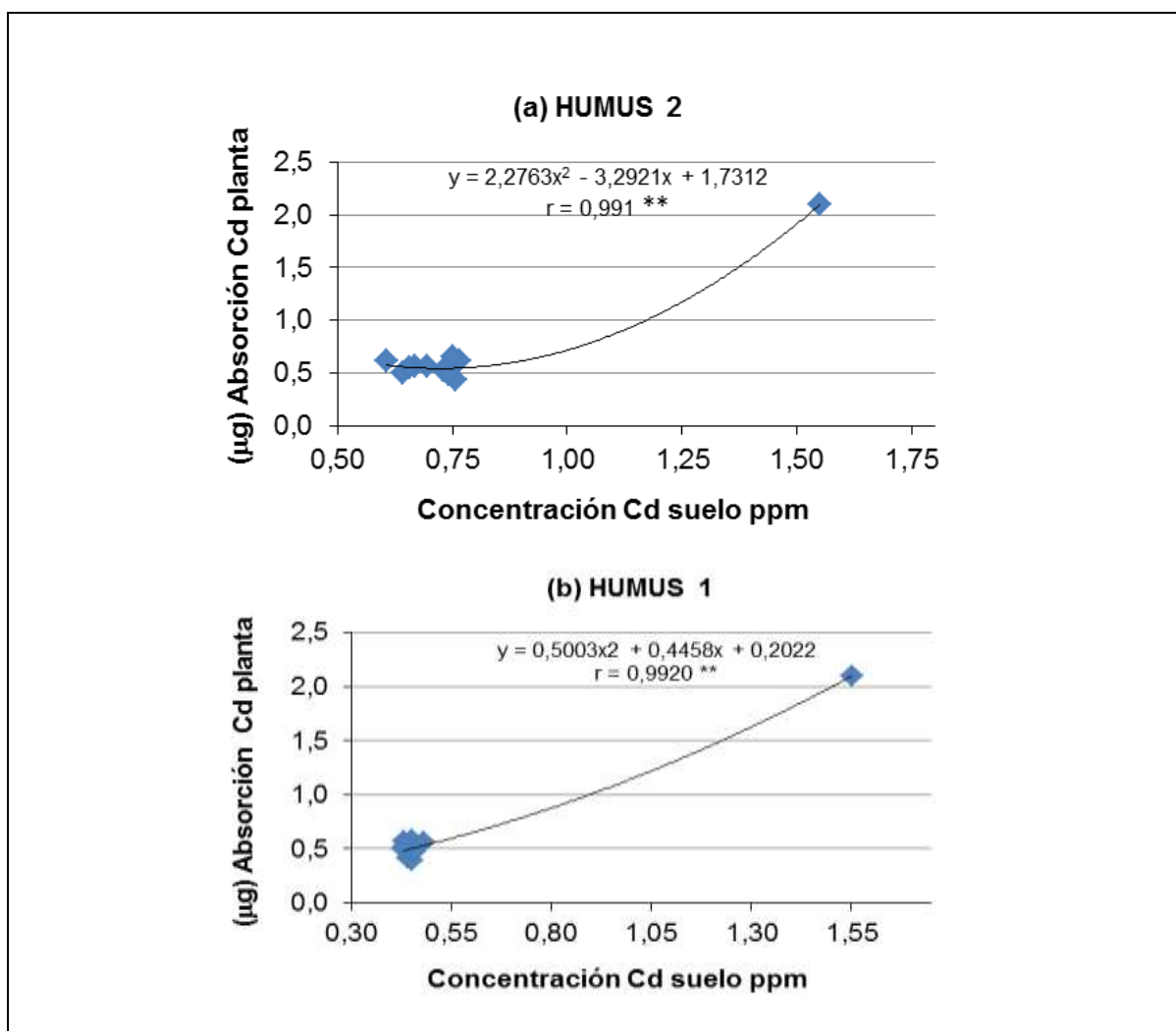


Gráfico 28. Respuesta de la absorción de Cadmio en las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo en la provincia de Guayas.

En el gráfico 29 se presenta la relación entre las concentraciones de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la parte de la planta cuando se aplicó humus (1 y 2), se encontraron relaciones altamente significativas al 1%. Deduciéndose que la absorción total de Cadmio por la planta está relacionado directamente con la concentración de Cadmio disponible en el suelo.



*significativo 5 % ** altamente significativo 1 % ^{NS} no significativo

Gráfico 29. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido por la planta cuando se aplicó humus 1 (a) y humus 1(b).

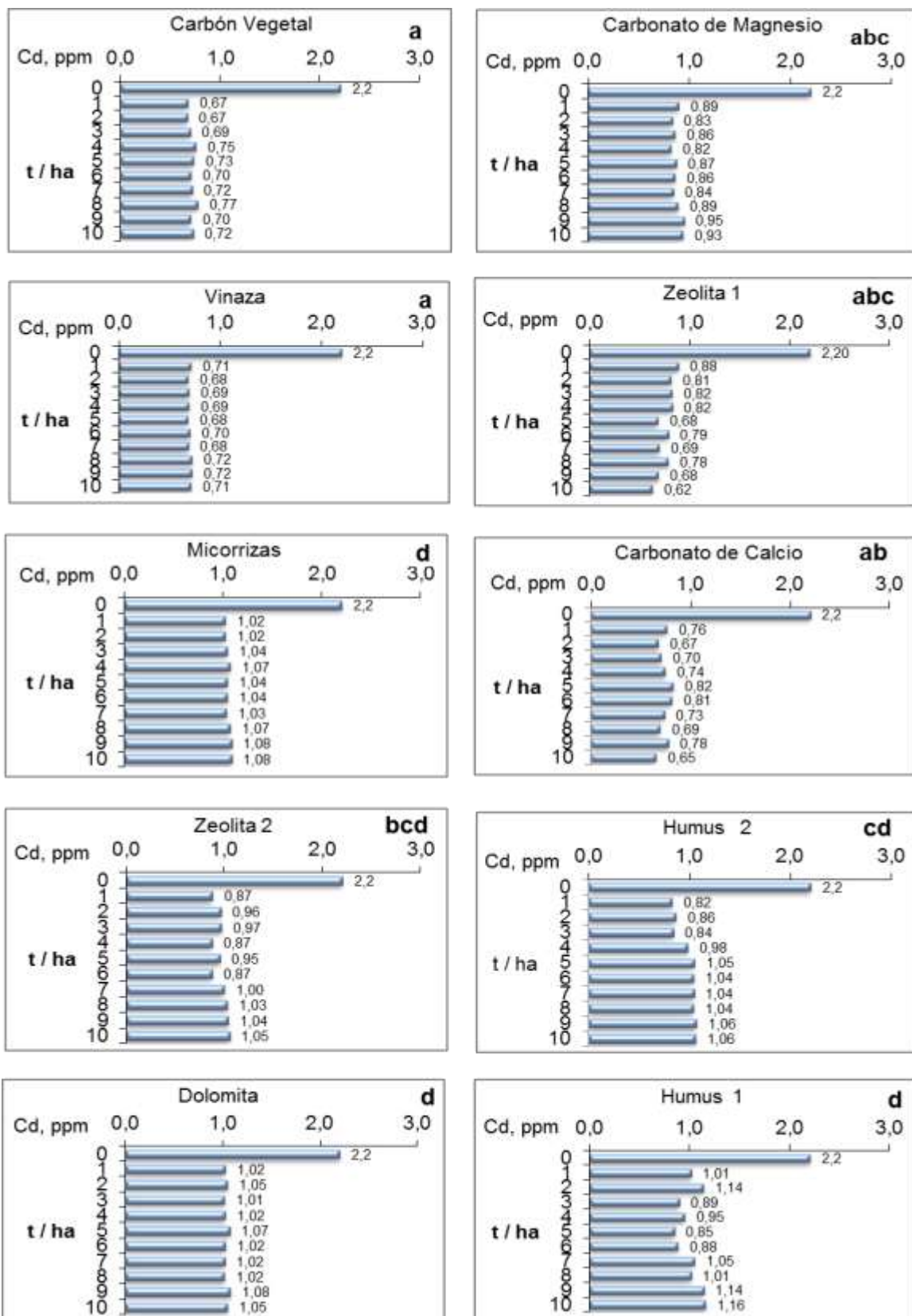
4.4 Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero.

4.4.1 Suelo de la provincia de El Oro

En el gráfico 30 se muestra los efectos de enmiendas y dosis en el suelo contaminado con Cadmio en la provincia de El Oro, al realizar un análisis estadístico se muestra diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción entre ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. Al aplicar el tratamiento a base de vinaza los valores de Cadmio se redujeron en relación con el valor inicial que fue de 2,20 ppm. Con la aplicación de las distintas dosis se llegó a obtener resultados promedios de 0,68 a 0,72 ppm de Cadmio considerados bajos en relación al valor inicial. Las dosis que tuvieron un mejor comportamiento fueron 2 y 3 t/ha, alcanzando valores de 0,68 y 0,69 ppm, respectivamente.

Similar comportamiento se dio con el tratamiento a base de carbón vegetal con distintas dosis, alcanzando promedios de 0,67 a 0,75 ppm en suelos, cantidades que se encuentran por debajo del valor inicial que fue de 2,20 ppm en suelo. Las dosis que mejor función con este tratamiento fueron 1 y 3 t/ha con valores de 0,67 y 0,69 ppm en su orden.

Con el uso de carbonato de calcio en sus diferentes dosis presento promedios de 0,65 a 0,82 ppm, valores que se encuentran por debajo del testigo de 2,20 ppm. Las dosis que mejor funcionaron fue 2 y 10 t/ha con valores de 0,67 y 0,65 ppm respectivamente.



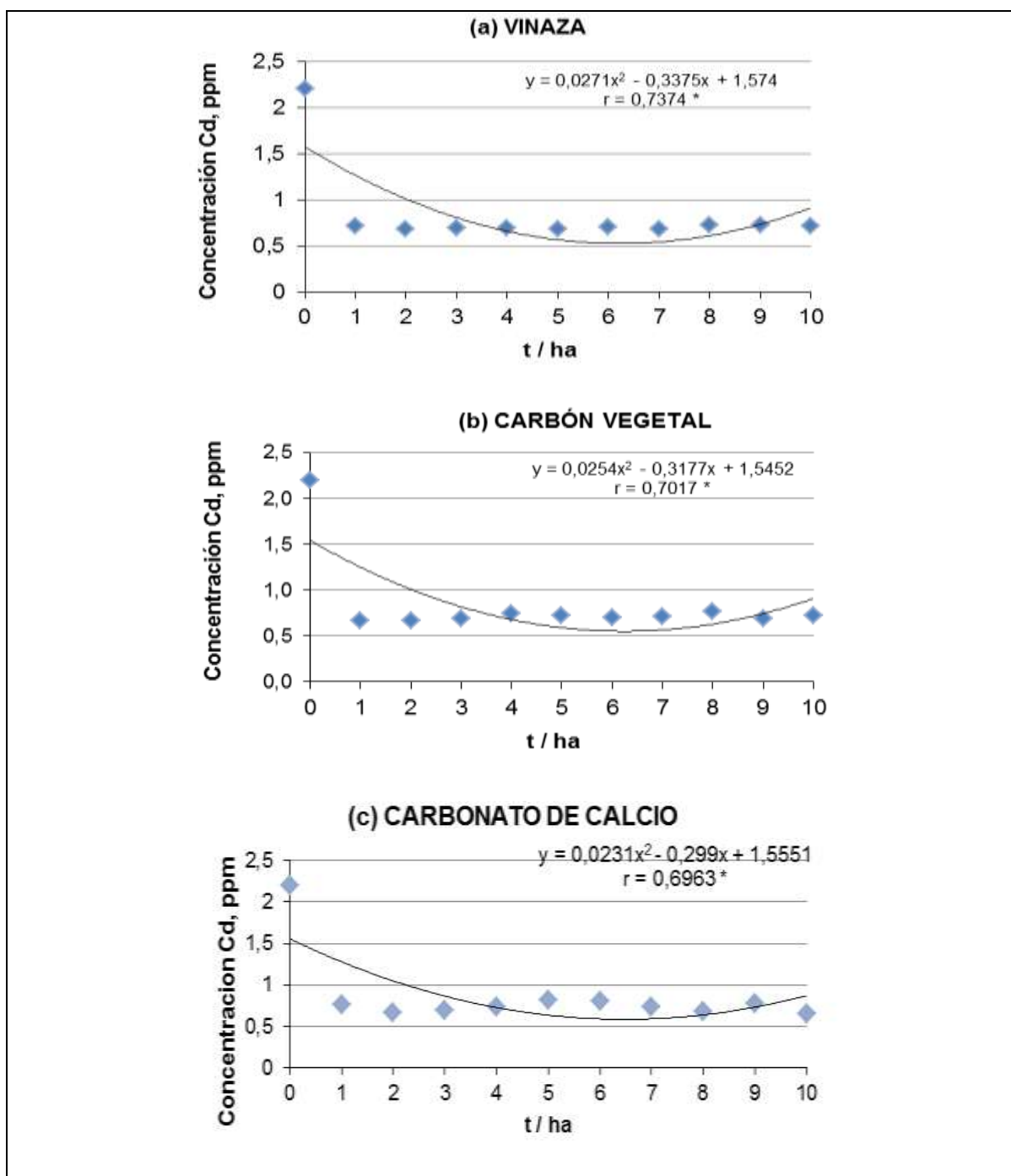
Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales.

Gráfico 30. Efecto de varias dosis de enmiendas sobre las cantidades de Cadmio en suelos contaminados del Oro.

En el gráfico 31 se presentan las regresiones entre las cantidades de la enmienda aplicada y la concentración de Cadmio obtenidas con la aplicación de diferentes dosis de vinaza, se puede observar diferencias significativa al 5%. Encontrándose valores promedio de 0,82 a 1,06 ppm. Las dosis que presentaron un mejor comportamiento, son 2 y 3 t/ha con valores de 0,68 y 0,69 ppm.

También se muestra los efectos producidos por la aplicación de diferentes dosis de carbón vegetal en la concentración de Cadmio en el suelo, donde presentaron relaciones diferencias significativas al 5 %. Encontrándose valores de 0,67 a 0,75 ppm, cantidades que se encuentran por debajo del valor testigo de 2,20 pm. Las mejores dosis se da con 1 y 3 t/ha estos llegan a 0,67 y 0,69 ppm.

Además con la aplicación de las distintas dosis de carbonato de calcio presentaron relaciones significativas al 5%, encontrándose valores promedios de 0,65 a 0,89 ppm, cantidades que se encuentran por debajo del valor testigo de 2,20 ppm las mejores dosis 3 t/ha con 0,67 ppm.



*significativo 5% **altamente significativo 1% ^{ns} no significativo

Gráfico 31. Efecto de las enmiendas y dosis de vinaza (a), carbón vegetal (b), sobre la concentración de Cadmio en el suelo de El Oro.

4.4.1.1 Influencia de varias enmiendas sobre las propiedades químicas el suelo.

En el tabla 12 se muestra la influencia de la vinaza en los valores de potencial hidrogeno (pH_{H_2O}) en los suelos de El Oro, caracterizándose por presentar una reacción **Ligeramente Acida** ($pH_{H_2O}=6,0$), a medida que se aplica las diferentes dosis de esta enmienda no sufre variaciones, se mantiene en **Ligeramente Acido**.

La materia orgánica presento un porcentaje 1,5 % considerado **Bajo** como valor inicial, con la aplicación de las diferentes dosis de Vinaza sufre variaciones en su porcentaje, llegando así a no presentar variaciones en las dosis de 1 a 4 t/ ha; en cambio al aplicar las dosis de 5 a 10 t /ha estos valores presentan un promedio de 2,2% aun así considerados **Bajos**.

Tabla 12. Influencia del vinaza 1 en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

Vinaza	DOSIS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pH _{H2O}	6,0	6,1	6,0	6,1	6,1	6,0	6,2	6,0	6,3	6,3	6,3	
MO (%)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	2,6	2,7	2,2	2,1	2,0	2,2	

En el tabla 13 se manifiesta la influencia del carbón vegetal en los valores de potencial hidrogeno (pH_{H_2O}) en el suelo de la finca cacaotera de El Oro, se caracteriza por presentar una reacción **Ligeramente Acida** ($pH_{H_2O}=6,0$) valor encontrado inicialmente, con la aplicación del carbón vegetal el valor de pH se mantuvo no mostrando variaciones.

La materia orgánica presento un porcentaje 1,5 % considerado **Medio** como valor inicial, con la aplicación de las diferentes dosis de carbón vegetal sufre variaciones en su porcentaje, llegando así a presentar un promedio de 2,0% considerado **Bajo**.

Tabla 13. Influencia del carbón vegetal en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

Carbón vegetal	DOSIS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH_{H2O}	6,0	6,1	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1	6,0	6,1	6,2	6,2
MO (%)	1,5	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,3	2,2	2,5

En el tabla 14 se presenta la influencia del carbonato de calcio en los valores de potencial hidrogeno (pH_{H2O}) en el suelo de la finca cacaotera de El Oro, observándose una reacción medianamente **Acida** (pH₂₀=6,0) valor encontrado inicialmente, al aplicar esta enmienda el valor de pH se modifica llegando a valores promedio de 7,4 considerados **Neutros**

La materia orgánica presento un porcentaje inicial de 1,5 % considerado **Bajo**, con la aplicación de las diferentes dosis de carbonato de calcio sufre variaciones en su porcentaje, llegando así a presentar un promedio de 2,7 % considerado **Bajo**, a medida que se aumenta las dosis de esta enmienda los valores de disminuyen.

Tabla 14. Influencia del carbonato de calcio en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

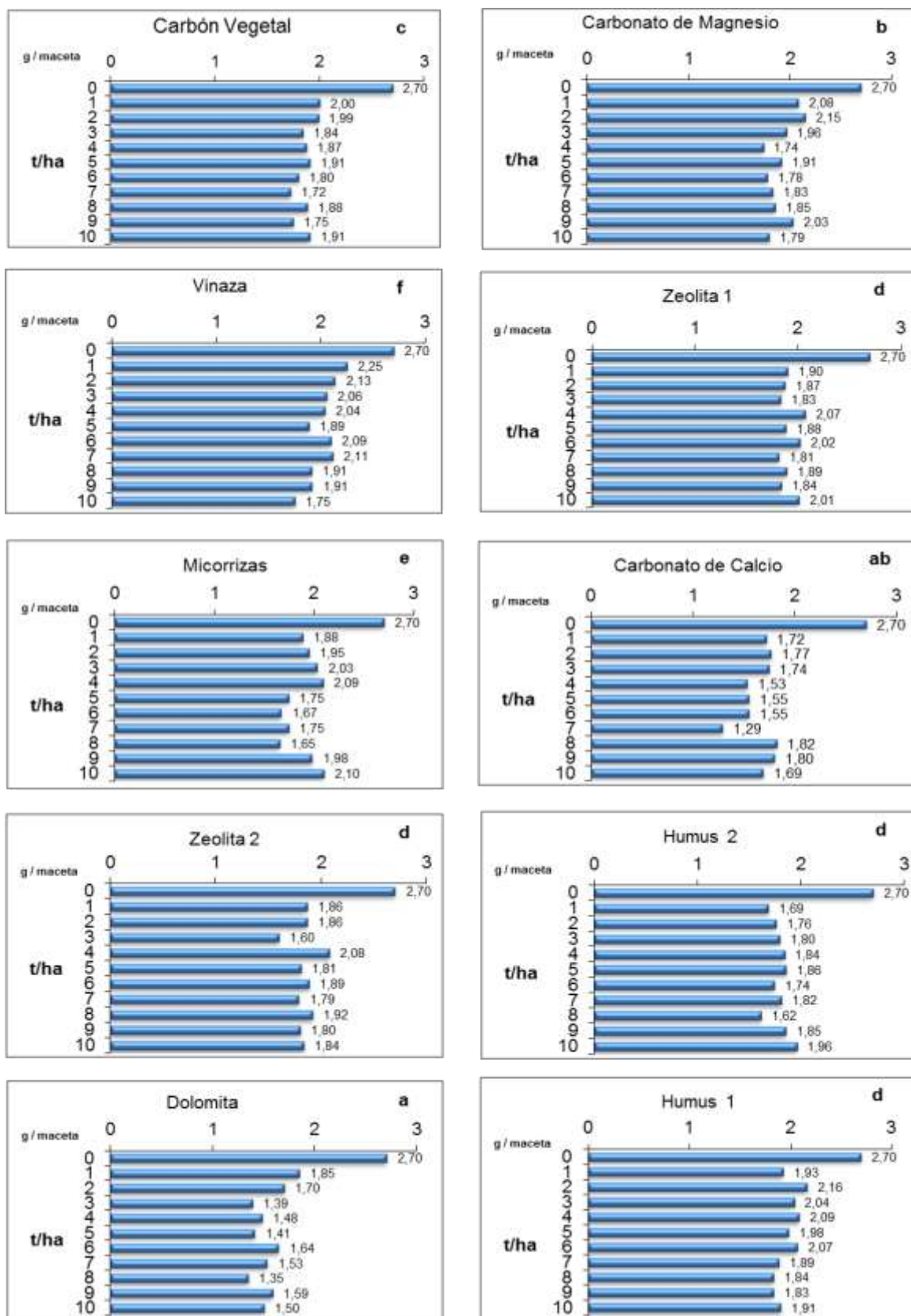
Carbonato de calcio	DOSIS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH_{H2O}	6,0	6,5	6,6	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,3	7,3	7,4
MO (%)	1,5	3,1	3,0	2,6	2,3	2,2	3,1	2,8	2,5	3,0	2,8

4.4.2 Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis para la provincia de El Oro

4.4.2.1 Respuesta de diferentes niveles de enmiendas sobre la absorción de Cadmio en la parte aérea de la plantas.

En el gráfico 32 se divisa la respuesta de la absorción de Cadmio por la parte aérea de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo de El Oro. Al aplicar el análisis estadístico se encontró diferencias altamente significativas para dosis, enmiendas y la interacción de ellas ($p < 0.0001$) según Tukey. Donde los mejores tratamientos se dio con la utilización de dolomita que presento valores promedios de 0,59 a 0,96 $\mu\text{g Cd /maceta}$, observando que estos valores se encuentran por debajo del testigo que presento 11,02 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis que hacen que el Cadmio llegue en mínima cantidad a la parte aérea de la planta fueron 3 y 5 t/ha, con valores de 0,69 y 0,65 $\mu\text{g Cd /maceta}$.

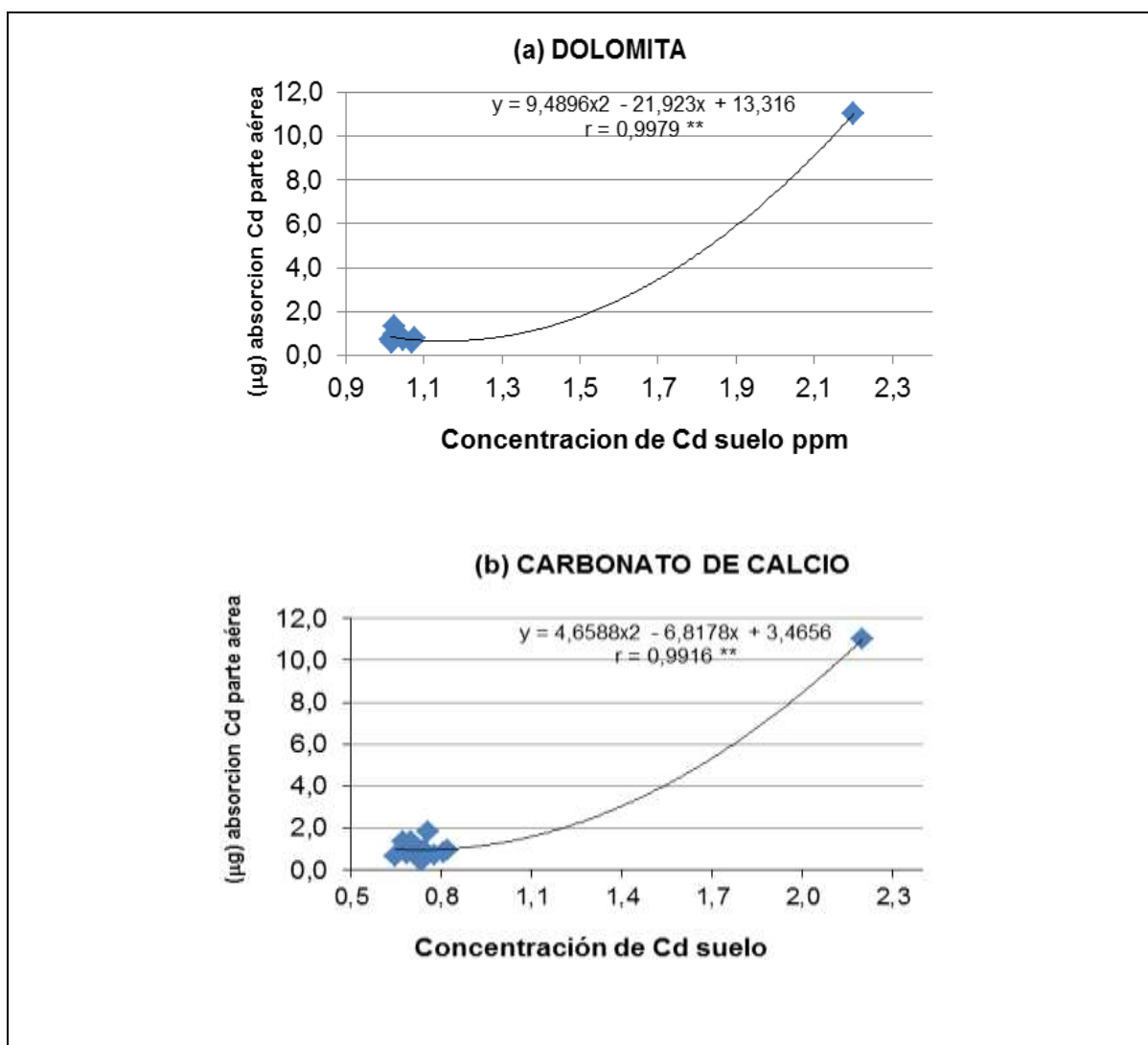
Otro de los tratamientos que lograron poca absorción de Cadmio en la parte aérea de la planta, fue con la utilización diferentes dosis de carbonato de calcio, presentó valores de 0,45 a 1,80 $\mu\text{g Cd /maceta}$, cantidades encontrados por debajo del valor testigo que fue de 11,22 $\mu\text{g Cd /maceta}$. La mejor actuación de las dosis se da al aplicar 7 y 10 t/ha presentando valores de 0,45 a 0,64 $\mu\text{g Cd/maceta}$ respectivamente.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 32. Respuesta de la parte aérea de la planta sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la finca dedicada al cultivo de cacao en la provincia de El Oro.

En el gráfico 33 se aprecia las regresiones entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de μg Cd /maceta Cadmio por la parte aérea, cuando se aplicó dolomita y carbonato de calcio, se encontró diferencias altamente significativas 1%. Esto sugiere que la absorción de Cadmio por la planta esta relacionado directamente con la concentración de Cadmio en el suelo. Además la dolomita y carbonato de calcio aplicados influyen en esta relación.



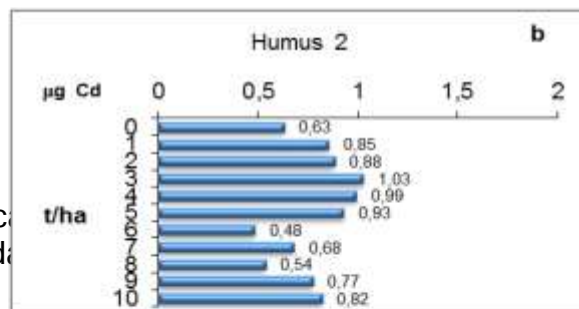
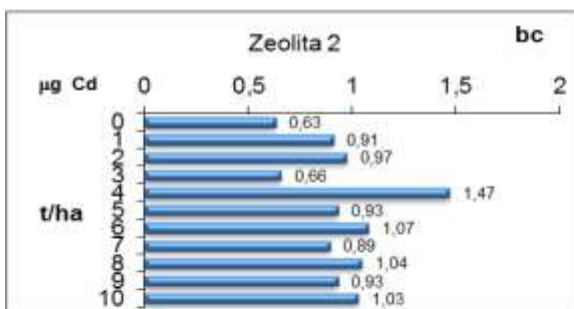
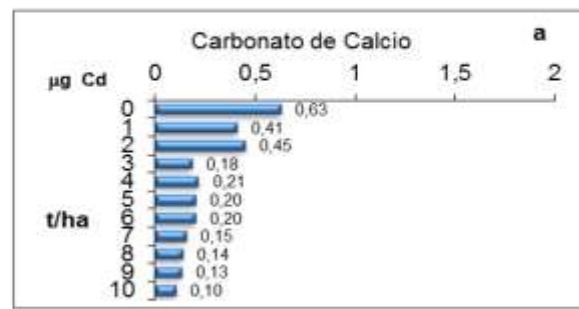
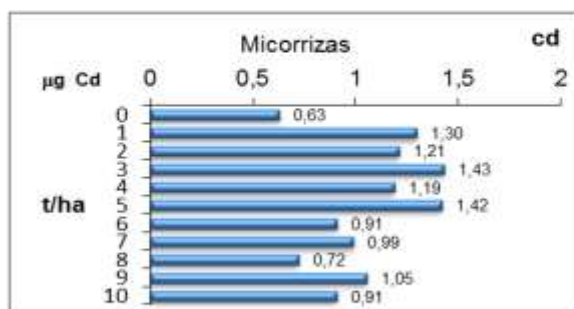
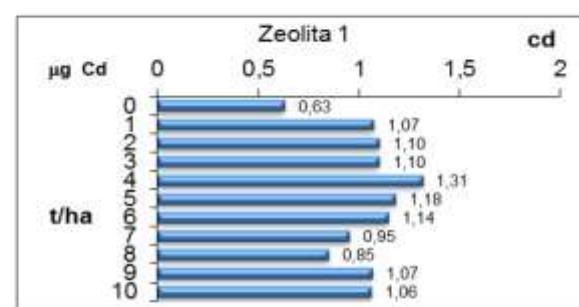
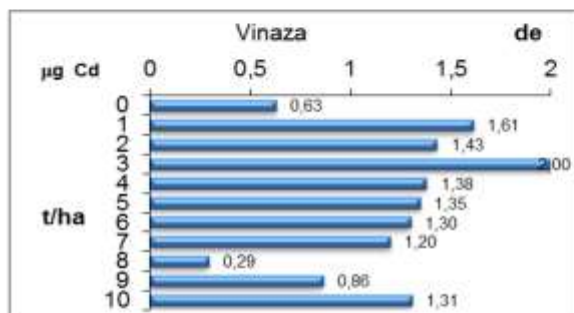
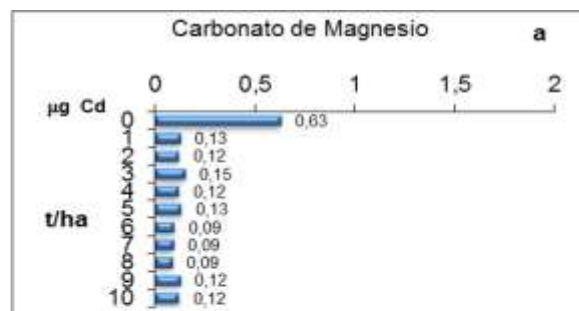
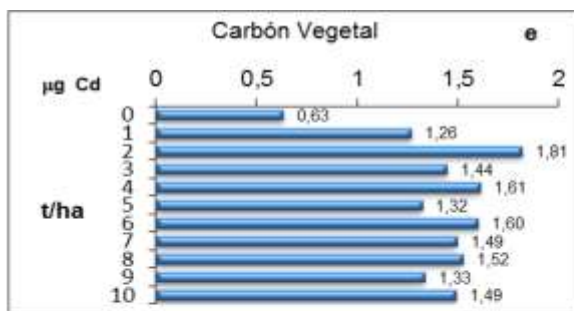
* Significativo 5 % ** altamente significativo 1 % ^{ns} no significativo

Gráfico 33. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó dolomita (a) carbonato de calcio (b).

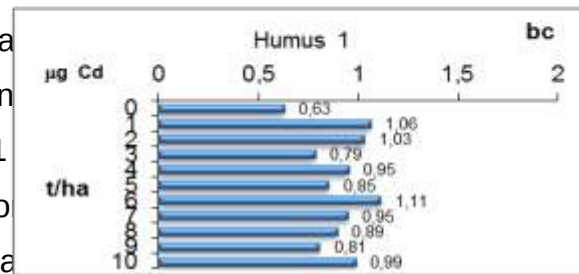
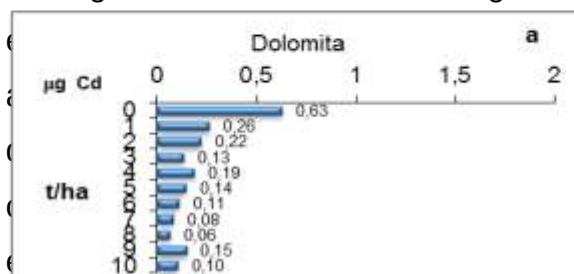
4.4.2.2 Concentración de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes enmiendas y concentración de dosis

En el gráfico 34 se evidencia la respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo en la finca de El Oro, al realizar el análisis estadístico se muestra la existencia de diferencias significativas para dosis ,enmiendas y la interacción de las ellas ($P<0001$) según Tukey. Con la utilización de carbonato de magnesio el cual presento valores promedios de 0,09 a 0,15 $\mu\text{g Cd /maceta}$, valores que se encuentran por debajo del testigo que presento 0,63 $\mu\text{g Cd /maceta}$, es este tratamiento funcionaron mejor las dosis de 2 y 6 t /ha, con valores de 0,12 y 0,09 $\mu\text{g Cd /maceta}$.

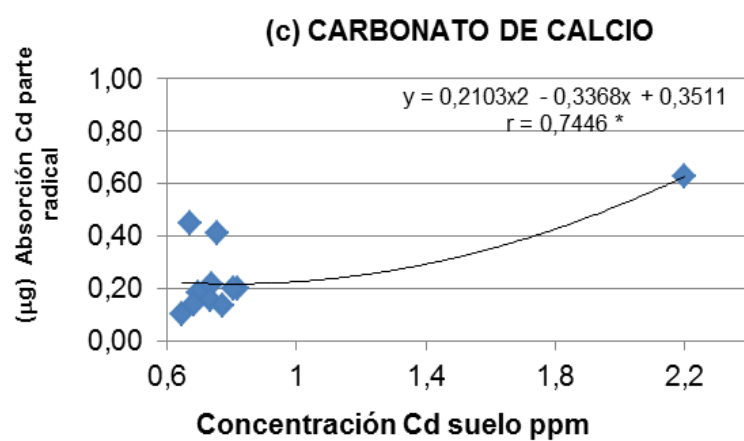
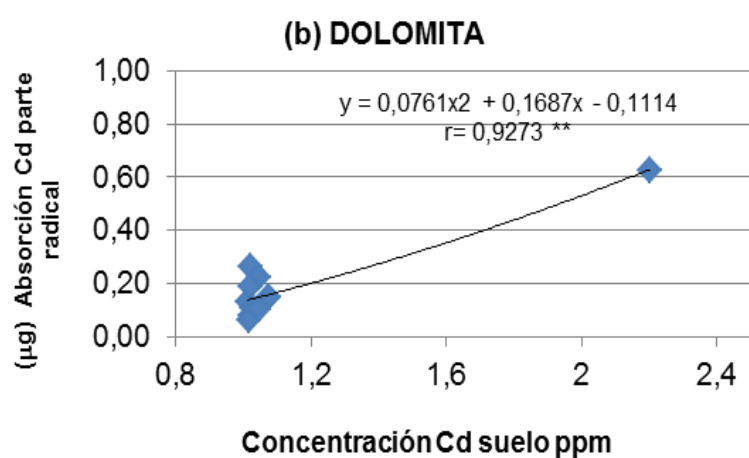
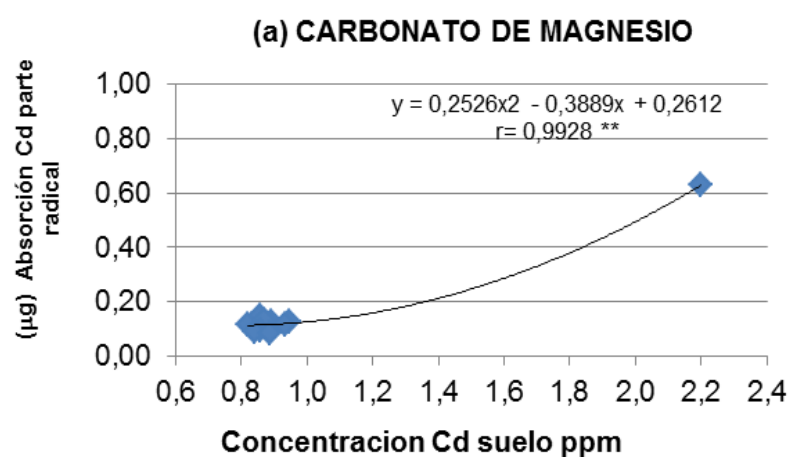
Con la utilización de las distintas dosis de dolomita la respuesta en la parte radical de la planta presentan valores promedios de 0,06 a 0,26 $\mu\text{g Cd /maceta}$, siendo apreciable que estas cantidades se encuentran por debajo del valor testigo de 0,63 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis en este tratamiento se da con la aplicación de 7 y 8 t/ha con valores de 0,08 y 0,06 $\mu\text{g Cd /maceta}$ consecutivamente.



En el gráfico 35 se muestra las regresiones entre las concentraciones de Cadmio en



parte aérea.



* Significativo ** Altamente significativo ^{ns} no significativo

Gráfico 35. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó carbonato de magnesio (a), dolomita(b), carbonato de calcio(c).

4.4.3 Efectos de las diferentes enmiendas sobre la capacidad de absorción de $\mu\text{g Cd /g}$ del total de materia seca en las plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), variedad - 415

En el gráfico 36 se muestra la respuesta de la absorción de $\mu\text{g Cd}$ absorbido/ g del total de materia seca sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo de la provincia de El Oro, los mejores tratamientos se obtuvieron con la utilización de dolomita que presento valores promedios de 0,47 a 0,80 $\mu\text{g Cd}$ absorbido/g del total de materia los valores se encuentran por debajo del testigo que presento 4,01 $\mu\text{g Cd}$ absorbido/g del total de materia seca.

Además, con la utilización de los diferentes niveles de carbonato de calcio, la respuesta en relación con los $\mu\text{g Cd}$ absorbido /g del total de materia seca, presentó promedios de 0,43 a 0,95 $\mu\text{g Cd/ g}$ del total de materia seca, estos valores son mínimos en relación al testigo con 4,01 $\mu\text{g Cd}$ absorbido /g del total de materia seca.

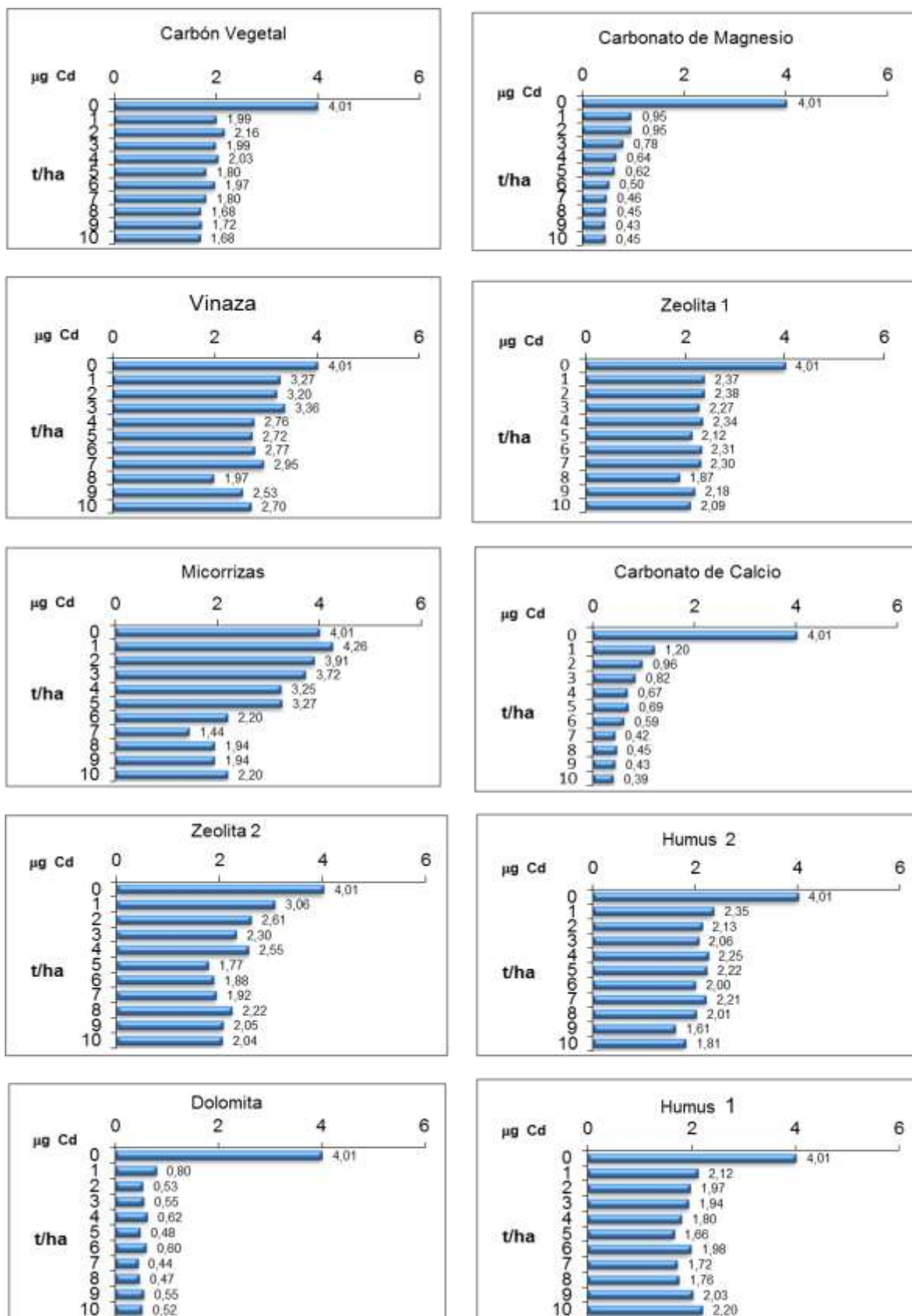
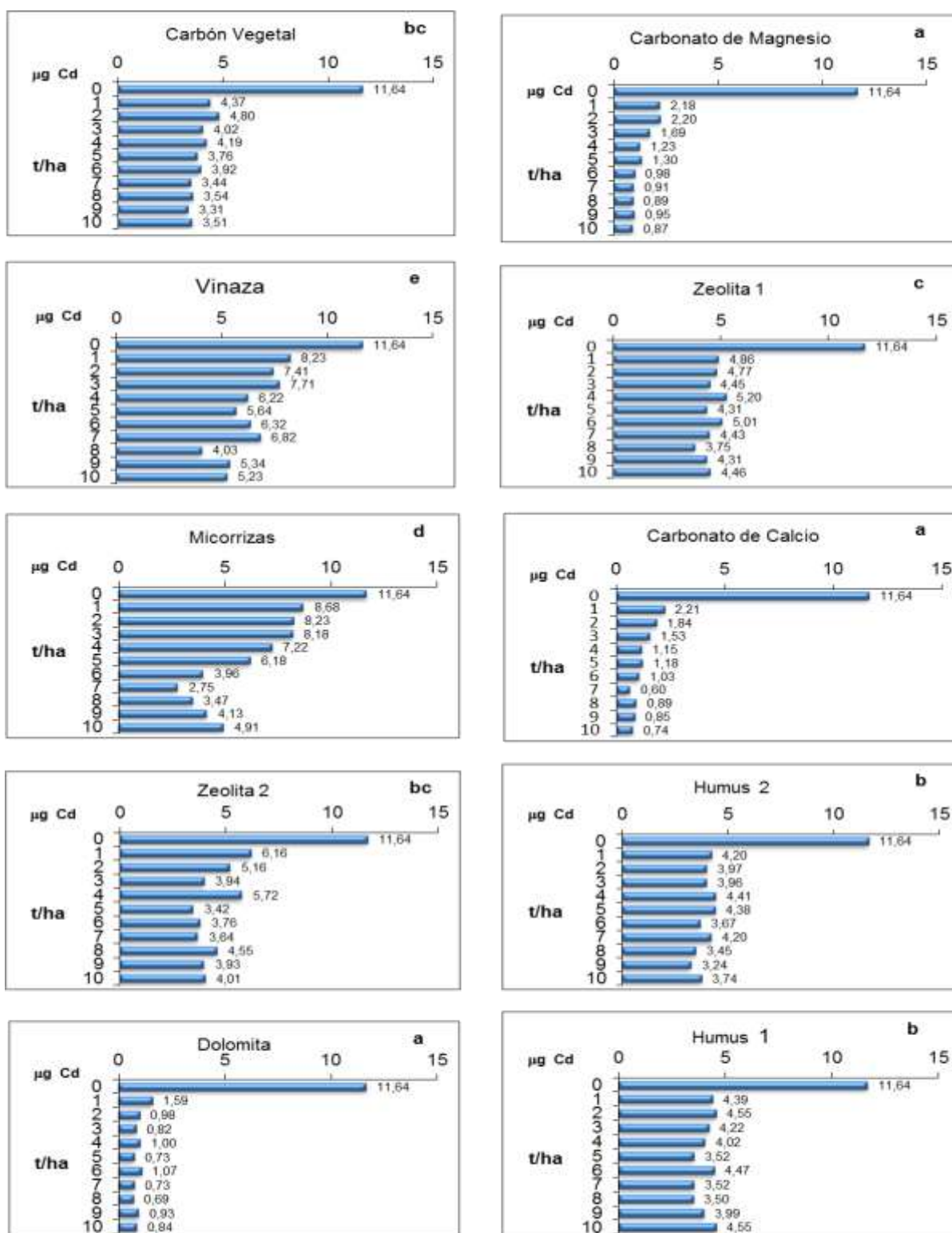


Gráfico 36. Respuesta los $\mu\text{g Cd}$ absorbido / g del total de materia seca de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio.

4.4.4 Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas

En el gráfico 37 se manifiesta la respuesta de la absorción de Cd en las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo de la provincia de El Oro, donde se encontró la existencia de diferencias significativas entre dosis, enmiendas y la interacción de las dos ($p < 0001$) según Tukey. Los mejores resultados se dieron con la utilización de dolomita presentando valores promedios de 0,69 a 1,59 $\mu\text{g Cd /maceta}$, cantidades que se encuentran por debajo del testigo que presento 11,64 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las dosis que mejor funcionaron fueron 7 y 8 t /ha con valores de 0,73 y 0,69 $\mu\text{g Cd /maceta}$ consecutivamente.

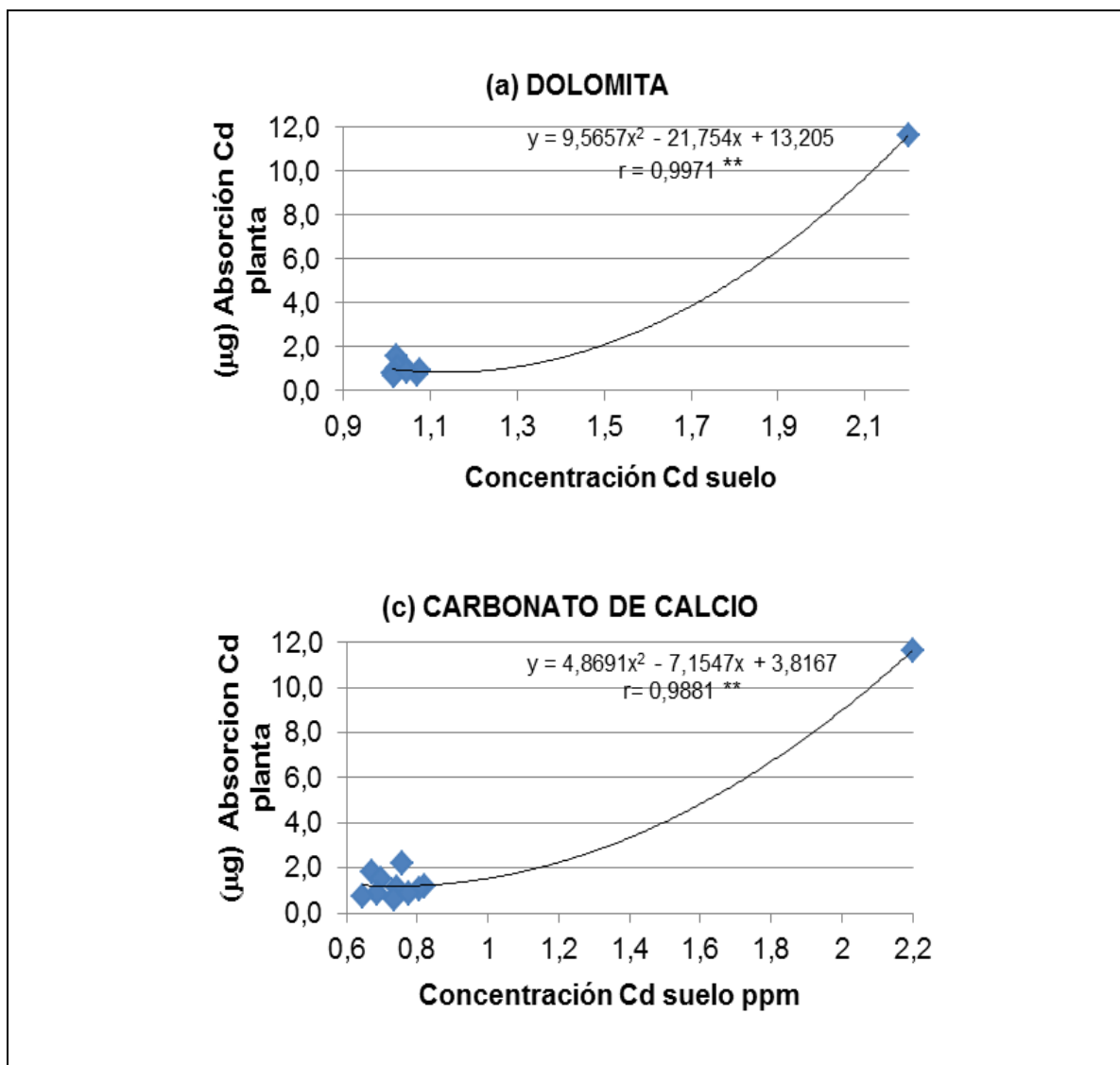
Con la utilización de las distintas dosis de carbonato de calcio la respuesta de la planta muestra valores promedios de 0,60 a 2,21 $\mu\text{g Cd /maceta}$, estas cantidades se están por debajo del valor testigo con 11,64 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis que se presenta con la aplicación de esta enmienda es de 7 y 10 t/ha, alcanzando valores de absorción en la planta de 0,60 y 0,74 $\mu\text{g Cd /maceta}$ respectivamente.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 37. Respuesta de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la provincia de El Oro.

En el gráfico 38 se visualiza la relación entre las concentraciones de Cadmio en suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la planta, al realizar la aplicación de las diferentes dosis de dolomita, carbonato de calcio y carbonato de magnesio, se encontró diferencias altamente significativas al 1%. Entendiéndose que la absorción total de Cadmio por la planta está relacionado directamente con la concentración de Cadmio disponible en el suelo.



* Significativo 5 % ** altamente significativo 1 % ^{ns} no significativo

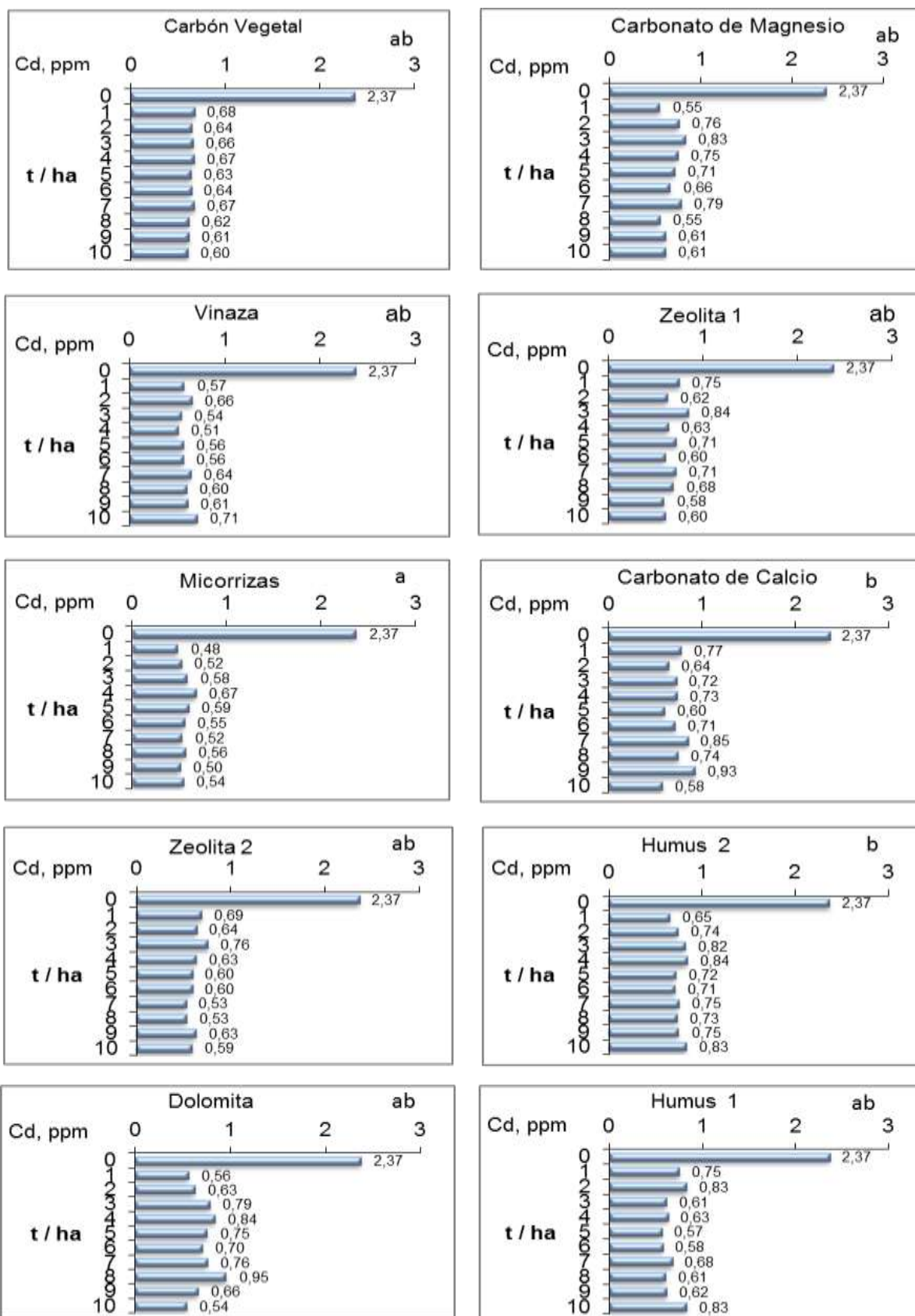
Gráfico 38. Relación entre la concentración de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por las plantas cuando se aplicó dolomita (a), carbonato de calcio (b), carbonato de magnesio (c).

4.5 Respuesta de niveles de enmiendas para descontaminar de suelos con presencia de Cadmio bajo condiciones de invernadero

4.5.1 Suelo de la provincia de Manabí

En el gráfico 39 se puede observar los efectos de enmiendas y dosis en suelos contaminados con Cadmio en la provincia de Manabí, al realizar el análisis estadístico se encontró diferencias significativas entre enmiendas mas no entre dosis y poca interacción entre ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. Los tratamientos más sobresalientes se dan con incorporación de micorrizas al suelo, donde los valores de Cadmio se dedujeron a promedios de 0,48 a 0,67 ppm, resultados considerados bajos en relación el testigo de 2,37 ppm. Las dosis que presentaron un mejor comportamiento fueron 1 y 2 t/ha alcanzado valores de 0,48; 0,59, ppm.

En el mismo gráfico se muestra que al aplicar las distintas dosis de vinaza se obtienen promedios de 0,51 a 0,66 ppm en suelos, valores mínimos en relación con lo obtenido en el testigo de 2,37 ppm. Las dosis que presentaron mejor comportamiento fueron 2 y 3 t/ha con valores de 0,54 y 0,51 ppm, respectivamente.

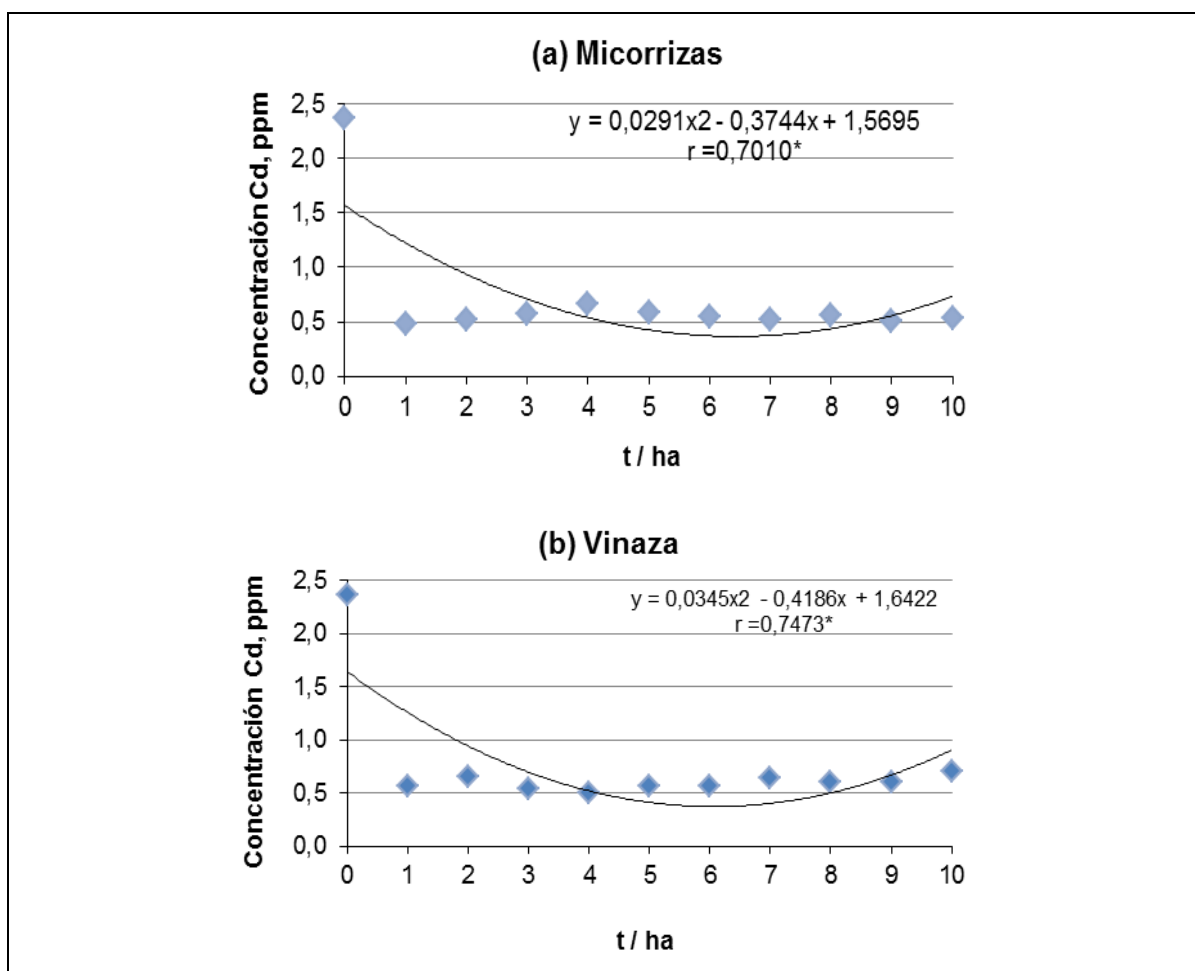


Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 39. Influencia de los a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la provincia de Manabí.

En el gráfico 40 se aprecian las regresiones entre las cantidades de micorrizas, aplicadas al suelo y la concentración de Cadmio, observándose reacciones significativas al 5 %. Donde se presentan promedios de 0,48 a 0,67 ppm, valores encontrados por debajo del valor testigo con 2,37 ppm. Las dosis que mejor que presentan mejor respuesta fueron 1 t/ha con cantidades de 0,48 ppm.

Similar comportamiento se puede apreciar con la aplicación de diferentes dosis vinaza sobre la concentración del Cadmio en el suelo, encontrándose relaciones significativas al 5 %. También se observa que el efecto de la enmienda logro una disminución de los valores de Cadmio, presentando promedios de 0,51 a 0,56 ppm. Las mejores resultados se dio con la aplicación de 3 y 4 t/ ha, alcanzando cantidades de 0,54 a 0,51 ppm, en su orden.



* Significativo ** altamente significativo ^{ns} no significativo

Gráfico 40. Efecto de las enmiendas y dosis de micorrizas (a), vinaza (b), sobre la concentración del Cadmio en el suelo de Manabí.

4.5.1.1 Influencia de varios niveles de enmiendas sobre las propiedades químicas del suelo.

En el tabla 15 se muestra la influencia del micorrizas en los valores de potencial hidrogeno (Ph_{H2O}) en el suelo de la provincia de Manabí caracterizándose por presentar una reacción **Ligeramente Acida** ($Ph_{H2O}=6,9$), valor encontrado inicialmente, con la aplicación de las distintas dosis valor de pH se mantiene.

La materia orgánica presento un porcentaje inicial de 3,9% considerado **Medio**, con la aplicación de las diferentes dosis de micorrizas la materia orgánica no sufre variaciones en su porcentaje.

Tabla 15. Influencia de las micorrizas en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

Micorrizas	DOSIS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pH _{H2O}	6,9	6,5	6,5	6,5	6,6	6,5	6,6	6,5	6,5	6,6	6,5	
MO (%)	3,9	3,8	4,0	3,8	4,0	3,4	3,9	4,0	3,8	3,6	3,6	

En el tabla 16 se muestra la influencia de la vinaza en los valores de potencial hidrogeno (Ph_{H2O}) en los suelos de la provincia de Manabí que se caracteriza por presentar una reacción **Ligeramente Acido** ($Ph_{H2O}=6,9$), valor encontrado inicialmente con la aplicación de vinaza el valor de pH no se modifica.

La materia orgánica presento un porcentaje inicial de 3,9% considerado **Medio**, con la aplicación de las diferentes dosis de vinaza no sufre variaciones en relación con el porcentaje inicial.

Tabla 16. Influencia del carbón vegetal en los valores referentes al potencial hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO)

Vinaza	DOSIS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH_{H2O}	6,9	6,6	6,5	6,5	6,6	6,5	6,8	6,5	6,5	6,5	6,5
MO (%)	3,9	3,1	3,1	3,3	3,8	4,0	4,0	3,5	3,6	3,4	3,3

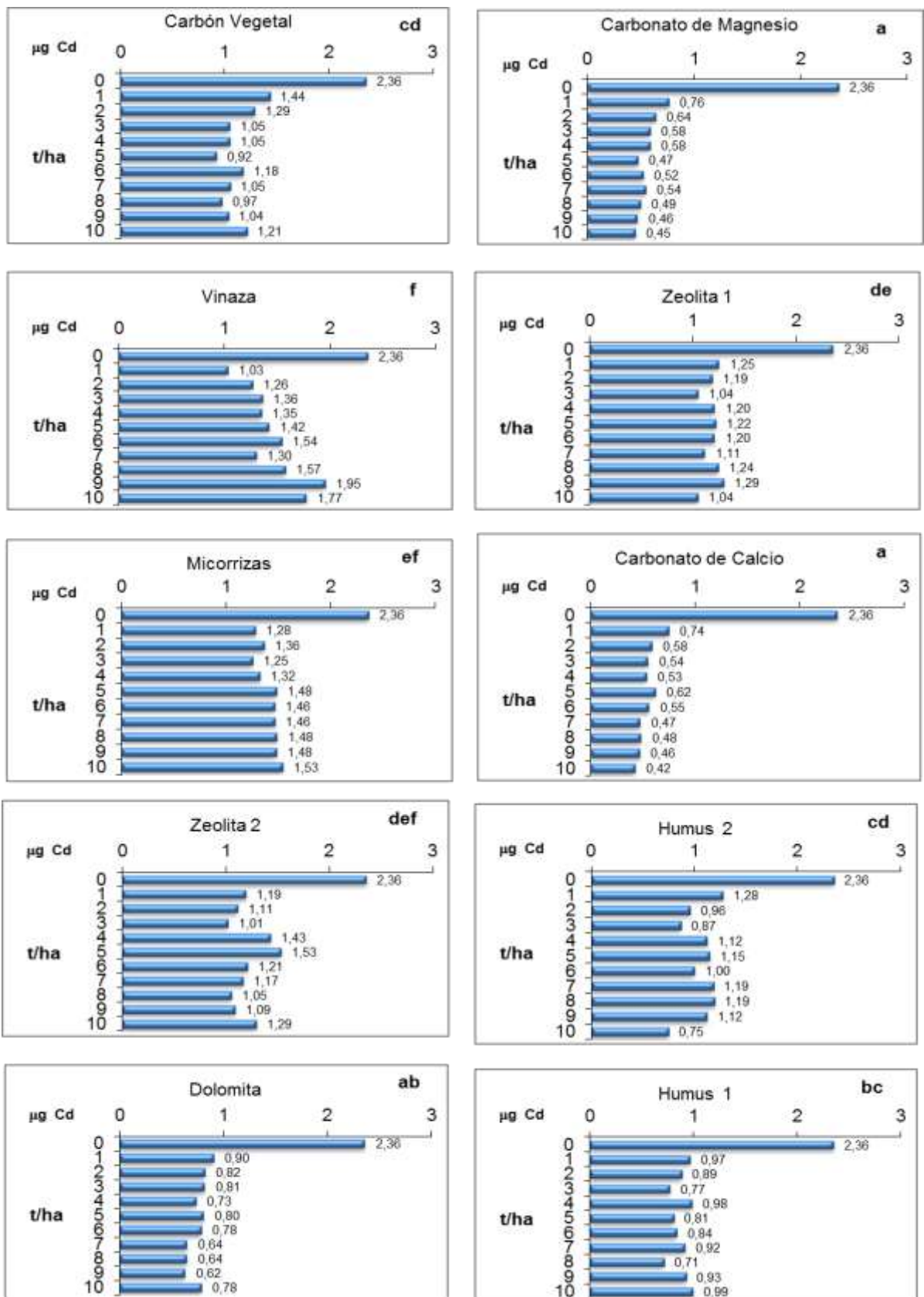
4.5.2 Biodisponibilidad de Cadmio en tejidos sometidos a diferentes enmiendas con sus respectivas dosis para la provincia Manabí

4.5.2.1 Respuesta de los diferentes niveles de enmiendas sobre la absorción de Cadmio en la parte aérea de las plantas

En el gráfico 41 se divisa la respuesta de la absorción de Cadmio en parte aérea de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo en la provincia de Manabí, donde mostro la existencia de diferencias significativas para dosis, enmiendas y la interacción de las ellas ($P < 0.0001$) según Tukey. Los mejores tratamientos se dio con la utilización de carbonato de calcio que presento valores promedios de 0,42 a 0,74 $\mu\text{g Cd /maceta}$, siendo notable que estas cantidades se encuentran por debajo del testigo que presento 2,36 $\mu\text{g Cd /maceta}$, las mejores dosis que permiten que el Cadmio llegue en mínima cantidad a la parte aérea de la planta fueron 9 y 10 t /ha, con valores de 0,48 y 0,42 $\mu\text{g Cd /maceta}$,

También, se encontró similar comportamiento con carbonato de magnesio, al aplicar las distintas dosis presentó valores de 0,45 a 0,76 $\mu\text{g Cd/maceta}$, promedios encontrados por debajo del valor testigo que fue de 2,36 $\mu\text{g Cd /maceta}$, las mejores dosis se da al aplicar 9 y 10 t/ha presentando valores de 0,46 a 0,45 $\mu\text{g Cd /maceta}$ consecutivamente.

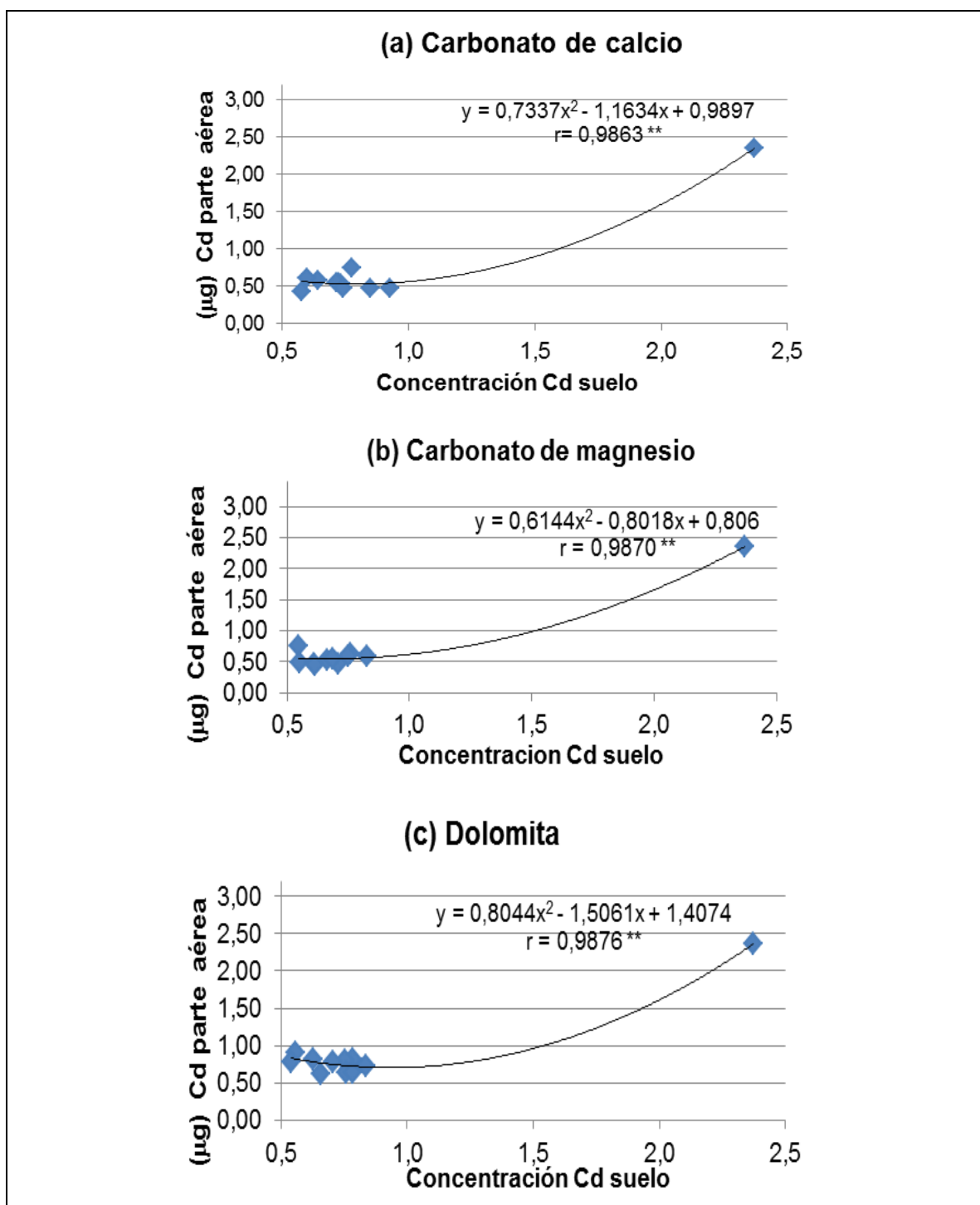
Otro tratamiento de que actuó en la poca absorción de Cadmio por la parte aérea de las planta fue el uso de dolomita a aplicar los diferentes niveles presento valores de 0,62 a 0,90 $\mu\text{g Cd/maceta}$, valor encontrado por debajo del testigo que fue de 2,36 $\mu\text{g Cd/maceta}$, las mejores dosis se da al aplicar 8 y 9 t/ha con valores de 0,64 y 0,62 $\mu\text{g Cd/maceta}$ respectivamente.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 41. Influencia de la parte aérea de las plantas de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la provincia de Manabí.

En el gráfico 42 se muestra la relación entre las concentraciones de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la parte aérea de las plantas cuando con la aplicación de carbonato de calcio, carbonato de magnesio y dolomita encontrándose relaciones altamente significativas al 1%, lo que nos indica la absorción está directamente relacionado con la cantidad disponible en el suelo de Cadmio, Además estas enmiendas influyen los resultados en esta relación .



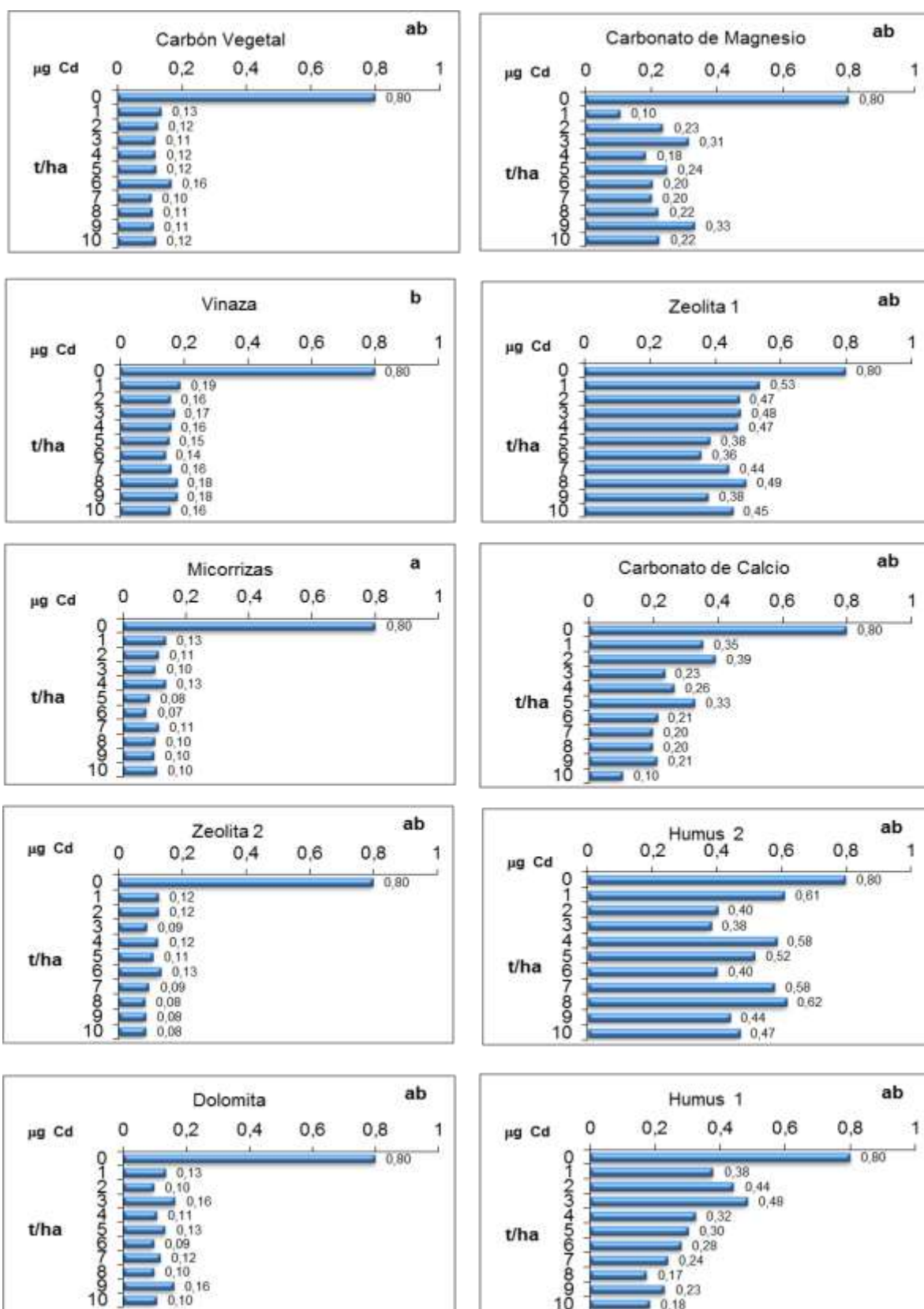
* Significativo ** altamente significativo ^{ns} no significativo

Gráfico 42. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido en la parte aérea cuando se aplicó carbonato de calcio (a), carbonato de magnesio (b), dolomita (c).

4.5.2.2 Concentración de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes enmiendas y concentración de dosis.

En el gráfico 43 se evidencia la respuesta de la absorción de Cadmio en la parte radical de las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo en la provincia de Manabí. Donde se encontró diferencias significativas entre dosis, enmiendas y la interacción de ellas ($p < 0001$) según Tukey. Con la aplicación de micorrizas se presentó valores promedios de 0,07 a 0,13 $\mu\text{g Cd /maceta}$, valores que se encuentran por debajo del testigo que presentó 0,80 $\mu\text{g Cd /maceta}$, las dosis que mejor funcionaron fueron 5 y 6 t/ha, con valores de 0,08 y 0,09 $\mu\text{g Cd /maceta}$ consecutivamente.

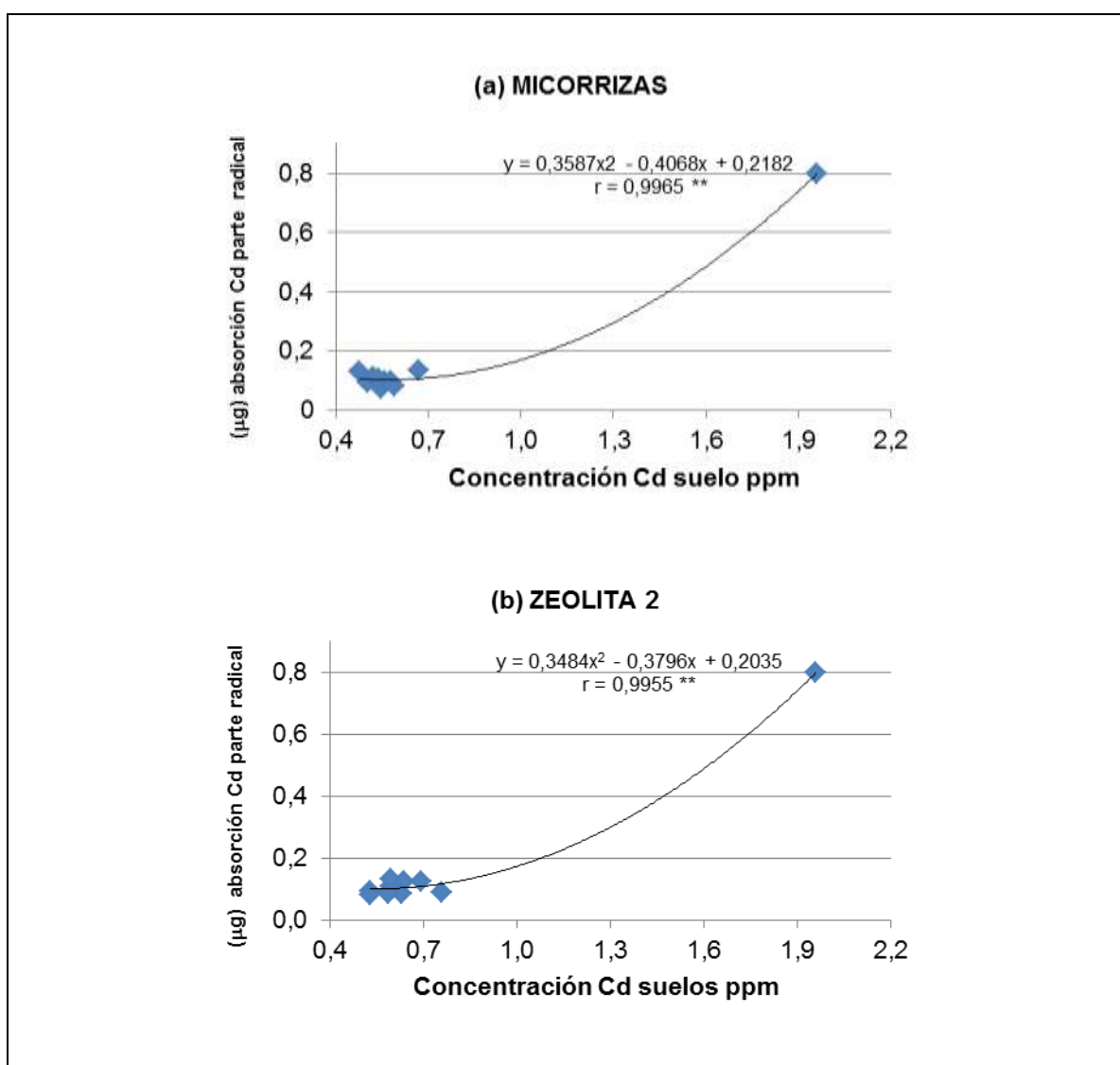
Con la utilización de zeolita 2 se puede apreciar valores promedios de 0,08 a 0,13 $\mu\text{g Cd /maceta}$, siendo apreciable que estos valores se encuentran por debajo del valor testigo de 0,80 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis en este tratamiento se da con la aplicación de 3 y 8 t/ha con valores de absorción de 0,09 y 0,08 $\mu\text{g Cd / maceta}$.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 43. Influencia de la parte radical de las plantas de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en Manabí.

En el gráfico 44 se muestra la relación entre las concentraciones de Cadmio en el suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la parte radical de las plantas cuando se aplicó micorrizas y zeolita. Se encontró relaciones altamente significativas 1 %.esto nos da a entender que la absorción de Cadmio por las plantas está relacionada directamente con la concentración de este metal en el suelo. Asimismo las micorrizas y zeolita 2 aplicadas influyen los resultados en esta relación.



* Significativo ** altamente significativo ^{ns} no significativo

Gráfico 44. Relación entre las concentraciones de Cd en el suelo vs la cantidad de Cd absorbido en la parte radical cuando se micorrizas (a), zeolita 2 (b).

4.5.3 Capacidad de absorción μg Cadmio /g del total de materia seca en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), variedad INIAP-415 sometidas a diferentes enmiendas y concentración de dosis

En el gráfico 45 se muestra la respuesta de la absorción de μg Cd absorbido/ g del total de materia seca sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo de la provincia de Manabí, los mejores tratamientos se obtuvieron con la utilización de carbonato magnesio que presento valores promedios de 0,29 a 0,40 μg Cd absorbido/g del total de materia seca, valores se encuentran por debajo del testigo que presento 0,96 μg Cd absorbido /g del total de materia seca.

Con la uso de las diferentes dosis de carbonato de calcio la respuesta en relación con los μg Cd absorbido/ g del total de materia seca, presentó promedios que fluctúan entre 0,24 a 0,49 μg Cd/ g del total materia seca, valores que se encuentran por debajo del testigo con 0,96 μg Cd absorbido /g del total de materia seca.

Además con el tratamiento donde se aplicó de las distintas dosis de dolomita la respuesta en relación con los μg Cd absorbido/ g del total de materia seca, presento cantidades promedios de 0,33 a 0,47 μg Cd / g del total de materia seca, estos valores son mínimos en relación con en relación al testigo con 0,96 μg Cd absorbido /g del total de materia seca.

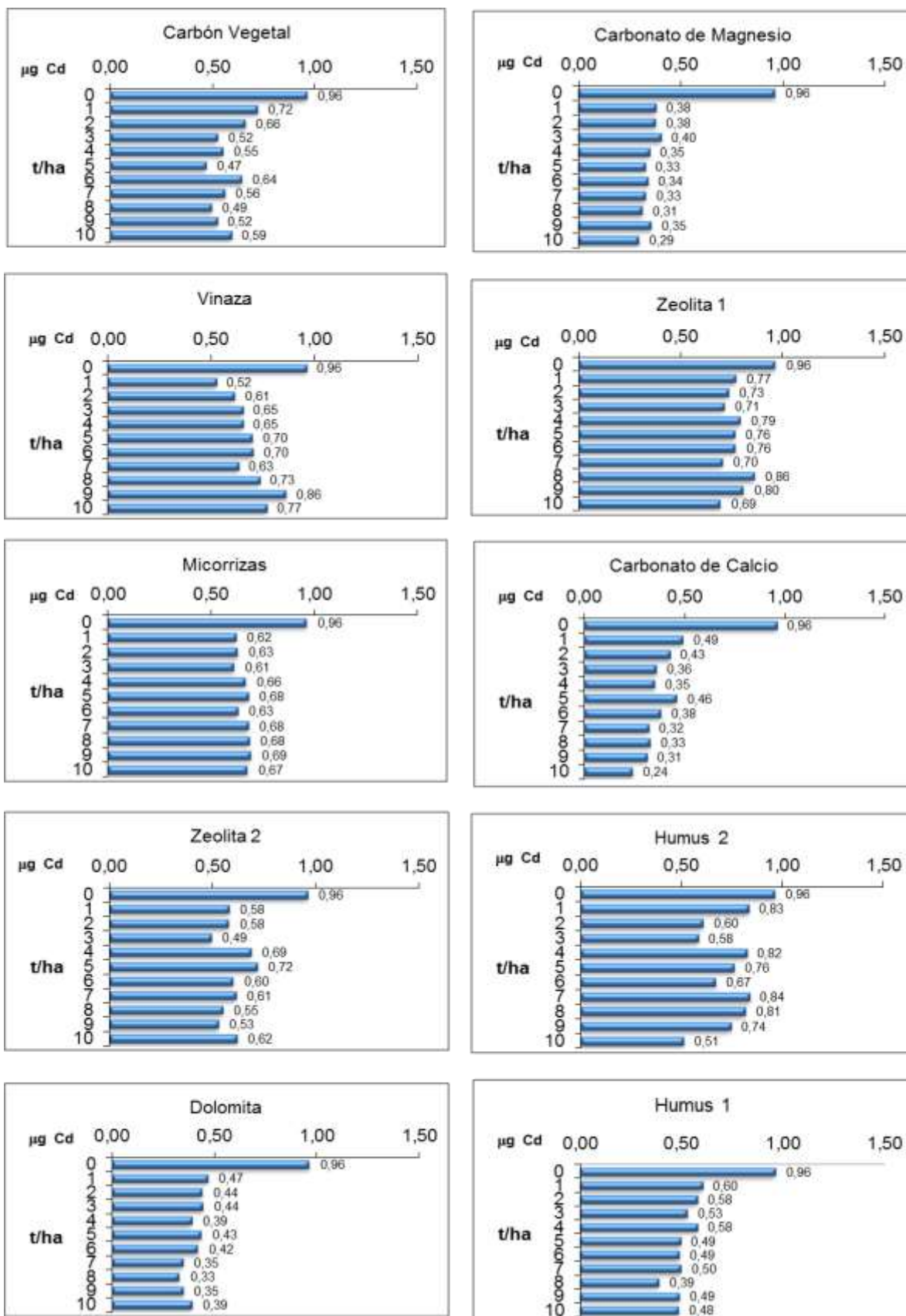


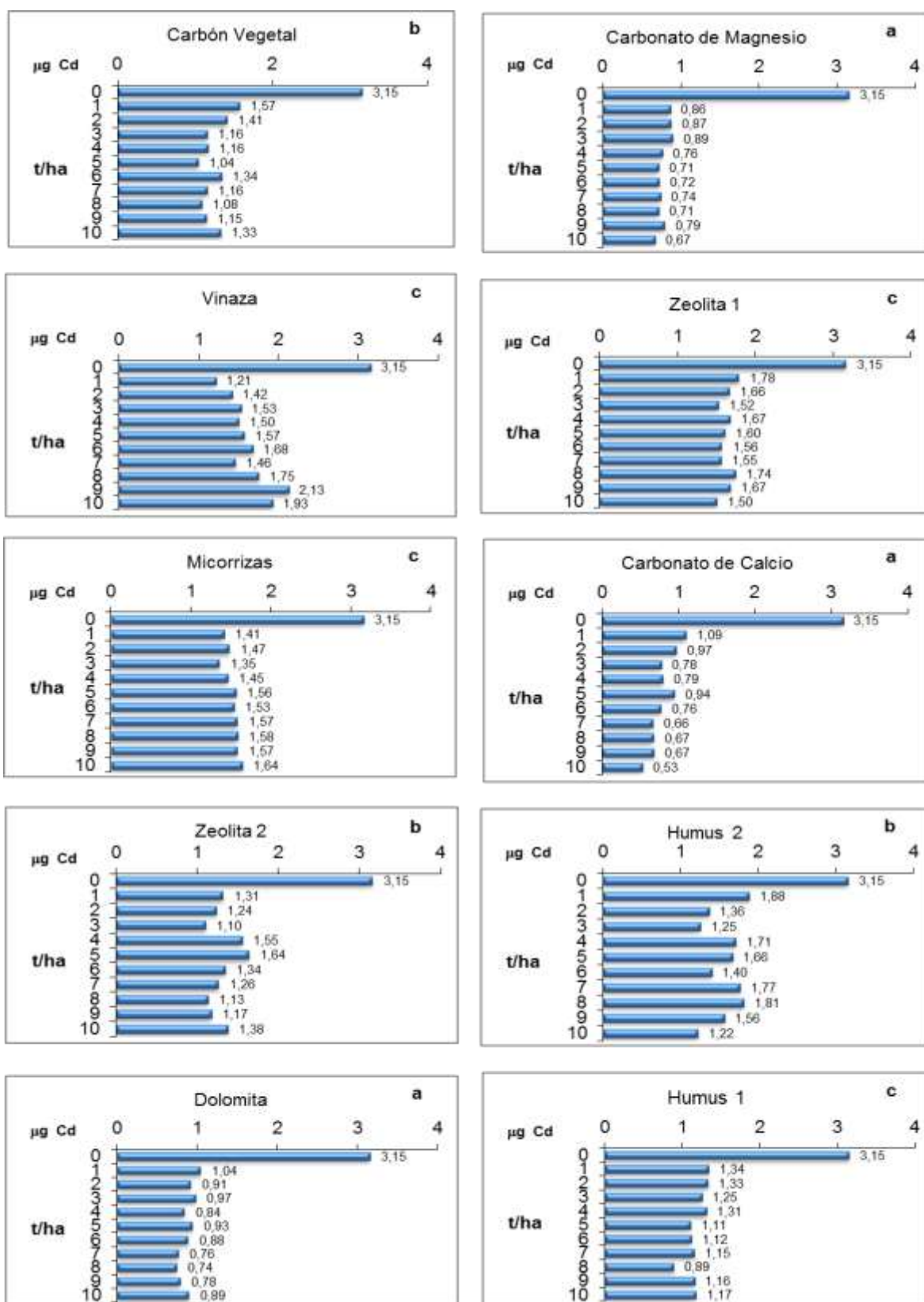
Gráfico 45. Capacidad de absorción μg Cadmio /g de materia seca en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), variedad INIAP-415 sometidas a diferentes enmiendas y concentración de dosis.

4.5.4 Influencia de los niveles de varias enmiendas sobre la absorción total de Cadmio en plantas

En el gráfico 46 se manifiesta la respuesta de la absorción de Cadmio en las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo en la provincia de Manabí, encontrándose diferencias estadísticas entre dosis, enmiendas y la interacción de ellas ($p < 0.0001$) según prueba Tukey. Con la aplicación los diferentes tratamientos los mejores resultados se dieron con la utilización de Carbonato de magnesio el cual presento valores promedios de 0,67 a 0,89 $\mu\text{g Cd /maceta}$, valores que se encuentran por debajo del testigo que presento 3,15 $\mu\text{g Cd /maceta}$, las dosis que mejor funcionaron fueron 8 y 10 t /ha con valores de 0,71 y 0,67 $\mu\text{g Cd /maceta}$ consecutivamente.

Similar comportamiento se dio con la aplicación de los diferentes niveles de carbonato de calcio, valores promedios de 0,53 a 1,09 $\mu\text{g Cd /maceta}$, estos valores se encuentran por debajo del testigo de 3,15 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis que se presenta en este tratamiento es de 7 y 10 t/ha con valores de absorción en la planta de 0,66 y 0,53 $\mu\text{g Cd /maceta}$ en su orden.

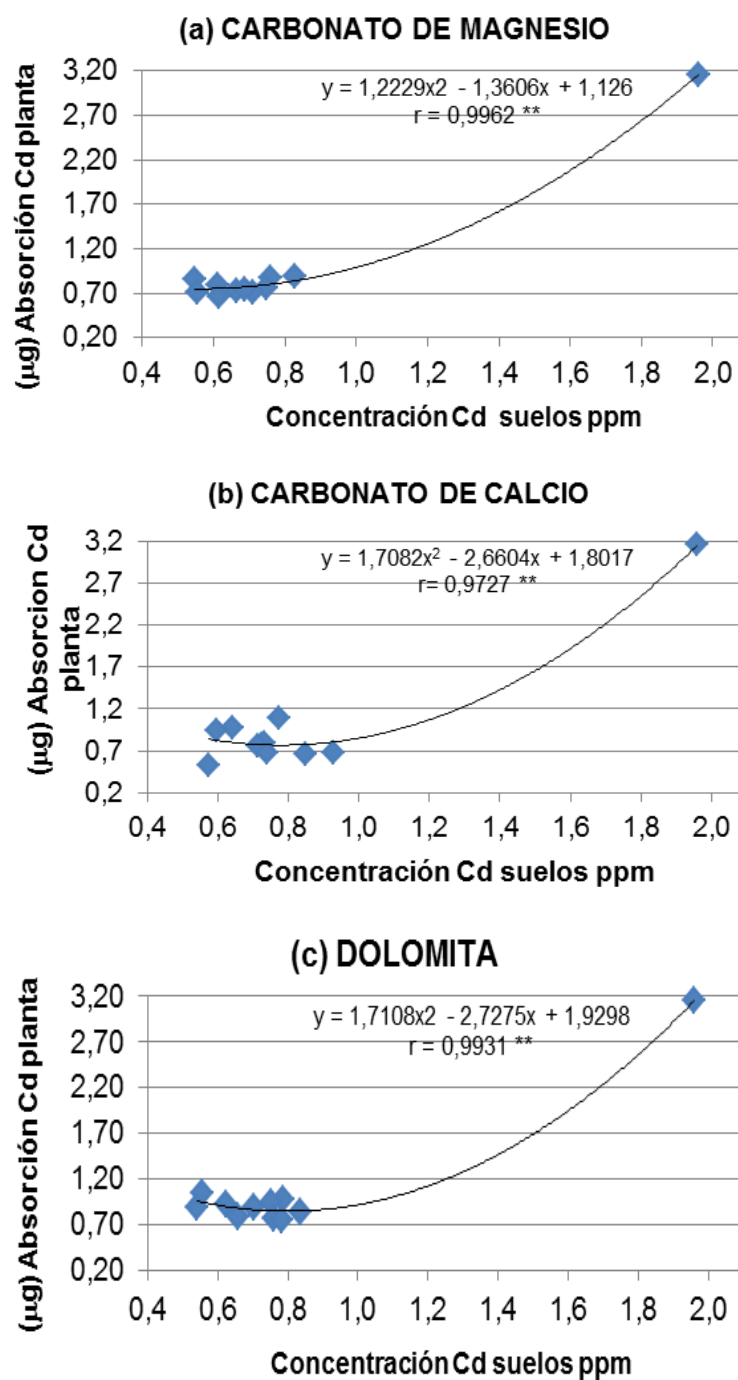
Con la utilización de las distintas dosis de dolomita la respuesta manifestada muestran valores promedios de 0,74 a 1,04 $\mu\text{g Cd /maceta}$, estos valores se encuentran por debajo del valor testigo de 3,15 $\mu\text{g Cd /maceta}$. Las mejores dosis que se presenta en este tratamiento es de 7 y 8 t/ha con valores de absorción en la planta de 0,76 y 0,78 $\mu\text{g Cd /maceta}$ en su orden.



Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales

Gráfico 46. Respuestas de la absorción de Cadmio en las plantas sometidas a diferentes niveles de enmiendas aplicadas al suelo contaminado con Cadmio en la provincia de Manabí.

En el gráfico 47 se aprecia la relación entre la concentraciones de Cadmio en suelo vs la cantidad de Cadmio absorbido por la planta. Cuando se aplicó distintas carbonato de magnesio, carbonato de calcio, dolomita, se encontró relaciones altamente significativas 1%. Dándose a entender que la absorción total de Cadmio por la planta está relacionada directamente con la concentración de Cadmio disponible en el suelo.



* Significativo ** no significativo, ^{ns} no significativo

Gráfico 47. La relación entre la concentraciones de Cd en suelo vs la cantidad de Cd absorbido por la planta cuando se aplicó carbonato magnesio (a), carbonato d calcio (b) , dolomita (c).

5. DISCUSIÓN

No todas las enmiendas que se probaron en esta investigación originaron los mismos efectos. El carbonato de calcio, humus (1 y 2), la vinaza y micorrizas, tuvieron el mejor desempeño, al precipitar las mayores cantidades de Cadmio en el suelo. Al parecer, los carbonatos de calcio forman carbonatos de cadmio y quedan precipitados en el suelo. Las enmiendas de naturaleza orgánica como el humus (1 y 2) y la vinaza al poseer gran cantidad de cargas eléctricas negativas atrapan al Cadmio y lo hacen menos disponibles en el suelo. Se conoce que la materia orgánica tiene una alta capacidad para retener cationes metálicos. Cabe señalar que con 1 t/ha en condiciones de invernadero se logró precipitar el Cadmio del suelo. Lo que concuerda con el trabajo realizado por Lora *et al*, (2010) quienes indican que para remediar suelos contaminados con Cadmio se puede utilizar hasta de 6.000 kg/ha de carbonato de calcio (CaCO_3) para disminuir el contenido de Cadmio a niveles no tóxicos.

De igual manera, las micorrizas tuvieron un efecto benéfico al disminuir la cantidad de cadmio disponible. Similar observación obtenidos por Ortiz-Cano *et al*. (2009), quienes manifiestan que las micorrizas afectaron positivamente la transferencia de Cadmio del suelo a las plantas de quelite (*A. hybridus* L.) Conocido con el nombre vulgar de bledo, conforme se incrementó las micorrizas de 0 a 5 g·kg⁻¹ de suelo ligeramente básico de textura franca contaminado con Cadmio. En el presente trabajo con esta enmienda las plantas indicadoras de arroz no absorbieron más Cadmio.

La materia orgánica del suelo influyó en la retención de Cadmio, a medida que se incrementa la materia orgánica aumenta la cantidad del metal pesado. En cambio el pH del suelo favorece la movilización de este elemento, en suelos ácidos y ligeramente alcalinos la movilidad de cadmio es baja, mientras que la mayor movilidad de cadmio se presenta en suelos ligeramente ácidos o neutros.

Las enmiendas de carbonato de calcio, carbonato de magnesio y dolomita (carbonato doble de calcio y magnesio) y humus (1 y 2) afectaron la absorción de cadmio por parte de las plantas, tanto en la parte aérea como radicular. Este hecho se dio debido a que las enmiendas precipitaron el Cadmio en el suelo. Realmente, su efecto es más evidente al haberse obtenido valores más bajos de cadmio absorbidos, concordando con los resultados que se encontraron cuando se analizó el suelo.

La absorción y acumulación de Cadmio en la parte de la raíz concuerda con Chan y Hale citado por Rodríguez –Serrano *et al.* (2008), quienes indican que en las plantas, el Cadmio se acumula preferentemente en la raíz y es secuestrado en la vacuola de las células, y sólo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en el siguiente orden raíces > tallos > hojas > frutos > semillas.

Por su parte, Puschenreiter *et al.* (2001), coinciden con Ortiz-Cano *et al.* (2009), ellos sugieren que es preciso seleccionar la especie adecuada, con el fin de mejorar la absorción de metales pesados de la rizosfera. Los mismos autores manifiestan lo citado por Mahony y Baum *et al.* Donde la incorporación de micorrizas permitió que las plantas de quelite (*A. hybridus* L.) absorbieran o metabolizaran más al Cadmio.

Por lo tanto, esto podría servir como una enmienda biológica de fito-remediación para áreas contaminadas con Cadmio.

Las enmiendas dolomita, carbonato de magnesio, humus 2 y carbonato de calcio afectaron la capacidad de absorción de cadmio en peso seco de biomasa. Comprendiéndose con ello que al trabajar con estas enmiendas se está probando eficazmente un mecanismo de Separación o inmovilización lo cual implica esencialmente, pseudo-procesos de intercambio iónico (Sepúlveda 2005), los iones metálicos son intercambiados hacia componentes de carga opuesta unidos a la biomasa. Además el utilizar 1 t /ha de cualquiera de las enmiendas se logra que menos cantidad de cadmio se acumule en la biomasa (materia seca)

Con la utilización de dolomita humus, carbonato de magnesio y carbonato de calcio, aplicado al suelo se logró una precipitación del cadmio por lo tanto la absorción de la planta es mínima. Con la utilización de 1 t /ha de estas enmiendas se puede descontaminar esos suelos y volverlos menos tóxicos.

6. CONCLUSIONES

- Se determinó la mejor dosis y enmienda para la recuperación de suelos degradados por la presencia de Cadmio.
- Con la utilización de las dosis de 1 t /ha los suelos contaminados de las cinco provincias obtuvieron valores más bajos que el testigo.
- La materia orgánica y el pH contribuye a la retención y movilidad del Cadmio en el suelo.
- Se Acepta la hipótesis H_0 : la aplicación de enmiendas con distintas dosis permite la recuperación de los suelos degradados por la presencia de Cadmio
- El carbonato de calcio, humus (1 y 2), la vinaza y micorrizas lograron precipitar mayores cantidades de Cadmio en el suelo.
- Las enmiendas carbonato de calcio, carbonato de magnesio, dolomita y humus (1 y 2) afectaron la absorción de Cadmio en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) variedad INIAP-415, tanto en la parte aérea como radicular. Estas enmiendas afectaron significativamente la acumulación total de Cadmio en la planta, excepto el humus 1.
- Se acepta la Hipótesis H_1 : las plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) , variedad INIAP- 415 no tienen la capacidad de acumular altos contenidos de Cadmio en suelos enmendados
- Las enmiendas dolomita, carbonato de magnesio, humus 2 y carbonato de calcio afectaron la capacidad de absorción de cadmio en peso seco de biomasa.

7. RECOMENDACIONES

- Continuar los estudios utilizando dosis superiores a las ensayadas, considerando factores abióticos y formas de aplicación.
- Evaluar otras enmiendas de origen químicas y biológicas.
- Seguir evaluando la respuesta de carbonato de calcio, humus, vinaza, carbón vegetal, carbonato de magnesio, zeolita y micorrizas, aplicado de forma continua en plantaciones de cacao.
- Realizar estudios con otras razas de micorrizas y otros microorganismos considerados bioremediadores de ambientes o suelos contaminados.
- Realizar pruebas con plantas acumuladoras de metales pesados que no sea de consumo como las gramíneas comestibles.

8. RESUMEN

El presente estudio se realizó en invernadero y laboratorio de análisis de metales pesados del Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas (DNMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria (INIAP). Por lo que se plateo como objetivos evaluar diferentes enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con cadmio (Cd) en condiciones de invernadero. Determinar la mejor dosis y enmienda para la recuperación de suelos degradados por la presencia de Cadmio. Determinar la capacidad de absorción de Cadmio por la planta de arroz (*Oryza sativa* L.), variedad INIAP -415.

Se colectaron muestras de suelo de las provincias de Zamora Chinchipe, Santa Elena, Guayas, El Oro y Manabí que en estudios anteriores realizados por INIAP (2009) presentaron contenidos de Cadmio de 1,24 a 2,37 considerados tóxicos para los suelos. Las mismas que fueron sometidas a diez tipos diferentes de enmiendas y once dosis expresadas en toneladas/ha.

En condiciones de invernadero se aplicó diferentes enmiendas en varias dosis, se homogenizo y adiciono agua destilada. Estas muestras tuvieron un periodo de incubación de ocho días, simulando en proceso de las reacciones químicas, físicas y biológicas que ocurren en el suelo con las enmiendas. Cumplida esta fase se realizo la siembra de arroz, consideradas plantas indicadoras. Trascurridos los 45 días después del trasplante se procedió a cortar las plantas y separar la parte aérea y radical, las mismas que fueron lavadas y secadas a temperatura constante en una estufa a 70 °C.

En el laboratorio se realizó la digestión de muestras de suelo, adicionando ácido clorhídrico y nítrico (agua regia) y la mineralización de tejidos con una mezcla nítrica perclórica, relación 4:1. Posteriormente se cuantificó las cantidades de Cadmio, utilizando un espectrofotómetro con horno de grafito.

De las diez enmiendas y dosis estudiadas sobre suelos contaminados con Cadmio, resultaron mejor cinco enmiendas. El carbonato de calcio en la finca de Zamora Chinchipe y El Oro, se encontraron promedios de 0,41 a 0,50 ppm y 0,65 a 0,82 ppm respectivamente. Mientras que el humus (2 y 1) se comportan mejor en Zamora Chinchipe, Santa Elena y Guayas, con valores de 0,41 a 0,46; 0,43 a 0,60; 0,91 a 1,08; 0,43 a 0,48 ppm, en su orden. Las micorrizas funcionaron para la finca de Santa Elena y Manabí 1,05 a 0,91; 0,48 a 0,67ppm, consecutivamente. Con la zeolita 2 en Guayas presento promedios de 0,53 y 0,72 ppm. La vinaza en El Oro y Manabí tuvo cantidades de 0,68 a 0,72; 0,51 a 0,66 ppm respectivamente. Finalmente el carbón vegetal presento mejor afinidad en el Oro 0,67 a 0,75 ppm.

Mientras que los mejores tratamientos con dolomita en Zamora Chinchipe, El Oro y Manabí presentó cantidades que fluctuaron entre 2,12 a 4,35; 0,69 y 1,59; 0,74 a 1,04 $\mu\text{g Cd/maceta}$, en su orden. El carbonato de calcio llego a valores de 3,44 a 5,24; 0,60 a 2,21; 0,53 a 1,09 $\mu\text{g Cd/maceta}$, respectivamente. El humus 2 presento en Santa Elena, Guayas 0,43 a 0,65; 0,43 a 0,65 $\mu\text{g Cd/maceta}$, en su orden. La zeolita 1 en Santa Elena presentó cantidades 0,20 a 0,31 $\mu\text{g Cd/maceta}$. El carbonato de magnesio en Santa Elena, El Oro y Manabí alcanzó valores de 0,22 a 0,33; 0,43 a 0,45, 0,67 a 0,89 $\mu\text{g Cd/maceta}$, respectivamente. Además en Guayas el humus 1 presentó promedios de 0,39 a 0,58 $\mu\text{g Cd/maceta}$.

Se concluye que las enmiendas carbonato de calcio, carbonato de magnesio, dolomita y humus (1 y 2) afectaron la absorción de Cadmio en plantas de arroz, tanto en la parte aérea como radical, así la acumulación total de Cadmio en la planta, excepto el humus 1.

9. SUMMARY

The present study was carried out in hothouse and laboratory of analysis of heavy metals of the National Department of Handling of Floors and Waters (DNMSA) of the Tropical Experimental Station Pichilingue (EETP) of the Autonomous National Institute of Agricultural Investigation (INIAP). For what you plates as objectives to evaluate different amendments to recover floors polluted cacaoteros with cadmium (Cd) under hothouse conditions. To determine the best dose and it amends for the recovery of floors degraded by the presence of Cadmium. To determine the capacity of absorption of cadmium for the plant of rice (*Oryza sativa* L.), variety INIAP -415.

Samples of floor of Zamora's counties Chinchipe was collected, Santa Elena, Guayas, The Gold and Manabí that in previous studies carried out by INIAP (2009) they presented contents of Cadmium from 1,24 to 2,37 considered toxics for the floors. The same ones that were subjected to ten types different from amendments and eleven dose expressed in toneladas/ha.

Under hothouse conditions it was applied different amendments in several dose, you homogenizes and I add distilled water. These samples had a period of incubation of eight days, simulating in process of the chemical, physical and biological reactions that happen in the floor with the amendments. Completed this phase one carries out the siembra of rice, considered indicative plants. Trascurridos the 45 days after the transplant you proceeded to cut the plants and to separate the air and radical part, the same ones that were washed and dried off to constant temperature in a stove to 70 °C.

In the laboratory he/she was carried out the digestion of floor samples, adding hydrochloric and nitric acid (it dilutes regal) and the mineralización of fabrics with a mixture nitric perclórica, relationship 4:1. Later on it was quantified the quantities of Cadmium, using an espectrofotómetro with graphite oven.

Of the ten amendments and dose studied on polluted floors with Cadmium, they were better five amendments. The carbonate of calcium in Zamora's property Chinchipe and The Gold, they were averages from 0,41 to 0,50 ppm and 0,65 to 0,82 ppm respectively. While the humus (2 and 1) they behave better in Zamora Chinchipe, Santa Elena and Guayas, with values of 0,41 at 0,46; 0,43 at 0,60; 0,91 at 1,08; 0.43 to 0,48 ppm, in their order. The micorrizas worked apara Santa Elena's property and Manabí 1,05 at 0,91; 0,48 to 0,67ppm, consecutively. With the zeolita 2 in Guayas present averages of 0,53 and 0,72 ppm. The vinaza in The Gold and Manabí had quantities from 0,68 to 0,72; 0,51 to 0,66 ppm respectively. Finally the vegetable coal presents better likeness in the Gold 0,67 to 0,75 ppm.

While the best treatments with dolomita in Zamora Chinchipe, The Gold and Manabí presented quantities that fluctuated among 2,12 at 4,35; 0,69 and 1,59; 0,74 to 1,04 g Cd/maceta, in their order. The carbonate of calcium arrives to values from 3,44 to 5,24; 0,60 at 2,21; 0,53 to 1,09 g Cd/maceta, respectively. The humus 2 present in Santa Elena, Guayas 0,43 at 0,65; 0,43 to 0,65 g Cd/maceta, in their order. The zeolita 1 in Santa Elena presented quantities 0,20 to 0,31 g Cd/maceta. The carbonate of magnesium in Santa Elena, The Gold and Manabí reached values from 0,22 to 0,33; 0,43 at 0,45, 0,67 to 0,89 g Cd/maceta, respectively. Also in Guayas the humus 1 presented averages from 0,39 to 0,58 g Cd/maceta.

You concludes that the amendments carbonate of calcium, carbonate of magnesium, dolomita and humus (1 and 2) they affected the absorption of Cadmium in plants of rice, so much in the air part as radical, this way the total accumulation of Cadmium in the plant, except the humus 1.

10. BIBLIOGRAFÍA

SICA (Servicio de Información y censo Agropecuario del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador).2007. Importancia del cacao en el Ecuador, Consultado el 25 de febrero del 2010. Disponible en <http://www.ministeriodeagricultura.ec>

Mite, F.; Carrillo, M. y Durango, W. 2010. Avances del monitoreo de la presencia de Cadmio en almendras de cacao suelos y aguas en Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 17-19 Noviembre 2010, Santo Domingo de los Tsáchilas, EC, 21 p

INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria). 2009, Monitoreo de la presencia de Cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas y alternativas de solución. Informe Técnico 2009, Quevedo, Los Ríos, Ecuador

Ramírez, A. 2002. Toxicología del Cadmio conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional para con indicadores biológicos, Anales de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima Perú. volumen 63, número 001, págs 51-64

Sepúlveda,T. ;Trejo, J. ; Velasco, T. y Pérez, D. 2005, Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de Ecología. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. México. págs. 11-121

Pérez,J. ; Pérez, F.; 2001. Ecopatologías. Influencia en la salud pública y sanidad animal Departamento de Cirugía y Reproducción. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. Revista Observatorio Medioambiental. número 4, 113-149

Sarabia, R. 2002. Toxicidad y acumulación de Cadmio en poblaciones de diferentes especies de *artemia*. Facultad de Ciencias Biológicas. Tesis de Doctorado. Universidad de Valencia, Burjassot Valencia, págs 1-125

Saldivar, L; Tovar,A; y FortadT; 2006.Cadmio. Capitulo 13. Facultad de Química, México D.F. págs 215-226

Carrera, J. 1994. Evaluación de contenido de Cadmio en el sistema suelo- cacao de varias zonas del Ecuador, Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil.

Rodríguez-Serrano M; Martínez - de la Casa,N.; Romero-Puertas,M.; Del Río,L.; Sandalio,L.; 2008, Toxicidad del Cadmio en plantas. Dpto. de Bioquímica, Biología Celular y Molecular de Plantas. Estación Experimental del Zaidín, CSIC Granada-España. Revista Ecosistemas págs. 139-146.

Roberts,T. 1996. Cadmiun and Phosphate - issues and options. Conferencia "New Developments in fertilizer manufacture". Orlando – Florida. págs. 2-8

Leiva, A. 2009, Remediacion de suelos contaminados, Quevedo Los Rios Ecuador. págs. 2-99.

Estévez, J.; Andrade, M.; Marcet, P.; y Montero,M.; 2000. Fijación y movilidad de Cadmio y zinc en tres tipos de suelos acidos de Galicia, España. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelos. Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo. Campus As Lagoas. 36200. Vigo. España. págs. 28-35.

Carrillo, M.; 2003. Caracterização das formas de metais pesados, sua disponibilidade e suas dinâmicas de absorção e de mobilidade em solos do equador. Departamento de solos.Tese de Mestrado. Tese de Mestrado: Universidade Federal de Viçosa, MG - Brasil. pag. 49

Pernía, B; De Sousa A; Reyes R; Castillo M; 2008. Bioindicadores de contaminación por Cadmio en las plantas, Tesis de maestría de la Universidad Simón Bolívar, Venezuela, Interciencia, número 2, volumen 33

Carrillo M.; 1996. Estudio de la movilidad y la asimilación del Cd en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo diferentes niveles y vías de contaminación, estación experimental del Zaidín. Consejo Superior de Investigaciones Científicas XXXIII Curso Internacional de edafología y biología vegetal, Granada – España

Prieto, J; González, A; Román, D; Prieto, F;. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tropical and Subtropical Agroecosystems. vol 10 págs. 29 - 44

Gonzales - Chávez; y Ángeles, Ma. del Carmen. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizoféricos, *terra latinoamericana*, Universidad Autónoma de Chapingo México. vol 23 número 1, pág 29, 37 ,

Irisarri, D. 2005. Usos Industriales y Agrícolas de la Vinaza de Caña de Azúcar. Publicación de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar Técnicaña, número 17 Volumen 9

Ortiz - Cano. H.; Trejo – Calzada .R; Valdez - Cepeda. R.; Arreola - Ávila. J.; Flores - Hernández, A.; y López-Ariza, B;. 2009. Fitoextracción de plomo y Cadmio en suelos contaminados usando quelite (*amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. Universidad Autónoma Chapingo, México D.F. págs 161-168

Diez, J; Kidd, P; Monterroso, C. 2002. Biodisponibilidad de metales en suelos y acumulación en plantas en el área de Trás-os-Montes (norte Portugal): Influencia del material original, Dpto. De edafología e química agrícola. Facultad de Biología, Universidade de Santiago de Compostela, vol. 9 (3), pp. 313 en línea consultado en [www. edcarmel@lugo.usc.es](mailto:edcarmel@lugo.usc.es)

Lora,R;, Bonilla ,H.; 2010. Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados Cadmio y cromo revista universidad de ciencias aplicadas y ambientales actualidad & divulgación científica vol.13 no.2 Bogotá july/dec. 2010

DNMSA (Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas) 2010. de la Estación Experimental Tropical Pichilingue, Quevedo, Los Rios , Ecuador.

INAMI, (Instituto Nacional De Meteorologia e Hidrologia), 2012. Anuario Meteorológico 1999. Diagramación, Procesamiento y Edición: Dirección de Informática. Iñaquito 700 y Corea Nro 39 :En linea : www.inamhi@inamhi.gov.ec

11. ANEXOS

POCESO DE RECOLECCION DE SUELOS



PROCESO DE INVERNADERO



PROCESO DE ENCUBACION DE SUELOS



PROCESO DE SIEMBRA



PROCESOS DE COSECHA



Proceso de laboratorio

