



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
Coordinación de Postgrado

**FITOEXTRACCIÓN DE PLOMO Y CADMIO CON *Opuntia ficus-indica* L. EN
ASOCIACIÓN CON MICORRIZAS Y ADICIONANDO NITRATO DE AMONIO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA:

Q.F.B. EDITH RAMOS CORTEZ



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
UNIDAD DE EXÁMENES DE POSTGRADO

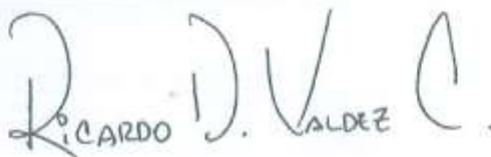


Bermejillo, Durango, México. Mayo de 2012

FITOEEXTRACCIÓN DE PLOMO Y CADMIO CON *Opuntia ficus-indica* L. EN ASOCIACIÓN CON MICORRIZAS Y ADICIONANDO NITRATO DE AMONIO

Tesis realizada por Q.F.B. Edith Ramos Cortez bajo la dirección del Comité indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

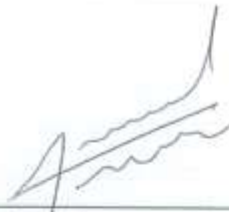
**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**



DIRECTOR

Dr. Ricardo David Valdez Cepeda

ASESOR



Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

ASESOR



Dr. Ricardo Trejo Calzada

ASESOR



Dr. Abiola Abimbola

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Francisco Ramos Esparza y Leonila Cortez Urué, y a mi hermana Jazmín Ramos Cortez, ya que son las personas más importantes en mi vida y quienes han estado conmigo y me han apoyado siempre.

Gracias a ellos, a sus consejos, a su apoyo incondicional y a sus sacrificios he podido llegar hasta este momento de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante mis estudios de Maestría.

A la **Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas** de la Universidad Autónoma Chapingo (URUZA-UACH), institución donde realicé mis estudios de postgrado.

A **Olds College School of Innovation** (OCSI), por todo el apoyo que recibí durante mi estancia en esta institución.

A la **Directora y Técnicos del SAIT Polytechnic**, por permitirme usar su laboratorio y ayudarme con el análisis de las muestras.

Al **Dr. Ricardo David Valdez Cepeda** (Director de tesis) y al **Dr. Ricardo Trejo Calzada** (Asesor de tesis), por la ayuda y asesoría que me brindaron durante la elaboración de mi tesis.

A mis **Profesores y Compañeros de postgrado**, así como también a todas las personas que de alguna u otra forma me brindaron su ayuda durante la fase experimental de mi trabajo de tesis.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN Y ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Generalidades	5
4.2 Metales pesados.....	6
4.3 Plomo	7
4.3.1 Principales fuentes de contaminación	7
4.3.2 Usos	7
4.3.3 Plomo en el medio ambiente	7
4.3.4 Exposición al plomo.....	8
4.3.5 Daños a la salud.....	8
4.4 Cadmio	9
4.4.1 Principales fuentes de contaminación	9
4.4.2 Usos	9
4.4.3 Cadmio en el medio ambiente	9
4.4.4 Exposición al cadmio.....	10
4.4.5 Daños a la salud.....	10
4.5 Fitorremediación	10
4.5.1 Plantas hiperacumuladoras	11
4.5.2 Fitoextracción y Fitoestabilización	11

4.6 Micorrizas	15
4.7 Fertilización nitrogenada.....	16
4.8 Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	17
4.8.1 Taxonomía	17
4.8.2 Descripción física	18
4.8.3 Longevidad.....	18
4.8.4 Riego	18
V. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1 Ubicación del Área experimental	20
5.2 Obtención de las muestras	20
5.3 Establecimiento del experimento	20
5.4 Diseño experimental	20
5.5 Mantenimiento del experimento.....	22
5.6 Colecta y análisis de las muestras.....	22
5.7 Análisis físico-químico de la muestra de suelo	22
5.8 Análisis de las variables de estudio	24
5.8.1 Cuantificación de Pb y Cd en raíz y pencas o cladodios de nopal ...	24
5.8.2 Cuantificación de los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg en cladodios y raíz	24
5.8.3 Peso de la muestra.....	25
5.9 Análisis estadístico	26
VI. RESULTADOS	27
6.1 Raíz	28
6.1.1 Metales pesados	29
6.1.2 Nutrimentos	33
6.1.3 Biomasa	37
6.2 Cladodio madre	41
6.2.1 Metales pesados	41

6.2.2 Nutrimientos	41
6.2.3 Biomasa	45
6.3 Brote	45
6.3.1 Metales pesados	45
6.3.2 Nutrimentos	48
6.3.3 Biomasa	52
VII. DISCUSIONES	52
VIII. CONCLUSIONES	54
IX. LITERATURA CITADA	55
X. ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación entre especies fitorremediadoras de metales pesado (Pb y Cd).....	19
Cuadro 2. Matriz de tratamientos.	21
Cuadro 3. Análisis físico-químico del suelo.....	23
Cuadro 4. Características físico-químicas de suelo superficial usado en el estudio.	27
Cuadro 5. Estadísticos descriptivos (n=48) de masas y concentración de elementos en tejido vegetal de nopal, inducidas por la adición de N y micorrizas al suelo.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para la Fitorremediación del suelo (USEPA, 2000; ITRC, 2001)...	14
Figura 2. Efectos medios de Tratamientos y del factor Micorrizas sobre la concentración de Cd en raíz de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	30
Figura 3. Efectos medios de Tratamientos y del factor Micorrizas sobre la concentración de Pb en raíz de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	32
Figura 4. Efectos medios de Tratamientos sobre la concentración de K y Ca en raíz de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	34
Figura 5. Efectos medios de Tratamientos sobre la concentración de K y Ca en raíz de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	36
Figura 6. Efectos medios de Tratamientos y del factor nitrógeno sobre el peso fresco de raíz de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	38
Figura 7. Efectos medios de Tratamientos y del factor nitrógeno sobre el peso seco de raíz de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	40
Figura 8. Efectos medios de Tratamientos y del factor nitrógeno sobre la concentración de N en cladodio madre de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	42
Figura 9. Efectos medios de Tratamientos y del factor nitrógeno sobre la concentración de P en cladodio madre de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	44
Figura 10. Efectos medios de Tratamientos sobre la concentración de Cd en brote de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	46
Figura 11. Efectos medios de Tratamientos y del factor Micorrizas sobre la concentración de Pb en brote de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	47
Figura 12. Efectos medios de Tratamientos sobre las concentraciones de N , P y K en brote de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	49
Figura 13. Efectos medios de Tratamientos y del factor Micorrizas sobre la concentración de Mg en brote de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.	51

RESUMEN

FITOEXTRACCIÓN DE PLOMO Y CADMIO CON *Opuntia ficus-indica* L. EN ASOCIACIÓN CON MICORRIZAS Y ADICIONANDO NITRATO DE AMONIO

La especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. se cultiva en 25 países para cosechar sus frutos, tallos tiernos y cladodios maduros. México es el único país con producción comercial de nopalitos de *O. ficus-indica* en 12,041 ha con rendimientos medios anuales de 9.03–99.93 t ha⁻¹ y un promedio de 64.33 t ha⁻¹. Este gran potencial productivo de la especie puede ser aprovechado con fines de fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, como Pb y Cd. En particular, La Comarca Lagunera en México está experimentando contaminación con metales pesados causada por actividades metalúrgicas. Por ello, se planteó como objetivo el evaluar la capacidad de *O. ficus-indica* como fitoextractor de Pb y Cd, al adicionar una mezcla de micorrizas arbusculares (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum* y *G. clarum*) y el fertilizante nitrato de amonio al suelo contaminado con Cd y Pb. Para ello se colectó suelo de los alrededores de una planta industrial metalúrgica localizada en Bermejillo, Durango, México. Una vez colocado el suelo en macetas se hizo la plantación de cladodios de *O. ficus-indica*. Después, el suelo (en cada maceta) se contaminó con Pb y Cd y fertilizó con NH₄NO₃, en apego a un diseño bifactorial con arreglo en bloques completamente al azar. Seis meses después se tomaron muestras de raíz, cladodio madre y brotes vegetativos. Los resultados sugieren que la especie *O. ficus-indica* posee una capacidad extractora tal que puede constituirse en una especie de gran importancia para la fitorremediación de los suelos contaminados con Cd y Pb, en particular con la adición de micorrizas al suelo.

PALABRAS CLAVE:

Fitorremediación, fitoextracción, metales pesados.

ABSTRACT

PHYTOEXTRACTION OF LEAD AND CADMIUM WITH *Opuntia ficus-indica* L. IN ASSOCIATION WITH MYCORRHIZAE AND ADDING AMMONIUM NITRATE

The species *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. grows up in 25 countries to reap its fruits, young stems and mature cladodes. Mexico is the only country with commercial production of nopalitos in 12,041 ha with yearly mean yields of 9.03–99.93 t ha⁻¹ and an overall of 64.33 t ha⁻¹. This great productive potential of the species can be exploited for the purpose of phytoremediation of soils contaminated with heavy metals such as Pb and Cd. In particular, the Laguna Region in Mexico has heavy metal contamination caused by metallurgical activities. Therefore, the objective was to evaluate the capacity of *O. ficus-indica* in the phytoextraction of Pb and Cd, adding a mixture of arbuscular mycorrhizal (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum* and *G. clarum*) and ammonium nitrate fertilizer to contaminated soil with Cd and Pb. Thus, this soil was collected around a metallurgical industrial plant located in Bermejillo, Durango, Mexico. Once the soil was placed in pots, the cladodes of *O. ficus-indica* were planted. Then the soil (in each pot) was contaminated with Pb and Cd and it was fertilized with NH₄NO₃, in compliance with a two-factor design. After six months samples of roots, mature cladodes and young cladodes were taken. The results suggest that *O. ficus-indica* (L.) has such an extraction capacity that it can become a very important species for phytoremediation of contaminated soils with Cd and Pb, especially with the addition of mycorrhizas to the soil.

KEY WORDS:

Phytoremediation, phytoextraction, heavy metals.

I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública, se encuentran presentes en los suelos de manera natural en bajas concentraciones, sin embargo las actividades humanas tales como la agricultura, la industria y el almacenamiento de aguas residuales han ocasionado un aumento crítico de los niveles de concentración (Xiao, 2008). Los niveles elevados de metales pesados disminuyen la actividad microbiana del suelo, la producción de los cultivos y son una grave amenaza para la salud humana los cuales son adquiridos a través de la cadena alimenticia (Kachout, 2010).

Las actividades mineras y metalúrgicas practicadas en la Comarca Lagunera han contaminado al suelo, aire y agua con diferentes elementos potencialmente tóxicos como Pb, Cd, As y Zn. Algunos estudios sobre la contaminación con metales pesados en las inmediaciones de la planta fundidora situada en la localidad de Bermejillo, Durango se han realizado; como resultado se obtuvieron concentraciones de Pb de hasta $1,760 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a profundidades de 0 a 15 cm (Trejo-Calzada *et al.*, 2007).

Es clara la necesidad de implementar nuevas técnicas que ayuden a frenar este daño ambiental. La fitorremediación es el uso de plantas para extraer, destruir o retener sustancias peligrosas para el medio ambiente (Sagiroglu, 2006), translocarlos a las partes cosechables de las plantas y así ser removidos del

sitio contaminado (Zou, 2009). Esta técnica se ha convertido en un tópico de investigación de campo en los últimos decenios, ya que es un proceso natural, barato, ambientalmente amigable y eficaz en la rehabilitación del medio ambiente. Las habilidades que tienen las plantas para extraer metales varían en amplios intervalos y depende de la especie (Sagiroglu, 2006).

Cabe mencionar que son pocos los estudios realizados con plantas adaptadas a las zonas áridas, acerca de la fitoextracción de metales pesados, a pesar de que la región árida y semiárida comprende aproximadamente 103 millones de hectáreas, es decir, el 52% de la superficie continental de México (Solís, 1996; citado por Sosa *et al.*, 2006). Una especie vegetal de gran abundancia y que se adapta bien a las condiciones restringidas de las diferentes regiones áridas y semiáridas del planeta, tanto en lo referido a recursos hídricos, suelos y aspectos medioambientales es el nopal, *Opuntia ficus-indica* L. (Cerezal y Duarte, 2005).

II. OBJETIVO

2.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad de *Opuntia ficus-indica* L. para fitoextraer plomo (Pb) y cadmio (Cd) de suelo contaminado, al adicionar una mezcla de micorrizas arbusculares (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum* y *G. clarum*) y fosfonitrato de amonio.

2.2 Objetivos específicos

i) Evaluar el efecto que tiene la adición de las micorrizas y el fertilizante al suelo, en la concentración de los nutrimentos (K, Ca, N, P y Mg) y metales pesados (Pb y Cd) en los tejidos de *Opuntia ficus-indica* L. (raíz, cladodio madre y brotes).

ii) Determinar cuál de los factores (dosis de micorrizas, dosis de fertilizante) es el que tiene un efecto significativo sobre la fitoextracción de Pb y Cd.

III. HIPÓTESIS

i) El nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) aumenta su capacidad de bioacumulación de metales pesados (Pb y Cd) y nutrimentos (K, Ca, N, P, Mg) cuando sus raíces se encuentran en simbiosis con micorrizas y se adiciona al suelo fertilizante inorgánico nitrogenado (NH_4NO_3).

ii) El factor dosis de micorrizas es el que provoca un efecto positivo sobre la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de *Opuntia ficus-indica* L. (raíz, cladodio madre y brotes).

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Generalidades

La contaminación por metales pesados es un tema de actualidad tanto en el área ambiental como en salud pública, principalmente debido al impacto negativo que ha dejado en la percepción pública. Metales como el plomo, arsénico, aluminio, cadmio, entre otros, han sido utilizados desde hace mucho tiempo en distintas aplicaciones industrial y doméstica, sin tener un conocimiento preciso de los posibles perjuicios que pueden causar. No solo los metales pesados contaminan suelo, aire y agua en su forma elemental, sino también como componentes de pesticidas, fertilizantes y lixiviados de minas, entre otros (Voegelin *et al.*, 2003).

La Comarca Lagunera es una región con serios problemas de contaminación por metales pesados, siendo uno de los principales la contaminación del suelo por Pb y Cd (Trejo-Calzada *et al.*, 2007). El plomo, mercurio, arsénico y cadmio están clasificados como el primero, segundo, tercero y sexto elementos más peligrosos según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), la cual los enumeró de acuerdo a su prevalencia y la gravedad de su toxicidad (RAI, 2008).

La exposición de la población a metales pesados puede causar problemas a nivel neuronal, ácido desoxirribonucleico (ADN), enzimático (Mudgal, 2010) y trastornos neuroconductuales, tales como insomnio, fatiga, disminución de la

concentración, depresión, irritabilidad, síntomas gástricos, sensoriales y motores, varios tipos de cáncer, daño en los riñones, enfermedades autoinmunes o incluso la muerte en algunos casos de exposición a muy altas concentraciones (RAI, 2008) y recientes investigaciones han demostrado que dichos metales pueden ocasionar problemas sobre la función reproductora masculina (Wirth, 2010).

4.2 Metales pesados

Los metales pesados son elementos que tienen un número atómico mayor a 20, su peso molecular es de 63,5 a 200 g/mol aproximadamente y su densidad es mayor a los $5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Wirth, 2010). Estos metales se encuentran de manera natural en formaciones geológicas de la corteza terrestre y son liberados por los fenómenos naturales y las actividades humanas. La exposición a estos metales por lo general ocurre por accidente, en determinadas ocupaciones, a través del consumo de alimentos y agua contaminados o la inhalación de aire contaminado. No son necesarios para la salud humana y no son parte de la dieta normal sin embargo el consumo de alimentos es una fuente importante de exposición en todo el mundo (CDC, 2005).

Debido a que los metales pesados no son química ni biológicamente degradables y una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años (Pineda-Hernández, 2004) provocando a concentraciones elevadas efectos adversos en la mayoría de los organismos por ello, se han

desarrollados técnicas para remediar a los suelos con metales pesados (Hutchison *et al.*, 2006)

4.3 Plomo

4.3.1 Principales fuentes de contaminación

El plomo es un metal gris-azulado el cual se encuentra presente de manera natural en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. Se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles (ATSDR, 2007).

4.3.2 Usos

El plomo tiene muchos usos diferentes. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X. Debido a inquietudes sobre salud pública, la cantidad de plomo en pinturas y cerámicas y en materiales para calafatear y soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años (ATSDR, 2007).

4.3.3 Plomo en el medio ambiente

El plomo no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua. Cuando se libera plomo al aire, éste puede movilizarse largas distancias antes de depositarse en el suelo. Una vez que cae al suelo, generalmente se adhiere a partículas del suelo. La movilización del plomo desde el suelo al agua subterránea dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo (ATSDR, 2007).

4.3.4 Exposición al plomo

La exposición ocurre al comer alimentos o tomando agua que contiene plomo. En algunas viviendas antiguas, las cañerías de agua pueden tener soldaduras de plomo, al pasar tiempo en áreas donde se han usado pinturas con plomo y que están deteriorándose, trabajar en una ocupación en la que se usa plomo o practicando aficiones en las que se usa plomo, por ejemplo, en la manufactura de vidrios de colores (ATSDR, 2007).

4.3.5 Daños a la salud

Los efectos del plomo son los mismos si se ingiere o inhala. El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición prolongada de adultos puede causar un deterioro en el resultado de algunas pruebas que miden funciones del sistema nervioso. También puede producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo también produce un pequeño aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo y en hombres puede alterar la producción de espermatozoides (ATSDR, 2007).

4.4 Cadmio

4.4.1 Principales fuentes de contaminación

El cadmio es un elemento natural de la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todos los suelos y rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen una cantidad de cadmio. La mayor parte del cadmio que se usa se extrae durante la producción de otros metales como el zinc, plomo y cobre (ATSDR, 2008).

4.4.2 Usos

El cadmio no se corroe fácilmente y tiene muchos usos. Forma parte de baterías, pigmentos. Se usa para el revestimiento de metales y plásticos (ATSDR, 2008).

4.4.3 Cadmio en el medio ambiente

El cadmio entra al suelo, al agua y al aire durante actividades industriales y de minería, y durante la combustión de carbón y desechos domésticos. El cadmio no se degrada en el ambiente, pero sí cambia de forma. Las partículas de cadmio en el aire pueden movilizarse largas distancias antes de depositarse en la tierra o el agua. Algunas formas de cadmio se disuelven en agua. El cadmio se adhiere fuertemente a partículas del suelo. Las plantas, los peces y otros animales incorporan cadmio del ambiente (ATSDR, 2008).

4.4.4 Exposición al cadmio

Todos los alimentos contienen niveles bajos de Cd (los niveles más altos se encuentran en mariscos, hígado y riñón). Se ingiere Cd al fumar cigarrillos o respirando humo de cigarrillo, al respirar aire contaminado en el trabajo, al beber agua contaminada, vivir cerca de plantas industriales que liberan cadmio al aire (ATSDR, 2008).

4.4.5 Daños a la salud

Respirar niveles altos de cadmio puede dañar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago causando vómitos y diarrea. La exposición prolongada a niveles más bajos de cadmio en el aire, los alimentos o el agua produce acumulación de cadmio en los riñones y posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en daño del pulmón y fragilidad de los huesos (ATSDR, 2008)

4.5 Fitorremediación

La fitorremediación o empleo de plantas para estimular la degradación, transformación o eliminación de compuestos, directamente o en conjunción con microorganismos, está constituyendo una parte muy importante de la tecnología de la biodegradación. Las plantas proporcionan nutrientes que favorecen el metabolismo en la zona radicular o rizósfera. La fitorremediación también

incluye las contribuciones directas de la planta en los procesos de degradación, inmovilización y volatilización (Prescott *et al.*, 2004).

4.5.1 Plantas hiperacumuladoras

Las plantas que absorben grandes cantidades de metales se definen como “plantas hiperacumuladoras” y tiene la capacidad de absorber: $\text{Cd} > 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{Cu} > 1000$, $\text{Pb} > 1000$, $\text{Zn} > 10000$ y su capacidad para almacenar metales pesados en las partes aéreas es 10-500 veces mayor que en las plantas comunes (Sagiroglu, 2006). Las plantas que son usadas para la fitorremediación deben de tener las siguientes características: (i) ser tolerantes a altas concentraciones de metales, (ii) acumular altos niveles del metal, (iii) rápida velocidad de crecimiento, (iv) producir altas cantidades de biomasa en el campo y (v) tener un sistema radicular profuso (Kachout, 2010).

4.5.2 Fitoextracción y Fitoestabilización

Hay dos enfoques para la fitorremediación de metales pesados; fitoextracción y fitoestabilización. Fitoextracción consiste en la translocación de metales pesados presentes en el suelo, a la biomasa de la parte aérea de la planta, mientras que la fitoestabilización se centra en el establecimiento de un tope vegetativo que no acumula metales, sino más bien inmoviliza los metales en el suelo. La fitoextracción se encuentra limitada por las bajas tasas de remoción de metal, que es una combinación de baja producción de biomasa y la captación suficientemente alta del metal en el tejido de la planta. Mientras que la fitoestabilización se encuentra limitada por la falta de conocimiento de las

modificaciones mínimas necesarias (por ejemplo, el abono, riego) para apoyar a largo plazo el establecimiento de la planta (Méndez, 2008). Los estudios sobre fitoestabilización en ambientes áridos y semiáridos son limitados y no han abordado varias cuestiones importantes. Por ejemplo, la acumulación de metales en la planta no ha sido documentada en la mayoría de los estudios de campo. Esto es especialmente importante en la determinación del establecimiento del destino a largo plazo de las plantas, así como los contaminantes metálicos. Además la información fácilmente accesible que se necesita en los rangos de tolerancia a los metales en las especies metalófitas adecuados para el crecimiento en las zonas altamente contaminadas, los requisitos mínimos de agua necesarios para el exitoso establecimiento de las plantas (Méndez, 2008a).

.

El objetivo de un proceso fitorremediador de suelos contaminados no debe ser solamente eliminar el contaminante sino sobre todo recuperar la calidad del suelo, entendida ésta como la capacidad de este recurso para realizar sus funciones de forma sostenible. Los indicadores biológicos de la calidad del suelo, en especial aquellos relacionados con la biomasa, actividad y biodiversidad de las comunidades microbianas, presentan un enorme potencial como herramienta monitorizadora de la eficacia de un proceso fitorremediador.

Estos bioindicadores son de gran utilidad para evaluar el efecto que tienen los procesos fitoextractores del suelos contaminados con metales sobre la calidad

del suelo (Garbisu *et al.*, 2007). Para que una tecnología sea sostenible, debe ser económicamente viable y ambientalmente compatible y culturalmente aceptable. La fitorremediación utiliza las capacidades existentes de las plantas y de los sistemas que apoyan para limpiar los suelos, siendo más rentable que los métodos usados tradicionalmente para la recuperación de suelos contaminados (Schmidt, 2003).

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo que permite evaluar si la fitorremediación es o no es efectiva para el sitio que se pretende remediar.

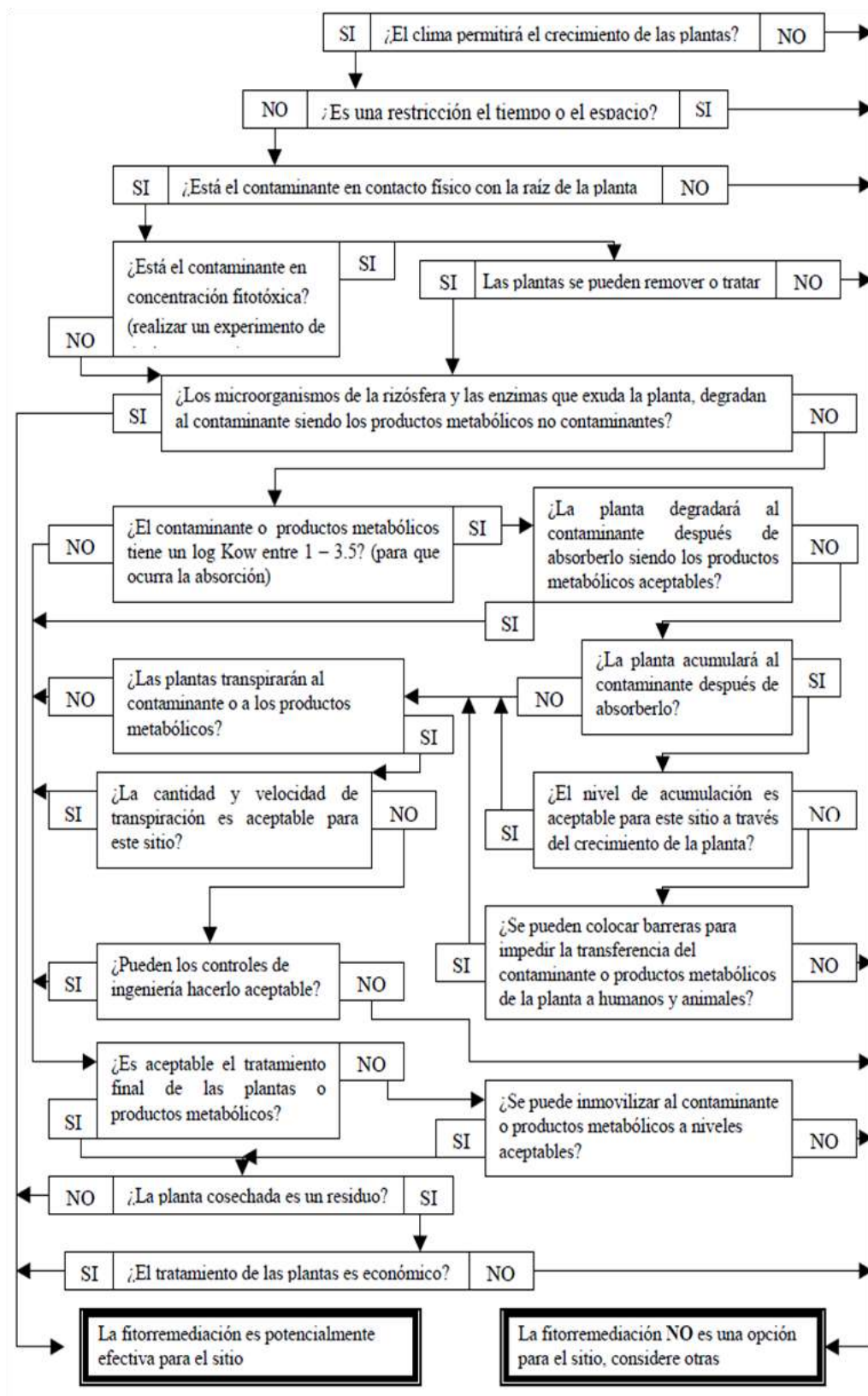


Figura 1. Diagrama de flujo para la Fitorremediación del suelo (USEPA, 2000; ITRC, 2001).

4.6 Micorrizas

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son organismos del suelo que viven simbióticamente con la mayoría de las plantas. Ellos les aportan beneficios, dándoles ventajas con respecto a las plantas no micorrizadas, por ejemplo facilitan la toma de nutrimentos de baja disponibilidad o de poca movilidad en el suelo (P, Zn, Cu), evitan la acción de microorganismos patógenos en la raíz, aumentan la tolerancia de la planta a condiciones de stress abiótico en el suelo (Barrer, 2009), le dan protección de las condiciones de sequía, efectos tóxicos de los metales pesados y la infección de algunas enfermedades del suelo que nacen con mayor crecimiento de las plantas. Además, ésta asociación aumenta la formación de agregados de suelo estables que mejora la estabilidad de la estructura del suelo y restringen su erosión (Singh *et al.*, 2010). El establecimiento de la simbiosis entre el hongo y la planta lleva a una secuencia de etapas de reconocimiento causando cambios tanto morfológicos como fisiológicos en los dos organismos que interactúan.

La especificidad entre los HMA y el hospedero se da debido a la respuesta de los HMA a las condiciones edáficas del suelo y a otras características como el metabolismo de las plantas, la arquitectura de la raíz y las estrategias ecológicas de los hongos. El uso de HMA en la agricultura contribuye a mejorar el nivel nutricional de la planta sin embargo, la condición de monocultivo en los agroecosistemas puede estar causando una disminución en la diversidad de

HMA y como consecuencia, éstos microorganismos podrían estar brindando un efecto aunque benéfico, limitado a los hospederos (Barrer, 2009).

En ocasiones los propágulos de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en los suelos pueden estar en bajo número o éstos no ser eficientes para aumentar el crecimiento de las plantas hospedadoras. La estrategia sería recurrir a la inoculación con HMA (nativos o no). Si la inoculación se realiza con HMA no nativos, debe considerarse que los suelos difieren en su receptividad a los HMA al ser introducidos (Covacevich, 2010).

4.7 Fertilización nitrogenada

El nitrógeno (N) es el elemento de mayor influencia en el crecimiento de cualquier cultivo y del nopal (*Opuntia ficus-indica*). Sin embargo son muy escasos los estudios que se han realizado para establecer las bases relacionadas con la fuente, dosis y época de suministro del fertilizante nitrogenado en función de la capacidad de extracción y selectividad por la planta del nopal (Gallegos-Vázquez, 2000).

Asimismo, el uso de fertilizantes es una práctica común, cuando se aplican técnicas de fitoextracción en suelos contaminados con metales pesados debido a que los fertilizantes inorgánicos son considerados como aditivos del suelo los cuales proporcionan los nutrimentos necesarios para que las plantas tengan un alto rendimiento (Lasat, 2000; citado por Rodríguez-Ortiz, 2006). Las raíces que crecen en un medio con bajo contenido de nitrógeno tienden a ser largas y escasamente ramificadas en cambio las que crecen con alto contenido de nitrógeno son cortas y bien ramificadas. La falta de este elemento reduce el

desarrollo de las raíces, mientras que su exceso anula el crecimiento radical de las mismas. Por lo tanto el nitrógeno es el elemento de mayor influencia en el crecimiento de agaves y cactáceas (Zúñiga-Tarango, 2003).

4.8 Nopal (*Opuntia ficus-indica*)

El centro y sur de México son uno de los lugares de distribución y domesticación más importantes de *Opuntia ficus-indica* L. en el continente americano. Ésta es una de las cactáceas con una larga historia de domesticación y actualmente es la especie más importante en la economía nacional. El nopal *Opuntia ficus-indica* se cultiva con diversos propósitos en el mundo, mientras que en México, principal productor y consumidor mundial, particularmente se consume como verdura (nopalitos). En México se cultivan alrededor de 11,000 ha de esta especie (Venegas-Rico, 2010).

4.8.1 Taxonomía

El nopal pertenece a la familia Cactaceae comúnmente conocidas como cactáceas o cactus. Las cactáceas son plantas que caracterizan los paisajes mexicanos, se distribuyen principalmente en las zonas áridas aunque una gran diversidad de especies se encuentra en las zonas tropicales, subtropicales y templadas. En México encontramos el mayor número de géneros y especies de toda América, vale la pena mencionar que de las 1600 especies que forman esta familia, en México habitan 1088 (Ríos-Ramos, 2004).

4.8.2 Descripción física

Opuntia ficus-indica casi no tiene espinas. Es un vegetal arborescente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide entre 20 y 50 cm de diámetro. Forma artículos oblongos (Pencas o Cladodios) de 30 a 60 cm de largo x 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor (Ríos-Ramos, 2004). Los cladodios del nopal y especialmente los brotes tiernos o nopalitos, por lo general, tienen un alto contenido de agua que es lo que conforman los altos rendimientos, considerando a estos como una importante fuente de agua para la fauna en las nopaleras silvestres. El contenido de agua puede variar dependiendo de la variedad, las condiciones ambientales y/o del manejo del cultivo, pero en términos generales es de 95% de agua y 5% de materia seca. Tienen de 20 a 30 estomas por mm^2 , fijando el CO_2 durante la noche vía el mecanismo CAM produciéndose la fotosíntesis (Pimienta *et al.*, 1992; citado por Vázquez-Alvarado *et al.*, 2008).

4.8.3 Longevidad

La longevidad promedio de las plantaciones de nopal es de 5 a 7 años, alcanzando algunas veces hasta 10 años con buenos rendimientos; en terrenos apropiados con pH neutro y con prácticas constantes de cultivo; sin problema de plagas el nopal puede llegar a vivir hasta 80 años alcanzando de 80 a 90 t ha^{-1} año^{-1} (Ríos-Ramos, 2004).

4.8.4 Riego

El cultivo de nopal es tolerante a la falta de agua, las condiciones climáticas requeridas para su desarrollo, es necesaria una temperatura media anual de

16-28°C; una precipitación pluvial media anual de 150-1800 mm, la altitud tiene un margen de 800- 1800 msnm. En general, los rangos mencionados se refieren a condiciones óptimas de desarrollo del nopal, sin embargo el nopal prolifera, fuera de estas características (Ríos-Ramos, 2004).

Se han realizado estudios con diferentes tipos de plantas hiperacumuladoras para la remediación de suelos contaminados con metales pesados (Pb y Cd). En el cuadro 1 se muestra una comparación entre los resultados de varias especies con potencial fitorremediadora tomando en cuenta la concentración de metales pesados (Pb y Cd) presentes en raíz y en la parte aérea.

Cuadro 1. Comparación entre especies fitorremediadoras de metales pesado (Pb y Cd).

Especie	Raíz		Parte aérea	
	Cd	Pb	Cd	Pb
<i>Taraxacum officinale</i> Web. [€]	0.20±0.23 mg kg ⁻¹	1.7±1.5 mg kg ⁻¹	0.21±0.21 mg kg ⁻¹	2.6±2.2 mg kg ⁻¹
<i>Amaranthus</i> spp. [£]	0.455 mg kg ⁻¹	—	0.24 mg kg ⁻¹	—
<i>Echinochloa stagninum</i> [¥]	—	—	6.1–45.9 µg g ⁻¹	291–2421 µg g ⁻¹
<i>Viola baoshanensis</i> [¶]	941 ± 476 mg kg ⁻¹	1215 ± 287 mg kg ⁻¹	1090 ± 566 mg kg ⁻¹	1902 ± 267 mg kg ⁻¹
<i>Amaranthus hybridus</i> L. [▫]	—	—	2 a 12 mg kg ⁻¹	60 a 90 mg kg ⁻¹ .

[€]Królak (2003), [£]Sutrisno *et al.*, (2011), [¥]Aboulroos *et al.*, (2006), [¶]Wu *et al.*, (2010) [▫]Ortiz-Cano *et al.*, (2006)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del Área experimental

El experimento se realizó en el invernadero de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Dgo. Las coordenadas geográficas son 25° 53' 31.99" latitud norte, 103° 36' 11.23" longitud oeste y una altitud de 1,120 m.

5.2 Obtención de las muestras

Se colectaron pencas madre de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) en el predio del Centro Regional Universitario del Centro Norte de la Universidad Autónoma Chapingo, sita en Zacatecas, Zac., México. También se colectó suelo superficial (0-30 cm) del ejido "La Victoria" ubicado en el municipio de Mapimí, Dgo., México.

5.3 Establecimiento del experimento

Se realizó un análisis previo del suelo para determinar sus características fisicoquímicas y su nivel de contaminación.

5.4 Diseño experimental

El experimento se estableció al considerar la distribución de 12 tratamientos de acuerdo al diseño 'completamente al azar' y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron producto de los factores dosis de micorrizas y dosis de fertilizante nitrogenado. Las dosis de micorrizas fueron: 0, 2.5 y 5 g·kg⁻¹ y las de fertilizante: 0, 50, 100 y 150 mg N·kg⁻¹. Como fuente de micorrizas se utilizó el producto comercial PHC ORTIC PLUS®, que contiene la mezcla de micorrizas

(*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum* y *G. clarum*), y la fuente de fertilizante fue: fosfonitrato el cual es más del 90% Nitrato de amonio (NH_4NO_3), con un pequeño porcentaje de Ácido Fosfórico (H_3PO_4). Los tratamientos se conformaron como lo muestra el cuadro 2 (en total hubo 48 unidades experimentales):

Cuadro 2. Matriz de tratamientos.

Tratamiento	Concentración de micorrizas ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Concentración de NH_4NO_3 (mg kg^{-1} de N)
1	0	0
2	0	50
3	0	100
4	0	150
5	2.5	0
6	2.5	50
7	2.5	100
8	2.5	150
9	5	0
10	5	50
11	5	100
12	5	150

La plantación se realizó en el mes de mayo de 2010. Antes se colocaron 11 Kg de suelo en cada maceta. Una semana después se contaminó el suelo con Pb y Cd usando como fuente contaminante $400 \text{ mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ de Nitrato de Plomo $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y $37 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$ de Cloruro de Cadmio CdCl_2 . Se dejaron pasar 3 semanas para que los cladodios produjeran raíces y se aplicó las dosis de micorrizas y fertilizante en seis sitios alrededor de los cladodios a una distancia de 2 cm a una profundidad de 5 a 10 cm.

5.5 Mantenimiento del experimento

El riego se realizó dos veces por semana, al aplicar un litro de agua en cada maceta, cantidad suficiente para que las plantas no sufrieran estrés por déficit hídrico y disminuir la lixiviación del Pb y Cd.

5.6 Colecta y análisis de las muestras

La colecta de las muestras se realizó en el mes de diciembre, las plantas se dividieron en 5 partes: raíz, pencas madre, primero, segundo y tercer nivel de nuevos brotes. Se obtuvo el peso fresco de cada una de las partes. Cada uno de los cladodios y raíz se lavó con agua destilada, se dejó secar al aire libre por 3 días y posteriormente se secó en la estufa a 65°C hasta llegar a peso constante y así se obtuvo el valor de la materia seca.

Una vez secos los cladodios y raíz, se molieron en un molino vegetal hasta que las muestras quedaron pulverizadas. Se pesaron 5 gramos de cada muestra, se empaquetaron en bolsas de papel, se etiquetaron y se guardaron para su análisis en el SAIT Polytechnic. Se dejó un gramo de raíz fresca para la determinación de la colonización micorrízica.

5.7 Análisis físico-químico de la muestra de suelo

El análisis fisicoquímico del suelo se realizó conforme a la norma NOM-021-SEMARNAT-2000, sobre fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis de metales pesados.

Se colectaron muestras de suelo superficial de 0 a 30 cm de profundidad, obteniendo muestras simples, de las cuales se obtuvo una muestra compuesta

de 4 kg, la cual se seco a medio ambiente durante una semana, una vez seca la muestra se homogenizó mediante molido, utilizando un rodillo de madera, después se obtuvo una submuestra en base al método del cuarteo. Posteriormente se tamizó empleando un tamiz de malla de 2mm de diámetro hasta obtener 1 Kg de suelo, una vez lista la muestra se procedió a su análisis conforme lo indica la Norma. Se realizaron las determinaciones físico-químicas que muestra el cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis físico-químico del suelo

Características	Método
pH	Potenciómetro
Conductividad eléctrica (dSm^{-1})	Conductímetro
Conductividad eléctrica (dSm^{-1})	Conductímetro
Calcio soluble (Ca^{+2} meq litro^{-1})	Extracción con Acetato de amonio a pH 7 y cuantificados por absorción atómica
Magnesio soluble (Mg^{+2} meq litro^{-1})	
Sodio soluble (Na^{+1} meq litro^{-1})	
Potasio soluble (K^{+1} meq litro^{-1})	
Porcentaje de sodio intercambiable (PSI %)	Cuantificación de cationes solubles por absorción atómica
Carbonatos totales (CaCO_3 , %)	Método volumétrico por calorimetría
Materia orgánica (%)	Método de Walkley Black
Nitrógeno disponible (N-NO_3 , mg kg^{-1})	Extracción con Acetato de amonio a pH 7 y cuantificados por absorción atómica
Fósforo disponible (P, mg kg^{-1})	
Potasio disponible (K, mg kg^{-1})	
Relación de Adsorción de Sodio (%)	Cuantificación de cationes solubles por absorción atómica
C %	Extracción con Acetato de amonio a pH 7 y cuantificados por absorción atómica

5.8 Análisis de las variables de estudio

5.8.1 Cuantificación de Pb y Cd en raíz y pencas o cladodios de nopal

Se tomaron muestras de raíz y cladodios. Luego se secaron a una temperatura de 65°C hasta llegar a peso constante (48 horas aproximadamente). Las muestras se molieron en un molino vegetal y en licuadora. La preparación de las muestras se hizo conforme lo indica la EPA-3051^a. Se tomaron 0.5 g de cada muestra y se realizó una digestión ácida por microondas para lo cual se utilizó el Microwave Digestion ETHOS TC, operado a una temperatura máxima de 160°C, una presión de 40 Bar, una potencia máxima de 1000 W y un tiempo de 1.20 hrs, posteriormente las muestras digeridas se filtraron con papel filtro Whatman No 41, el filtrado resultante se aforó a 100 ml con agua tridestilada, se etiquetaron las muestras y se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis, el cual se realizó por medio del ICP modelo Genesisfes 18-12-2009 AMETEK 4500 VA, en los laboratorios de SAIT Polytechnic.

5.8.2 Cuantificación de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg en cladodios y raíz

Para cuantificar la concentración de los macro nutrientes K, Ca y Mg se realizó el mismo procedimiento que para la cuantificación de los metales pesados Pb y Cd. Se prepararon las muestras conforme la EPA-3051A, se realizó una digestión ácida en microondas y se cuantificaron en por medio del ICP.

La cuantificación de Nitrógeno y Fósforo se realizó en el laboratorio de agua-suelo-planta de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. La cuantificación de Nitrógeno total se realizó

por el método Macro Kjeldahl, para lo cual se pesaron 0.5 g de la muestra vegetal en un papel filtro, se envolvió la muestra y se colocó dentro de un matraz Kjeldahl de 800 ml, se agregó 1 g de mezcla digestora o catalizador y 25 ml de H₂SO₄ concentrado, la muestra se mezcló por rotación y se dejó en predigestión por una hora. Posteriormente el matraz se colocó en el macrokjeldahl para digestión, la digestión termina cuando aparezca un color amarillento-verdoso lo cual indica que la materia orgánica se ha oxidado. La mezcla se dejó enfriar y se preparó para llevar a cabo la digestión al agregar 400 ml de agua destilada, 100 ml de NaOH al 40% y perlas de vidrio. El destilado se colectó en un matraz Erlenmeyer de 300 ml el cual contenía 25 ml de H₃BO₄ al 4% y 10 gotas de indicador rojo de metilo. Una vez obtenidos 250 ml del destilado se precedió a la titulación con H₂SO₄ al 0.05N.

La concentración de nitrógeno total se determinó con la siguiente fórmula:

$$\%N = \left(\frac{(\text{ml gastados} - \text{ml blanco}) \times (\text{Normalidad H}_2\text{SO}_4) \times (0.014)}{\text{peso de la muestra}} \right) \times 100$$

5.8.3 Peso de la muestra

La cuantificación de Fósforo se determinó por fotolorimetría con solución mixta de molibdato-metavanadato de amonio. Para la digestión de las muestras se pesaron 0.5 g de la muestra vegetal en un matraz microkjeldahl y se agregó una mezcla ácida de HNO₃ y HClO₄ en una proporción de 3:2. Las muestras se llevaron a una plancha a una temperatura de 100°C. Una vez terminada la

digestión las muestras se filtraron con papel filtro Whatman No 41 y el filtrado resultante se aforó a 100 ml con agua tridestilada. Se tomaron de forma muy precisa 5 ml de la muestra y se pusieron en un tubo de ensayo, se agregaron 5 ml de la solución mixta y se llevó a agitación; la muestra se dejó reposar durante 20 minutos, se prepararon los estándares y el blanco. Posteriormente se procedió a la lectura de las muestras en el espectrofotómetro, a una longitud de onda de 490nm.

5.9 Análisis estadístico

El análisis estadístico se hizo con el programa SAS. Se realizó un análisis de varianza y la prueba de medias (DMS) para los tratamientos (dosis de micorrizas y dosis de fertilizante) y cada una de las variables (Cd, Pb, K, Ca, N, P, Mg, peso fresco y peso seco) presentes en raíz, cladodios madre y nuevos brotes). Para la elaboración de las gráficas se utilizó el programa Minitab 14.

VI. RESULTADOS

Los resultados del análisis físico-químico del suelo se muestran en el cuadro 4, donde se aprecia que la concentración para metales pesados se encuentra dentro de los límites permisibles, es un suelo franco, no salino y moderadamente básico.

Cuadro 4. Características físico-químicas de suelo superficial usado en el estudio.

Característica	Valor	Interpretación
pH	8.1	Moderadamente
Conductividad eléctrica (dSm ⁻¹)	2.0	básico
Calcio soluble (Ca ⁺² meq litro ⁻¹)	4.0	No salino
Magnesio soluble (Mg ⁺² meq litro ⁻¹)	7.0	Bajo
Sódio soluble (Na ⁺¹ meq litro ⁻¹)	7.0	Medio
Potasio soluble (K ⁺¹ meq litro ⁻¹)	2.1	Normal
Porcentaje de sodio intercambiable (PSI %)	5.36	Bajo
Carbonatos totales (CaCO ₃ , %)	13	Normal
Materia orgánica (%)	2.3	Alto
Nitrógeno disponible (N-NO ₃ , mg kg ⁻¹)	16.3	Medio
Fósforo disponible (P, mg kg ⁻¹)	12.0	Bajo
Potasio disponible (K, mg kg ⁻¹)	401	Bajo
Relación de Adsorción de Sodio (%)	2.99	Alto
C %	1.33	Normal
N total	0.11	Relación C/N
Arena (%)	45.8	Ligeramente alta
Limo (%)	34	
Arcilla (%)	20.2	Suelo franco
Plomo total ppm	23.6	
Cd total (ppm)	0.101	Niveles permisibles
		Niveles permisibles

Los estimadores estadísticos básicos de las variables involucradas se aprecian en el Cuadro 5. En él se puede apreciar que *Opuntia ficus-indica* L. tiene la

capacidad de concentrar metales pesados en sus tejidos. Así como también se aprecia que la concentración máxima de plomo ocurrió en los cladodios madre.

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos (n=48) de masas y concentración de elementos en tejido vegetal de nopal, inducidas por la adición de N y micorrizas al suelo.

Variable	Media	DE	CV	Mínimo	Máximo
PF-R (g)	25.931	6.563	25.31	11.0	40.0
PS-R (g)	3.788	0.738	19.48	1.630	4.910
K-R (g kg ⁻¹)	13.322	1.248	9.36	10.047	16.692
Ca-R (g kg ⁻¹)	4.096	4.157	29.49	7.808	24.708
Mg-R (g kg ⁻¹)	3.9798	0.5612	14.10	2.8558	5.3786
Pb-R (g kg ⁻¹)	0.4987	0.0746	14.95	0.3490	0.6724
Cd-R (g kg ⁻¹)	0.0832	0.0152	18.30	0.0454	0.1174
PF-CM (g)	870.2	230.0	26.43	483.0	1419.3
PS-CM (g)	72.76	17.56	24.13	41.50	120.40
K-CM (g kg ⁻¹)	33.735	5.680	17.14	10.886	44.478
Ca-CM (g kg ⁻¹)	41.08	8.01	19.50	10.12	59.91
N-CM (g kg ⁻¹)	12.223	2.342	19.16	8.395	18.117
Mg-CM (g kg ⁻¹)	24.54	22.56	91.92	2.84	70.31
P-CM (g kg ⁻¹)	0.5891	0.2507	42.56	0.1360	1.1020
Pb-CM (g kg ⁻¹)	1.4919	0.2852	19.12	0.3654	2.0354
Cd-CM (g kg ⁻¹)	0.0862	0.0172	19.99	0.0536	0.1404
PF-B (g)	338.7	196.6	58.06	89.0	994.3
PS-B (g)	25.13	14.22	56.60	6.00	84.00
K-B (g kg ⁻¹)	45.79	9.36	20.45	31.77	67.94
Ca-B (g kg ⁻¹)	41.172	6.914	16.79	27.221	54.823
N-B (g kg ⁻¹)	13.287	2.392	18.00	9.642	18.454
Mg-B (g kg ⁻¹)	7.510	0.907	12.07	5.470	8.971
P-B (g kg ⁻¹)	1.4672	0.4156	28.33	0.4880	2.3760
Pb-B (g kg ⁻¹)	0.9277	0.1159	12.50	0.6376	1.1260
Cd-B (g kg ⁻¹)	0.0975	0.0163	16.72	0.0582	0.123
PF- B1 (g)	809.0	285.9	35.34	166.9	1545.0
PF- B1 (g)	447.26	16.11	34.08	10.50	81.50
PF- B2 (g)	612.2	192.6	31.46	206.5	994.3
PS-B2 (g)	41.14	13.88	33.74	9.70	84.0
PF-B3 (g)	219.7	133.9	60.97	0.0	465.0
PS- B3 (g)	17.03	11.06	64.94	0.0	41.40
PF- Total (g)	2537.0	672.5	26.51	1155.5	4113.0
PS- Total (g)	181.97	44.35	24.37	68.33	293.83
NB	3.146	1.810	57.57	1.0	10.0

6.1 Raíz

6.1.1 Metales pesados

6.1.1.1 Cadmio (Cd)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de Cd en la raíz. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 7 grupos de tratamientos (Figura 2); sin embargo, no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas), pero es evidente una tendencia de incremento de la concentración de Cd conforme aumentó la cantidad de N adicionado al suelo, en el caso del nivel de 5 g kg^{-1} de micorrizas (Figura 2 arriba). De manera contundente, la prueba de medias para el factor Micorrizas indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de Micorrizas. Ello sugiere, incluso, que el incremento de la concentración de Cd se puede deber mas al aumento de la cantidad de micorrizas incorporada en el suelo (Figura 2 abajo) que a la adición de N.

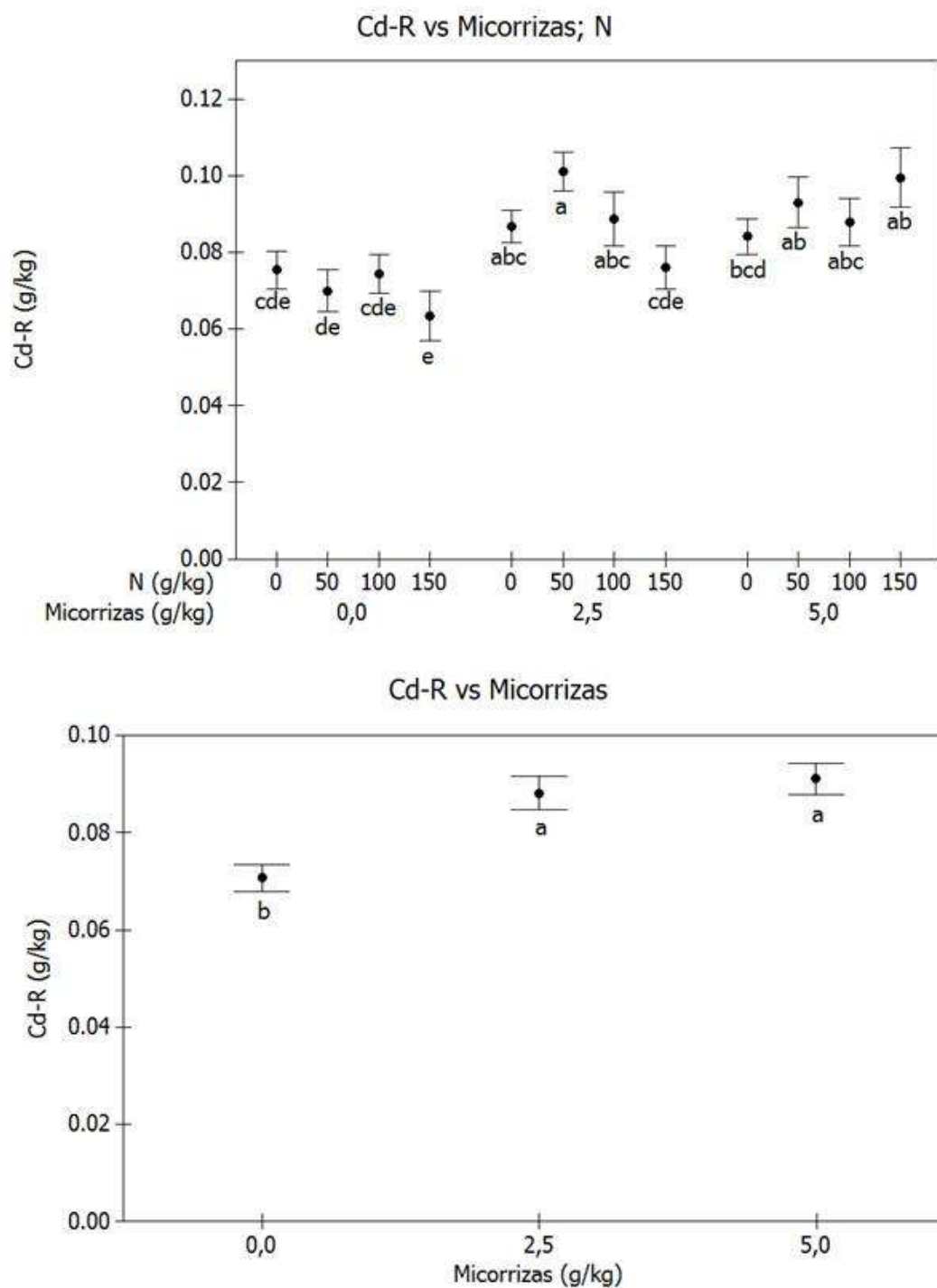


Figura 2. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor Micorrizas (abajo) sobre la concentración de Cd en raíz de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de Micorrizas.

6.1.1.2 Plomo (Pb)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de Pb en la raíz. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 3 grupos de tratamientos (Figura 3); y se aprecia una tendencia general clara que se asocia al factor micorrizas, además es evidente una tendencia de incremento de la concentración de Pb conforme aumentó la cantidad de nitrógeno adicionado al suelo, en el caso del nivel de 5 g kg^{-1} de micorrizas (Figura 3 arriba). De manera contundente, la prueba de medias para el factor Micorrizas indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de Micorrizas. Ello sugiere, incluso, que el incremento de la concentración de Pb se puede deber mas al aumento de la cantidad de micorrizas incorporada en el suelo (Figura 3 abajo) que a la adición de N.

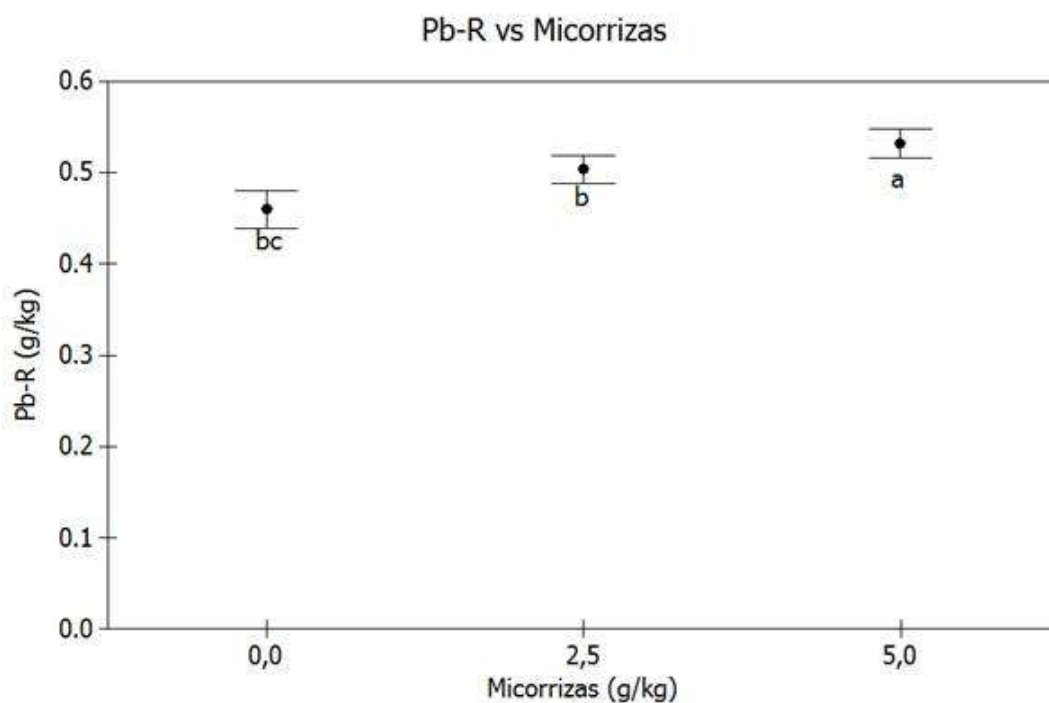
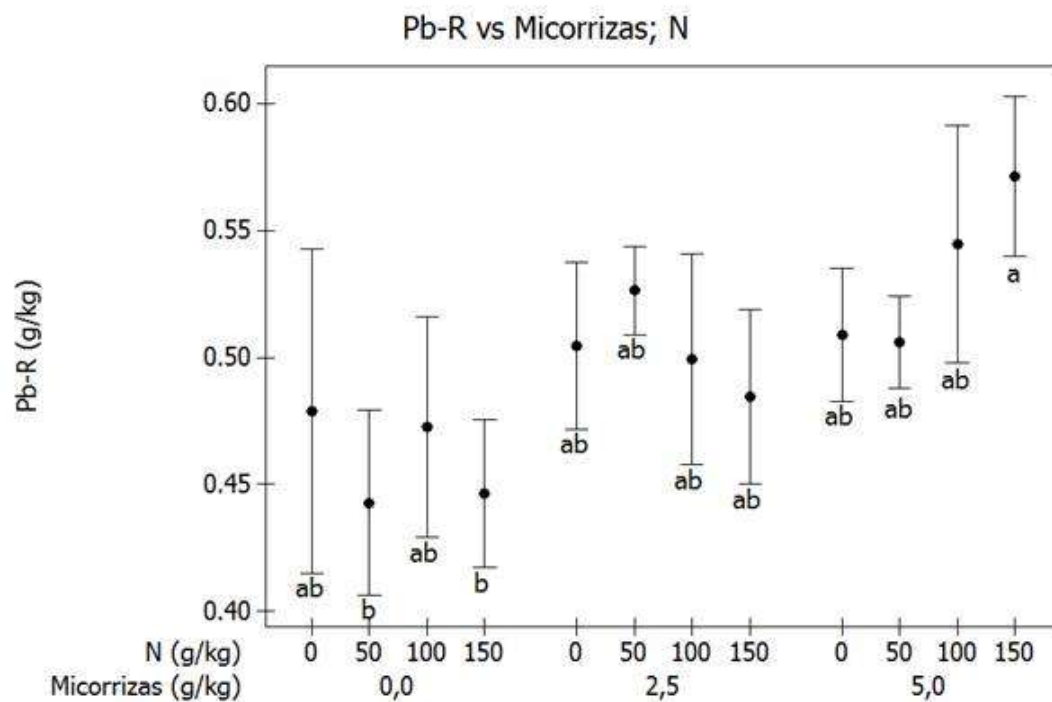


Figura 3. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor Micorrizas (abajo) sobre la concentración de Pb en raíz de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de Micorrizas.

6.1.2 Nutrimentos

6.1.2.1 Potasio (K) y Calcio (Ca)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de K y Ca en la raíz. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 5 grupos de tratamientos para K y 3 grupos para Ca (Figura 4); sin embargo, no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas), pero es evidente una tendencia de incremento de la concentración de Ca conforme aumentó la cantidad de nitrógeno adicionado al suelo, en el caso del nivel de 5 g kg⁻¹ de micorrizas (Figura 4 abajo).

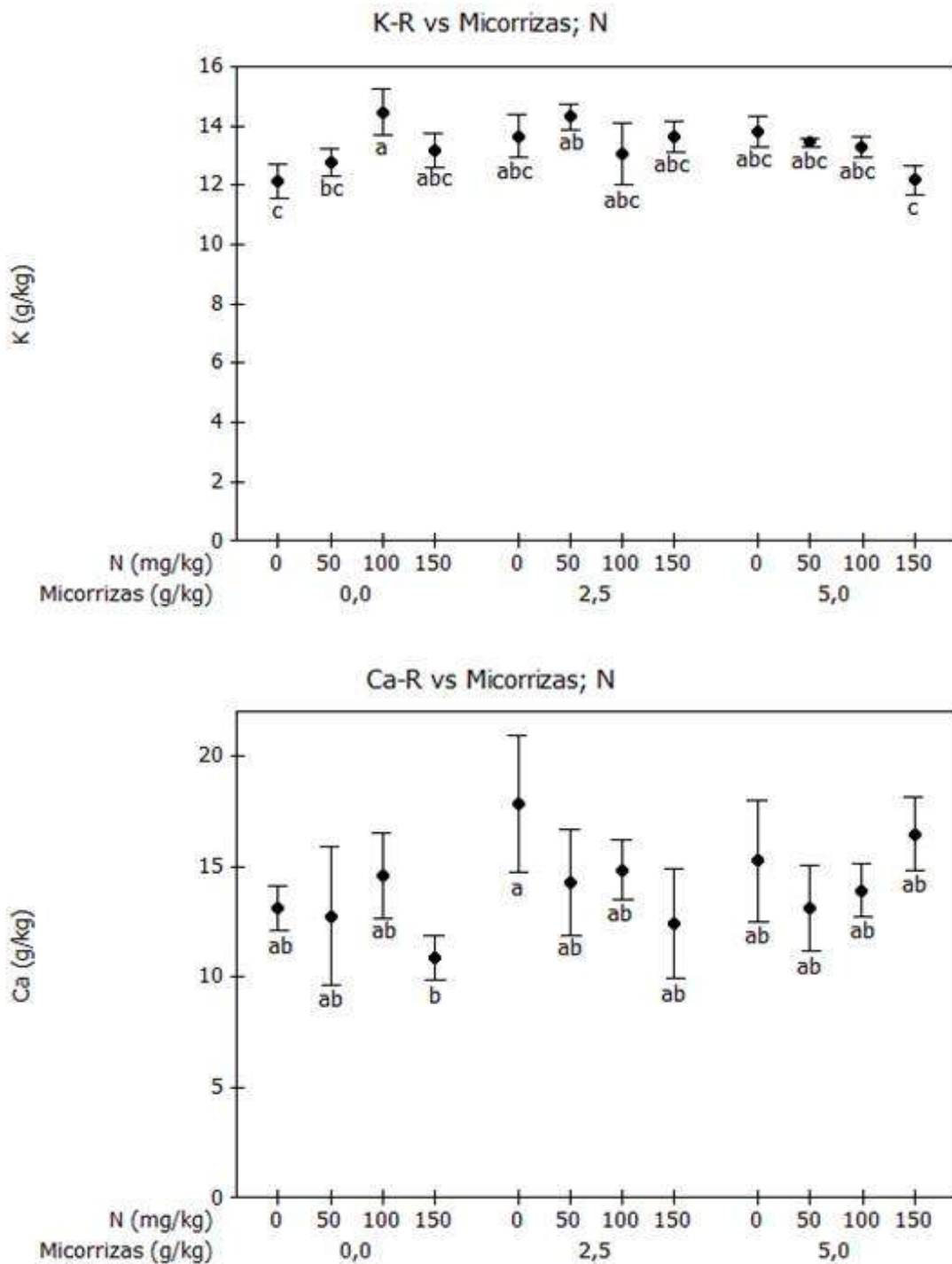


Figura 4. Efectos medios (•) de Tratamientos sobre la concentración de K (arriba) y Ca (abajo) en raíz de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de Micorrizas.

6.1.2.2 Magnesio (Mg)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de Mg en la raíz. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 3 grupos de tratamientos (Figura 5); sin embargo, no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas), pero es evidente una tendencia de incremento de la concentración de Mg conforme aumentó la cantidad de N adicionado al suelo, en el caso del nivel de 5 g kg^{-1} de micorrizas (Figura 5 arriba). De manera contundente, la prueba de medias para el factor Micorrizas indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de Micorrizas. Ello sugiere, incluso, que el incremento de la concentración de Mg se puede deber mas al aumento de la cantidad de micorrizas incorporada en el suelo (Figura 5 abajo) que a la adición de N.

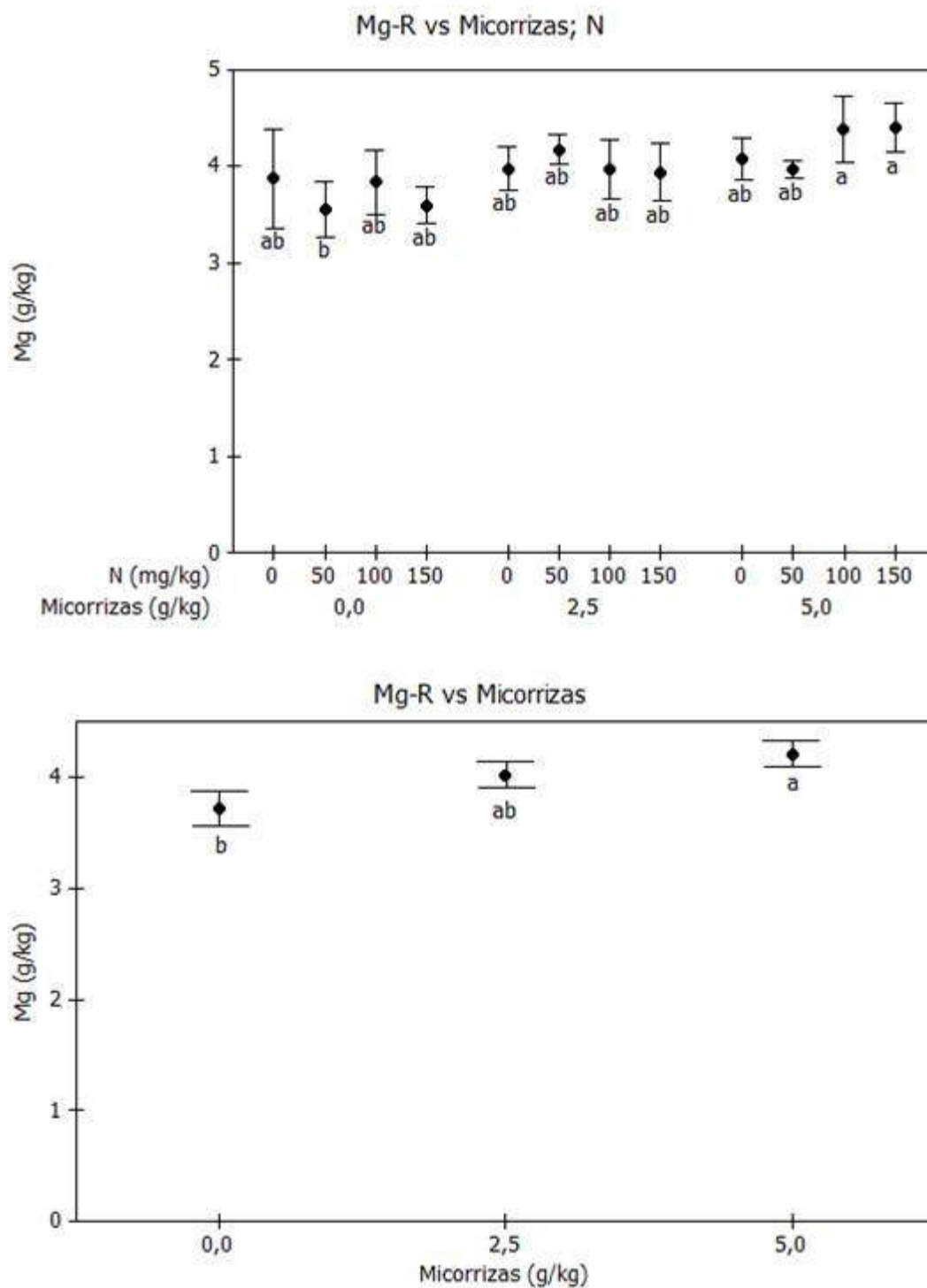


Figura 5. Efectos medios (•) de Tratamientos sobre la concentración de K (arriba) y Ca (abajo) en raíz de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de Micorrizas.

6.1.3 Biomasa

6.1.3.1 Peso fresco

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la cantidad de peso fresco en la raíz. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 4 grupos de tratamientos (Figura 6); sin embargo, no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas). De manera contundente, la prueba de medias para el factor nitrógeno indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de nitrógeno. Ello sugiere, incluso, que el decremento de la cantidad de peso fresco se puede deber más al aumento de la cantidad de nitrógeno incorporada en el suelo (Figura 6 abajo) que a la adición de micorrizas.

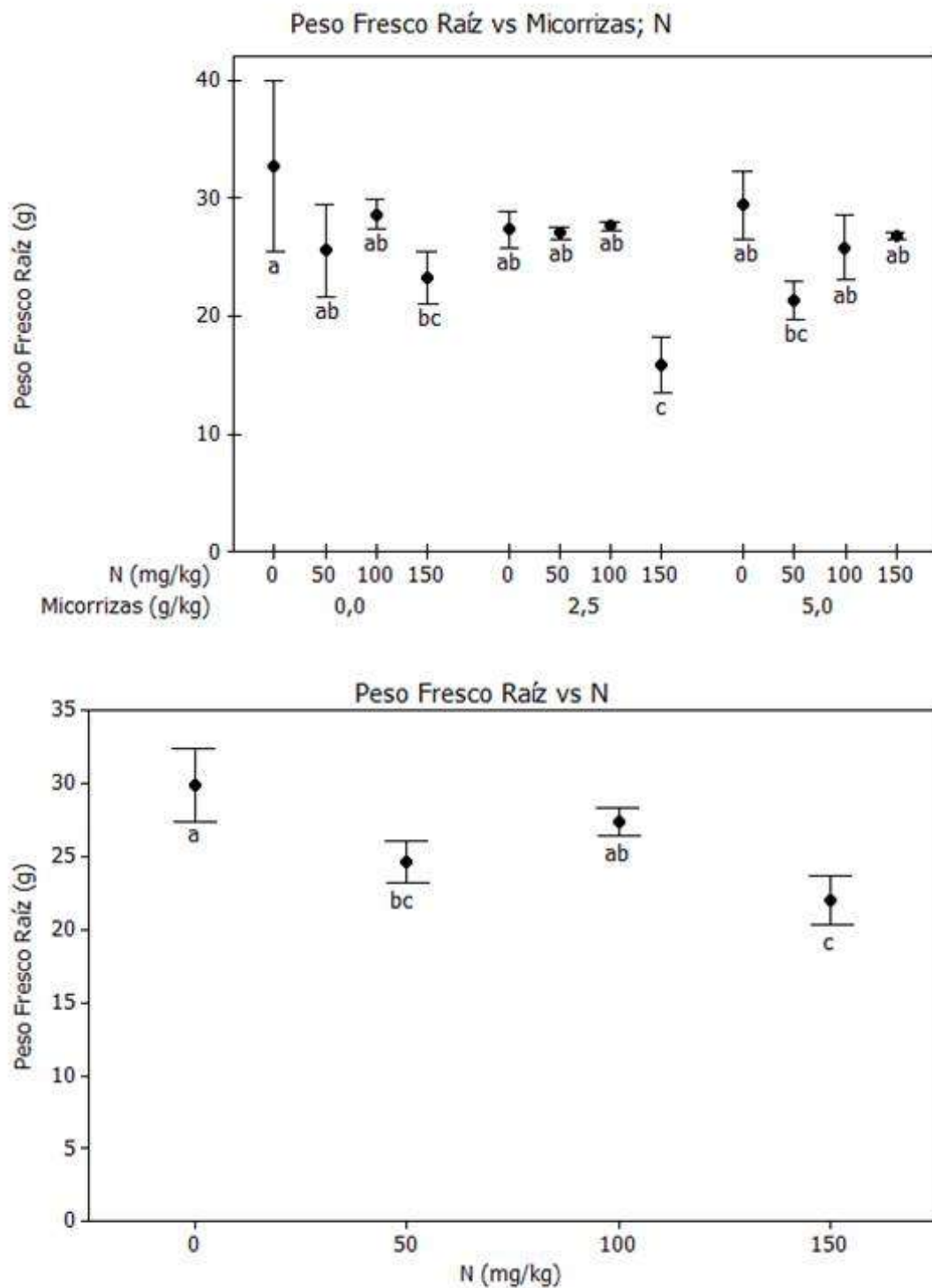


Figura 6. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor nitrógeno (abajo) sobre el peso fresco de raíz de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de N.

6.1.3.2 Peso seco

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la cantidad de peso seco en la raíz. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 4 grupos de tratamientos (Figura 7); sin embargo, no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas). De manera contundente, la prueba de medias para el factor nitrógeno indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de nitrógeno (Figura 7 abajo). Ello sugiere, incluso, que el incremento de la cantidad de peso seco se puede deber mas al aumento de la cantidad de nitrógeno incorporada en el suelo (Figura 7 arriba) que a la adición de micorrizas en el caso del nivel de 5 g kg⁻¹ de micorrizas.

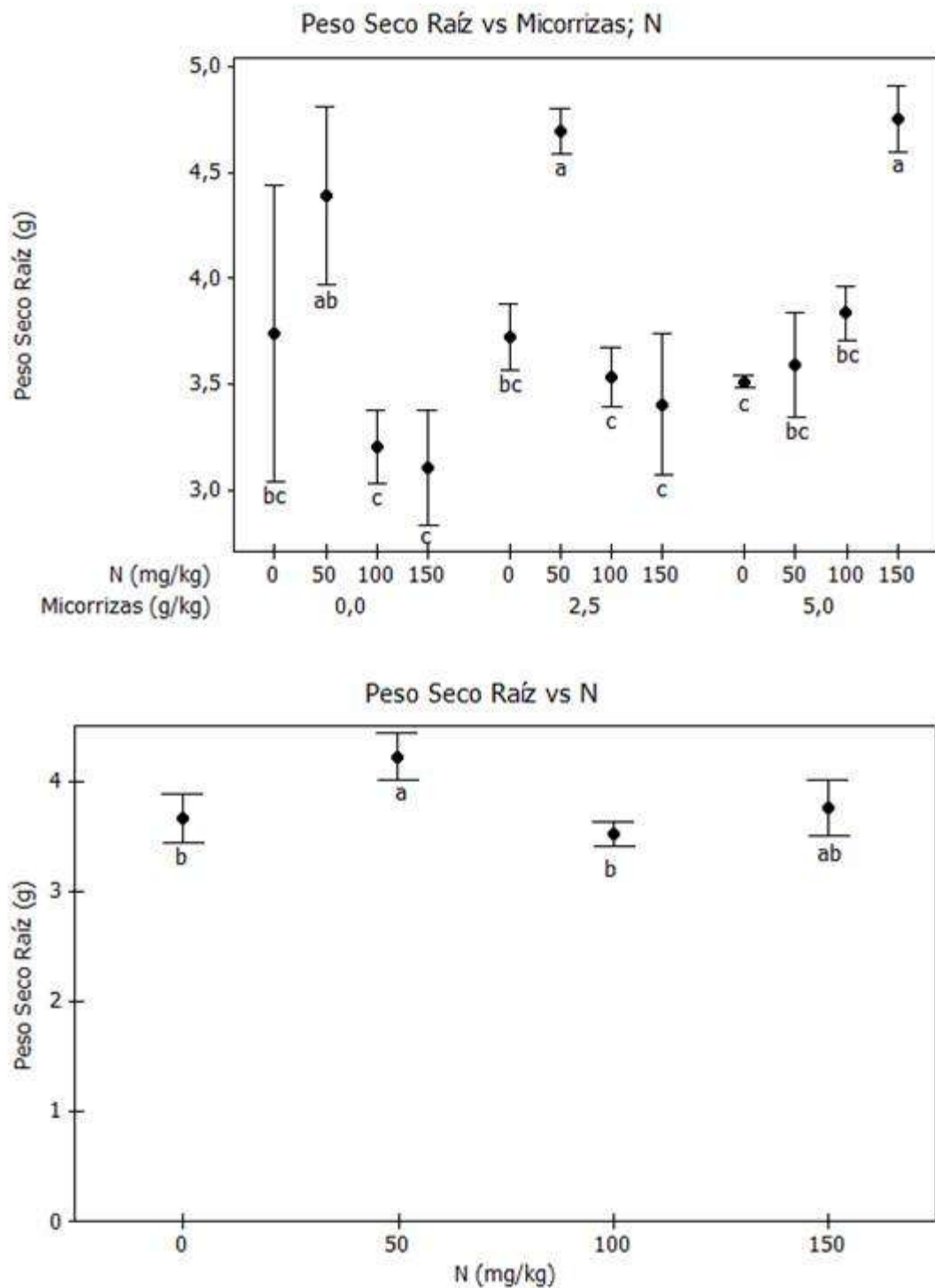


Figura 7. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor nitrógeno (abajo) sobre el peso seco de raíz de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron Por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de N.

6.2 Cladodio madre

6.2.1 Metales pesados

6.2.1.1 Cadmio (Cd) y Plomo (Pb)

El análisis de varianza sugiere que ninguno de los tratamientos tuvo efectos diferentes sobre la concentración de Cd y Pb en los cladodios madre.

6.2.2 Nutrimentos

6.2.2.1 Nitrógeno (N)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de nitrógeno en los cladodios madre. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 3 grupos de tratamientos (Figura 8); sin embargo, no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas). De manera contundente, la prueba de medias para el factor nitrógeno indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de nitrógeno.

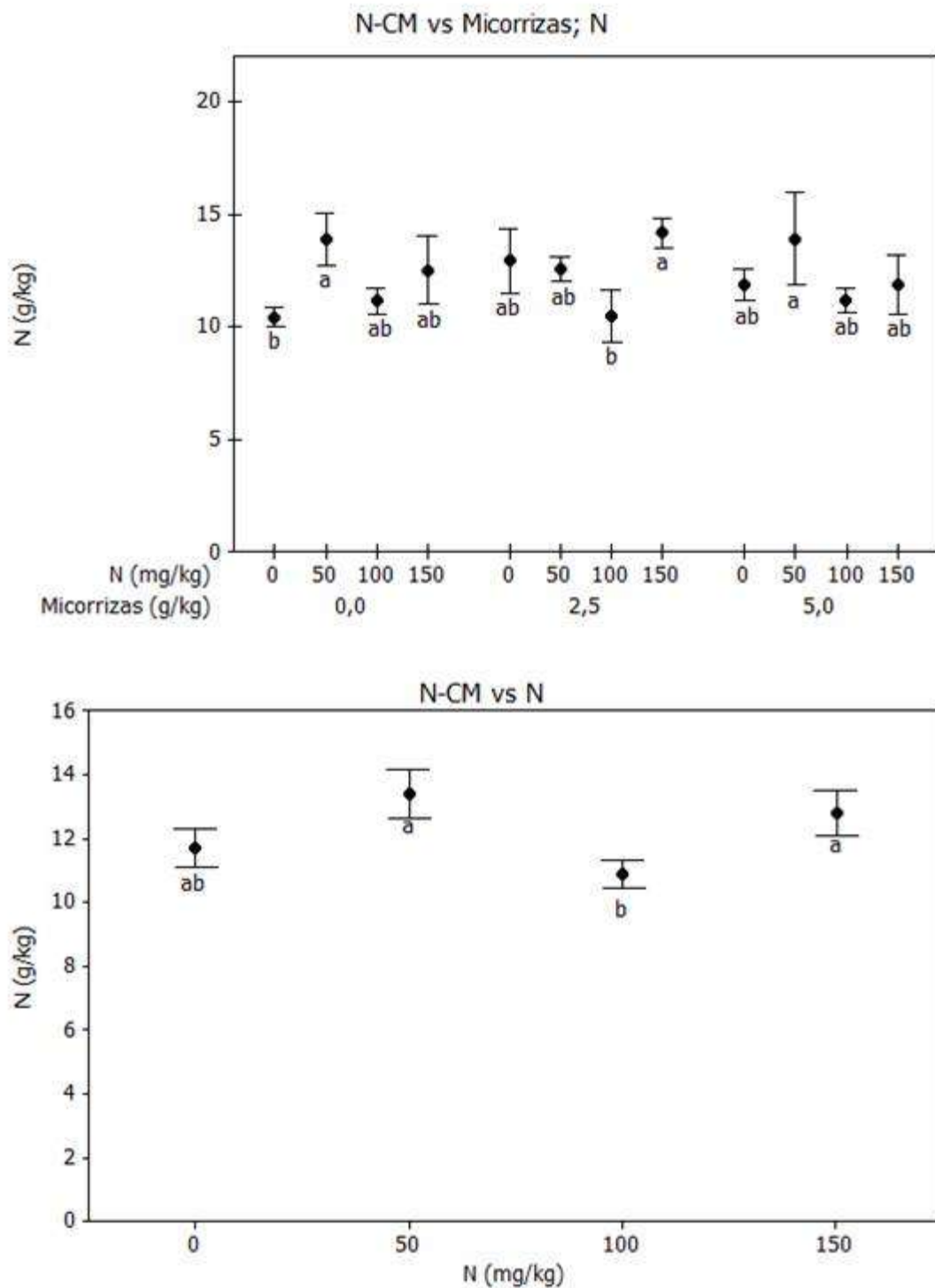


Figura 8. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor nitrógeno (abajo) sobre la concentración de N en cladodio madre de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de N.

6.2.2.2 Fósforo (P)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de fósforo en los cladodios madre. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 5 grupos de tratamientos (Figura 9); sin embargo, no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas). De manera contundente, la prueba de medias para el factor nitrógeno indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de nitrógeno. Ello sugiere, incluso, que el decremento de la concentración de fósforo se puede deber mas al aumento de la cantidad de nitrógeno incorporada en el suelo (Figura 9 abajo) que a la adición de micorrizas.

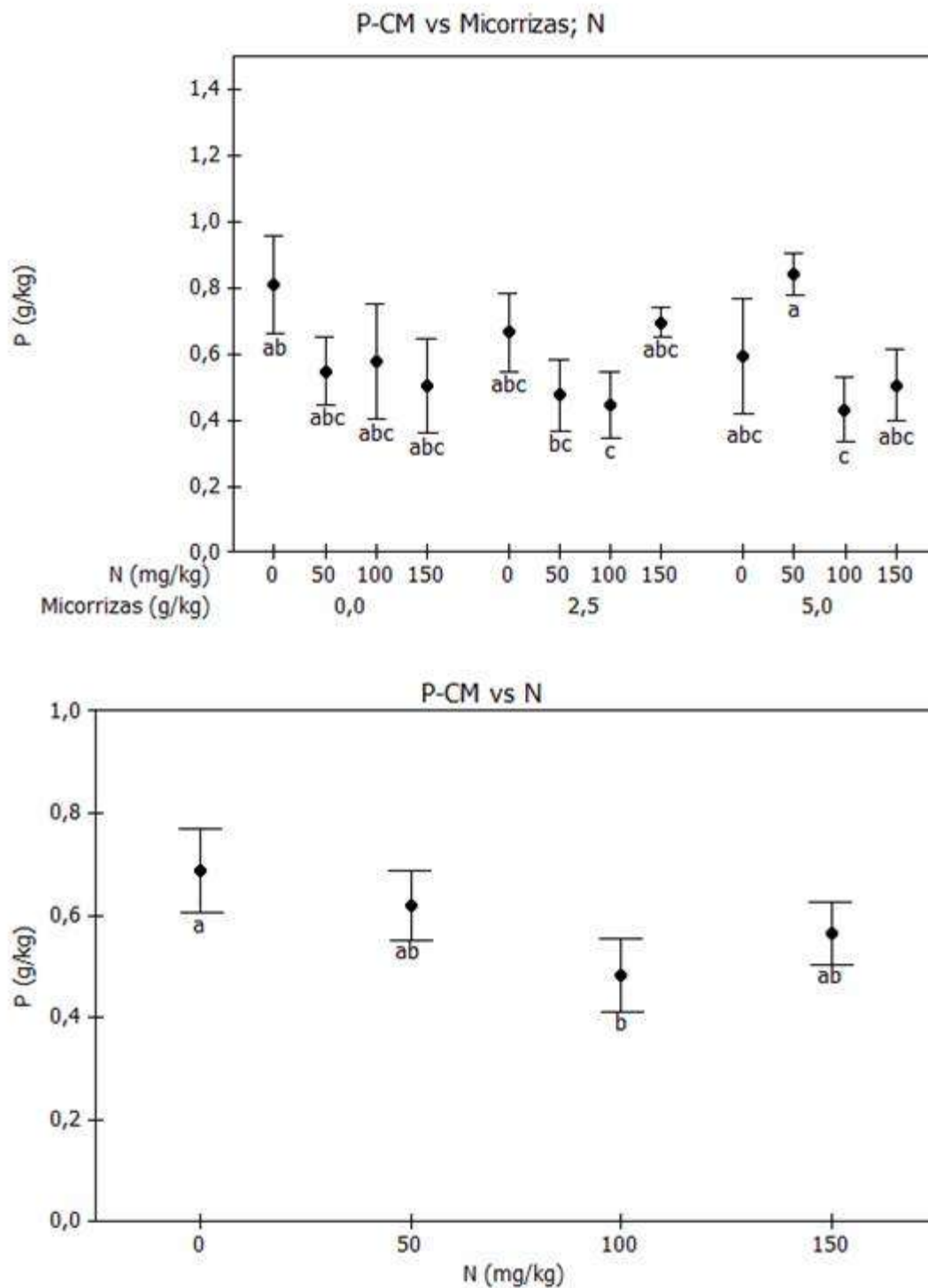


Figura 9. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor nitrógeno (abajo) sobre la concentración de P en cladodio madre de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de N.

6.2.2.3 Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)

El análisis de varianza sugiere que ninguno de los tratamientos tuvo efectos diferentes sobre la concentración de K, Ca y Mg en cladodios madre.

6.2.3 Biomasa

6.2.3.1 Peso fresco y Peso seco

El análisis de varianza sugiere que ninguno de los tratamientos tuvo efectos diferentes sobre la cantidad de peso fresco y peso seco en cladodios madre.

6.3 Brotes

6.3.1 Metales pesados

6.3.1.1 Cadmio (Cd)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos de los tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de Cd en los brotes. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 3 grupos de tratamientos (Figura 10); sin embargo, no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas).

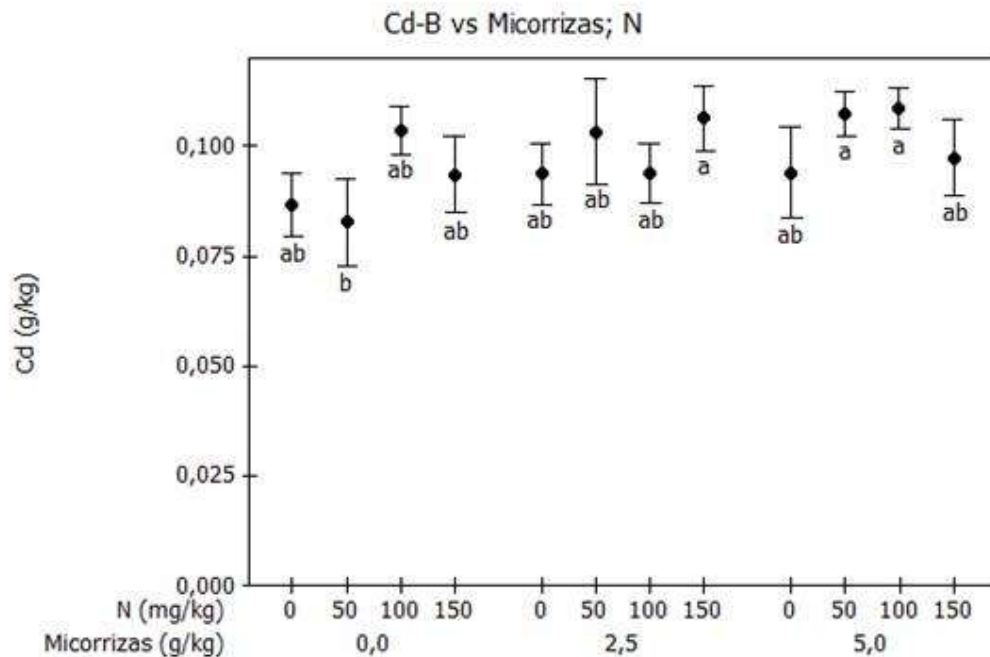


Figura 10. Efectos medios (•) de Tratamientos sobre la concentración de Cd en brote (cladodio joven) de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos.

6.3.1.2 Plomo (Pb)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de Pb en los brotes. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 7 grupos de tratamientos (Figura 11 arriba); sin embargo no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas). De manera contundente, la prueba de medias para el factor Micorrizas indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de Micorrizas. Ello sugiere, incluso, que el incremento de la concentración de Pb se puede deber mas al aumento de la cantidad de micorrizas incorporada en el suelo (Figura 11 abajo) que a la adición de N.

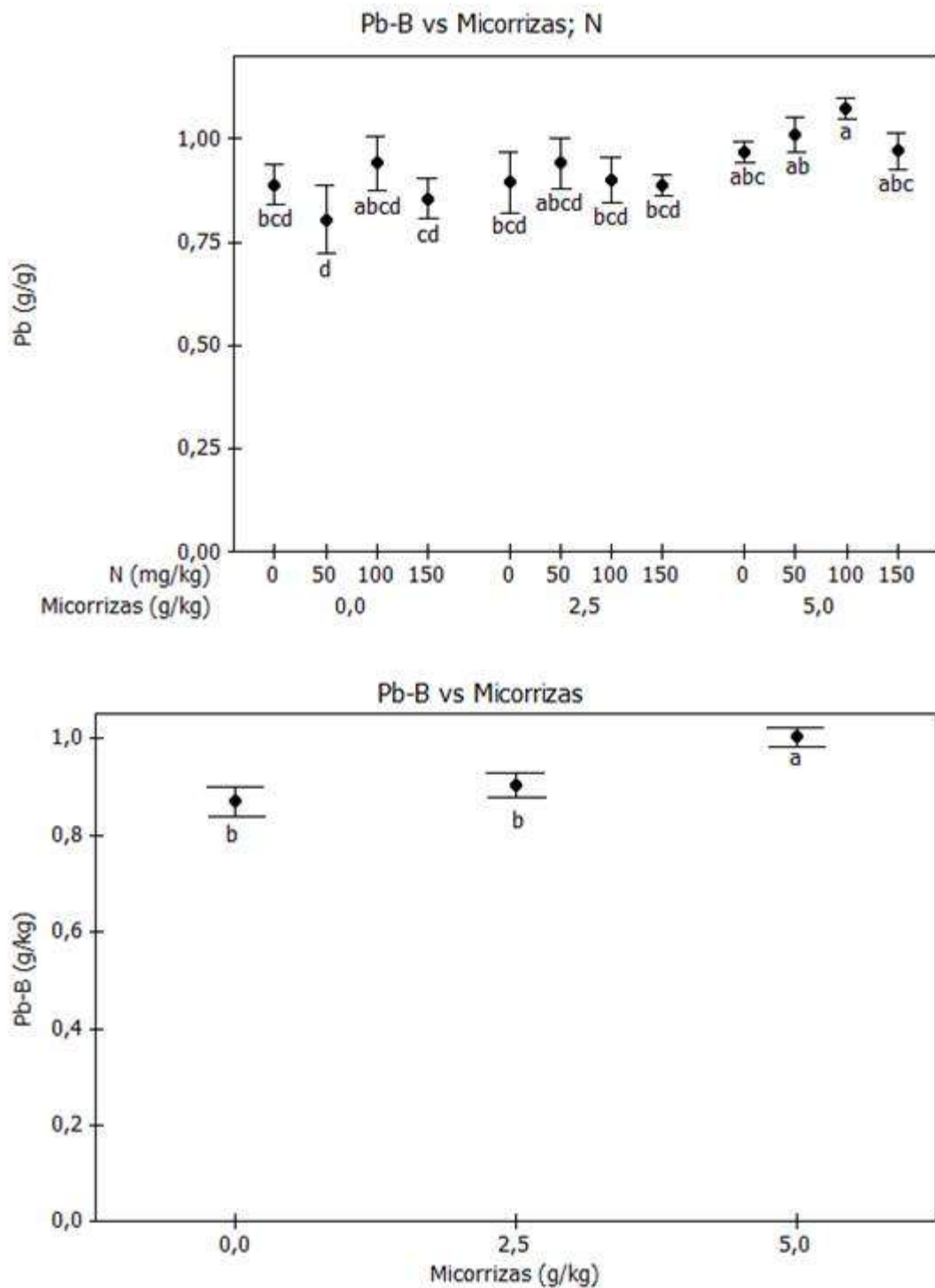


Figura 11. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor Micorrizas (abajo) sobre la concentración de Pb en brote (cladodio joven) de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de Micorrizas.

6.3.2 Nutrimentos

6.3.2.1 Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de N, P y K en los brotes. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 3 grupos de tratamientos para N (Figura 12 arriba), 3 grupos para P (figura 12 centro) y 3 grupos para K (figura 12 abajo); sin embargo no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas).

Aún así, es evidente una tendencia de incremento de la concentración de N conforme aumentó la cantidad de N adicionado al suelo, en el caso del nivel de 2.5 g kg^{-1} de micorrizas (Figura 12 arriba). También se aprecia una tendencia de decremento de la concentración de N conforme aumentó la cantidad de N adicionado al suelo, en el caso del nivel de 5 g kg^{-1} de micorrizas (Figura 12 arriba).

Es evidente una tendencia de decremento de la concentración de P conforme aumentó la cantidad de N adicionado al suelo, en el caso del nivel de 5 g kg^{-1} de micorrizas (Figura 12 centro). También se aprecia una tendencia de decremento de la concentración de K conforme aumentó la cantidad de N adicionado al suelo, en el caso de no adición de micorrizas (Figura 12 abajo).

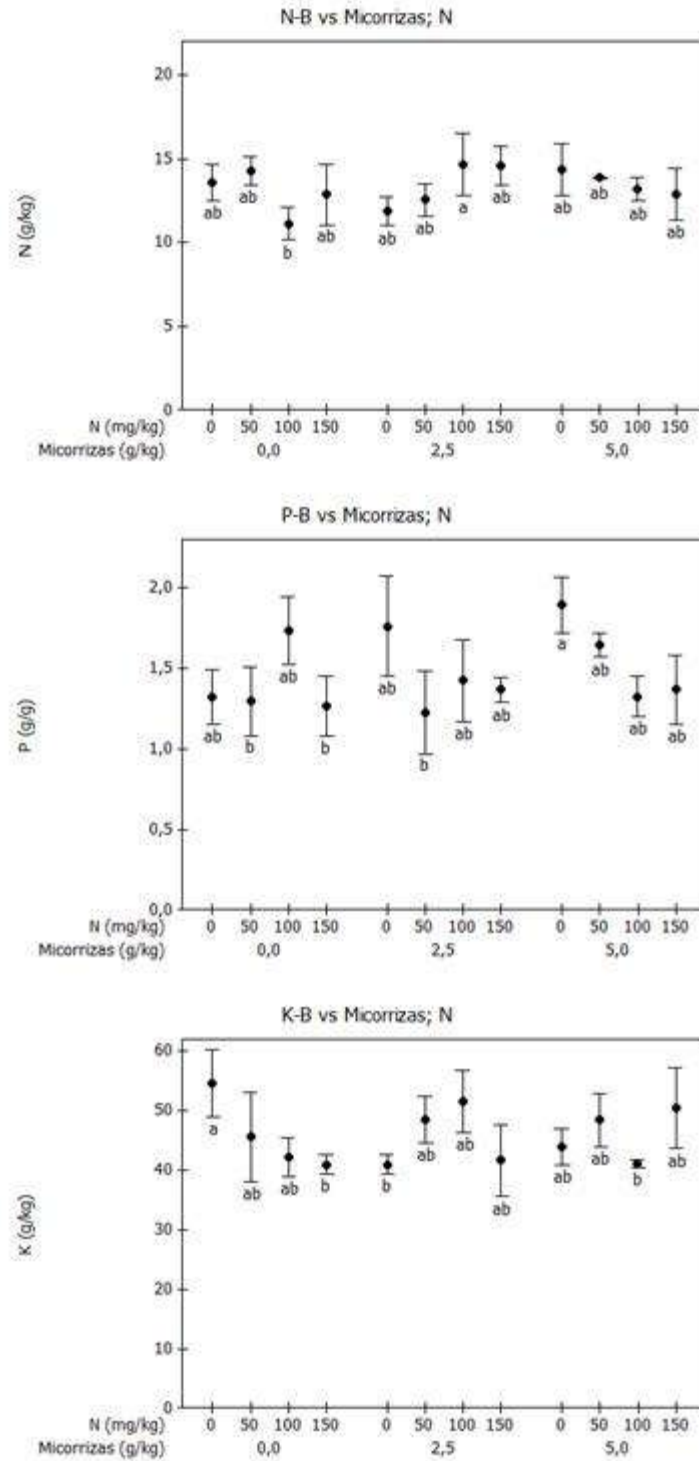


Figura 12. Efectos medios (•) de Tratamientos sobre las concentraciones de N (arriba), P (en el centro) y K (abajo) en brote (cladodio joven) de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos.

6.3.2.2 Calcio (Ca)

El análisis de varianza sugiere que ninguno de los tratamientos tuvo efectos diferentes sobre la concentración de Ca en brotes.

6.3.2.3 Magnesio (Mg)

El análisis de varianza sugiere que al menos dos tratamientos tuvieron efectos diferentes sobre la concentración de Mg en los brotes. La prueba de medias (DMS a $\alpha=0.05$) identifica a 7 grupos de tratamientos (Figura 13 arriba); sin embargo no se aprecia una tendencia general clara a la cual se pueda asociar alguno de los factores involucrados (N y Micorrizas). De manera contundente, la prueba de medias para el factor Micorrizas indica diferencias (DMS a $\alpha=0.05$) entre los niveles de Micorrizas. Ello sugiere, incluso, que el incremento de la concentración de Mg se puede deber mas al aumento de la cantidad de micorrizas incorporada en el suelo (Figura 13 abajo) que a la adición de N.

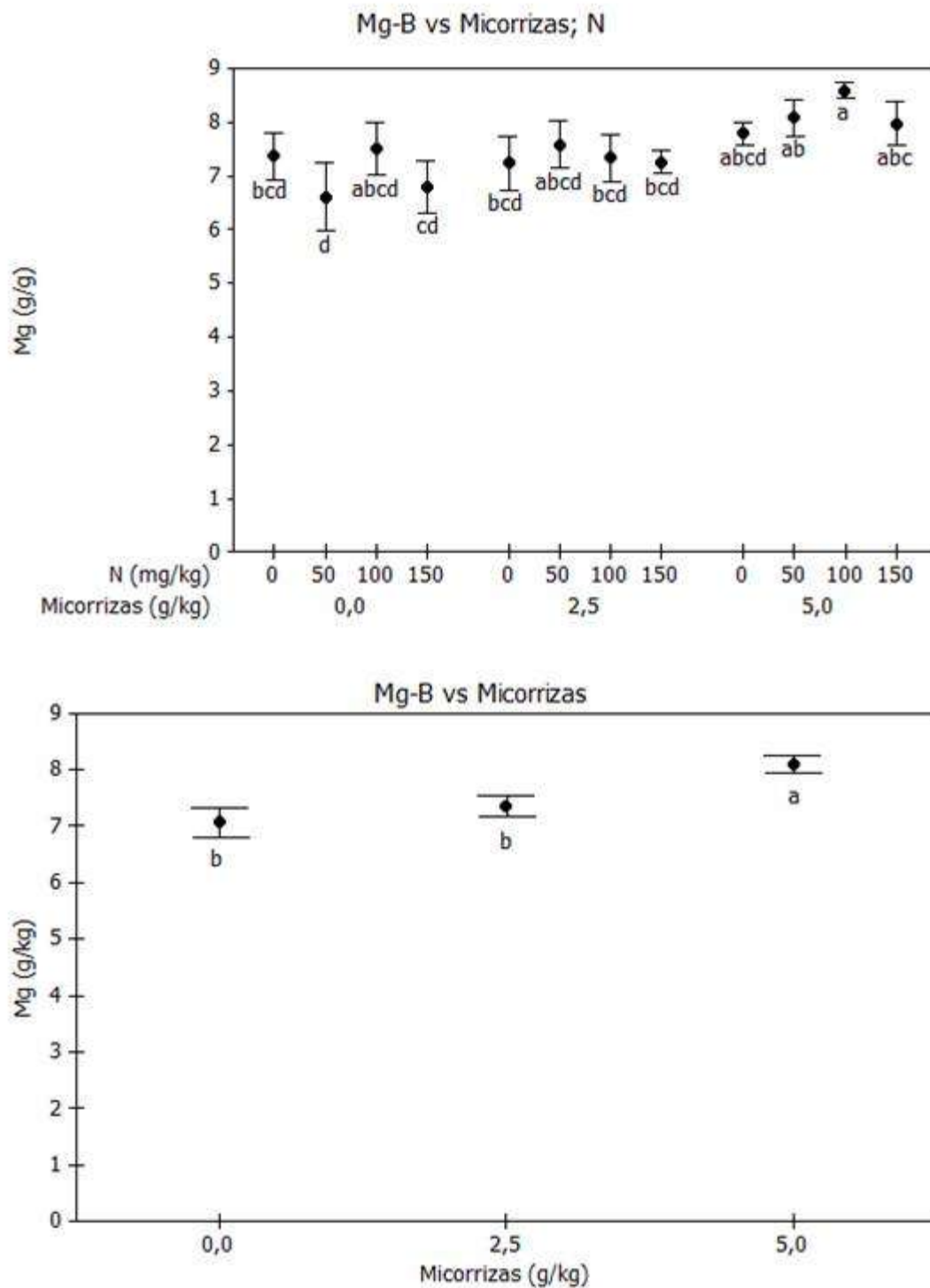


Figura 13. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor Micorrizas (abajo) sobre la concentración de Mg en brote (cladodio joven) de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Las barras se definieron por Media $\pm$ Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de Micorrizas.

6.3.3 Biomasa

6.3.3.1 Peso fresco y Peso seco

El análisis de varianza sugiere que ninguno de los tratamientos tuvo efectos diferentes sobre la cantidad de peso fresco y peso seco en brotes.

VII. DISCUSIONES

El hecho de que sí se haya podido cuantificar a los elementos Pb y Cd en los tejidos raíz, cladodio madre (tallo) y brotes (cladodios jóvenes), sugiere que las plantas de *O. ficus-indica* tienen capacidad de extraerlos del suelo contaminado (Cuadro 5). Inclusive, *O. ficus-indica* fue capaz de concentrar, en sus tejidos raíz, cladodio madre y brotes, mayor cantidad de Pb y Cd que las especies *Taraxacum officinale*, *Amaranthus* spp, *Echinochloa stagninum*, y *Amaranthus hybridus* L, según reportaron los distintos autores (cuadro 1). *O. ficus-indica* concentró mayor Pb en sus tejidos que el quelite (*Amaranthus hybridus* L.) según reportaron Ortiz-Cano et al. (2006), i.e. de 0.349 a 2.03 g kg⁻¹ versus 60 a 90 mg kg⁻¹. También, concentró más Cd que *Amaranthus hybridus* L. i.e. de 0.045 a 0.14 g kg⁻¹ versus 2 a 12 mg kg⁻¹. Sin embargo concentró menor cantidad de Cd y Pb en sus tejidos que la especie *Viola baoshanensis* según reportaron Wu et al. (2010). Los análisis de varianza y las pruebas de medias al considerar los 12 tratamientos sugieren que la cantidad de micorrizas es el factor que más influye de manera significativa ($p \leq 0.05$) y positiva sobre las concentraciones de Pb y Cd en raíz, Pb en brotes, así como en la de Mg en raíz y Mg en brotes. Las tendencias de incremento de esas concentraciones son

apreciables en las Figuras 2, 3, 11, 5 y 13 para Cd en raíz, Pb en raíz, Pb en brotes, Mg en raíz y Mg en brote respectivamente. Los análisis de varianza y las pruebas de medias al considerar los 12 tratamientos sugieren también que la cantidad de nitrógeno es el factor que más influye de manera significativa ($p \leq 0.05$) y positiva sobre las cantidades de peso fresco en raíz, peso seco en raíz, así como en la concentración de P en cladodios madre. Las tendencias de incremento de esas concentraciones son apreciables en las Figuras 6, 7 y 9 para peso fresco en raíz, peso seco en raíz y P en cladodio madre respectivamente.

VIII. CONCLUSIONES

Estos resultados, aunque son preliminares, tienen posiblemente implicaciones importantes. De facto, *Opuntia ficus-indica* L. posee una capacidad extractora tal que puede constituirse en una especie de gran importancia para la fitorremediación de los suelos de las cercanías de la Planta de la Compañía Peñoles en Bermejillo, Durango. Además, puede conformarse en una especie relevante en el proceso de fitorremediación de sitios contaminados por desechos de la industria minera en los lugares donde extraen metales. Debe quedar claro, sin embargo, que este potencial se manifiesta de manera importante cuando la especie se asocia con micorrizas adicionadas al suelo contaminado.

IX. LITERATURA CITADA

- Aboulroos. S. A., M. D. HelaL, M. M. Kame. 2006. Remediation of Pb and Cd Polluted Soils Using In Situ Immobilization and Phytoextraction Techniques. *Soil & Sediment Contamination* 15: 199–215.
- ATSDR. 2007. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. División de Toxicología y Medicina Ambiental ToxFAQs™. Plomo.
- ATSDR, 2008. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. División de Toxicología y Medicina Ambiental ToxFAQs™. Cadmio.
- Barrer S. E., 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Artículo de revisión. Facultad de Ciencias Agropecuarias de Colombi 7.
- CDC. 2005. Third National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Environmental Health, Division of Laboratory Sciences, Atlanta, GA, USA.
- Cerezal P., G. Duarte, 2005. Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-índica* (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2da Región de Chile: 34-60
- Chuan Wu,Bin Liao,Sheng-Long Wang, Jun Zhang, and Jin-Tian Li. 2010. Pb and Zn accumulation in a Cd-hyperaccumulator (*Viola baoshanensis*). *International Journal of Phytoremediation* 12: 574–585
- Covacevich F. y H. Echeverria., 2010. Indicadores para seleccionar inóculos de hongos micorrizicos eficientes en suelos moderadamente ácidos. *CI. Suelo Argentina* 28(1): 9-22.
- EPA. 2007. Environmental Protection Agency U.S. Method 3051A microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Revision 1.
- Gallegos-Vázquez C., E. Olivares-Sáenz, R, Vázquez-Alvarado. 2000. Absorción de nitrato de amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana* 18: 133-139.
- Garbisu C. B. J., L. Epelde, I. Alkorta. 2007. Bioindicadores de la calidad del suelo: Herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas* 16: 1-6.

- Hutchison, C.M.W., and J. L. Walworth. 2006. Assessment of C:N ratios and water potential for nitrogen optimization in diesel bioremediation. *Bioremediation Journal* 10(1-2): 25-35.
- Kachout, S., A. B. M. 2010. Effects of heavy metals on antioxidant activities of: *Atriplex hortensis* and *A. rosea*. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 9 (3): 444-457.
- Królak, E. 2003. Accumulation of Zn, Cu, Pb and Cd by Dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) in Environments with Various Degrees of Metallic Contamination. *Polish Journal of Environmental Studies* 12(6): 713-721.
- Mendez M. O. and R. M. Maier. 2008 Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Journal Environmental Science Biotechnology* 7:47-59.
- Mendez M. O. and R. M. Maier. 2008^a. Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments An Emerging Remediation Technology. *Review Environmental Health Perspectives* 278-283.
- Mudgal, V. N. M. 2010. Heavy metals in plants: phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1: 40-46.
- Pineda-Hernández, R. 2004. Presencia de hongos micorrízicos arbusculares y contribución de *Glomus intraradices* en la absorción y translocación de cinc y cobre en girasol (*Helianthus annuus* L.) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina.
- Prescott *et al*, 2004. Microbiología, quinta edición. McGraw-Hill: 1100 pp.
- RAI, P. K. 2008. Heavy metal pollution in aquatic ecosystems and its phytoremediation using wetland plants: an ecosustainable approach. *Internacional Journal of Phytoremediation* 10: 133-160.
- Ríos-Ramos J y V. Quintana. 2004. Manual Manejo general del cultivo del nopal. Colegio de postgraduados, investigación en ciencias agrícolas 5-14.
- Rodríguez-Ortíz, J. C., R. D. Valdez-Cepeda, J. L. Lara-Mireles, H. Rodríguez-Fuentes, R. E. Vázquez-Alvarado, R. Magallanes-Quintanar, J. L. García-Hernández. 2006. Soil Nitrogen Fertilization Effects on Phytoextraction of Cadmium and Lead by Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Bioremediation Journal* 10(3): 105–114.

- Sagiroglu, A. S., Ö. Sen. 2006. Hyperaccumulator Plants of the Keban Mining District and Their Possible Impact on the Environment. J. Environ 5: 317-325.
- Saoussen Benzarti*, Shino Mohri, Yoshiro Ono. 2008. Plant response to heavy metal toxicity: Comparative study between the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* (ecotype Ganges) and nonaccumulator plants: Lettuce, radish, and alfalfa. Environmental Toxicology 23: 607-616.
- Schmidt, U. 2003. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. J Environ Qual 32: 1939-1954.
- Semarnat, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.nque establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificaciones de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Singh S. R., Singh U. Chaubey A.K, Bhat M.I. 2010. Mycorrhizal fungi for sustainable agriculture. Agricultural Review. Agricultural research communication centre.
- Sosa, M., Galarza, J.L., Lebgue, T., Soto, R. y Puga, S. 2006. Clasificación de las comunidades vegetales en la región árida del estado de Chihuahua, México. Ecología Aplicada 5: 53-59.
- Sutrisno Sa'ad, R. Artanti, and T. Dew. 2011. Phytoremediation for rehabilitation of agricultural land contaminated by cadmium and copper. Indonesian Journal of Agriculture 4(1): 17-21
- Trejo-Calzada, R., N. C. García, R. D. Valdez-Cepeda, A. Flores-Hernández, J. G. Arreola-Ávila. 2007. Análisis de la variación espacial de plomo en suelos del área de Bermejillo, Dgo. Memorias del Congreso de la Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola. Bermejillo, Dgo., México: 120-129.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2000; ITCR (Interstate Regulatory & Technology Council), 2001. Factores técnicos para los sistemas de fitorremediación.
- Vázquez-Alvarado R. E., R. D. Valdez-Cepeda, F. Blanco-Macias. 2008. Riego y Fertilización del nopal verdura. Revista Salud Pública y Nutrición: 19-35.

- Venegas-Rico J.M., J. R. Lomeli-Flores, Rodríguez-Leyva, G. Mora-Aguilera, J. M. Valdez. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (cockerell) en *Opuntia ficus- indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Meicana* 26(2): 415-433.
- Voegelin, A., K. Barmettler, and R. Kretzschmar. 2003. Heavy metal release from contaminated soils: Comparison of column leaching and batch extraction results. *J Environ Qual* 32: 865-875.
- Xiao, W. L., C. L. L., Y. H. Chen, Z. G. Shen, X. D. Li, 2008. Bioaccumulation of Heavy Metals by Wild Plants Growing on Copper Mine Spoils in China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 315–328.
- Wirth J.J., M., R. 2010. Adverse Effects of Low Level Heavy Metal Exposure on Male Reproductive Function. Department of Epidemiology and Department of Obstetrics and Gynecology, Michigan State University 56: 147–167.
- Zou, N. Y. L. Z. A. L. P. Z. B. 2009. Cadmium Uptake From Soil by Maize With Intercrops. *Water Air Soil Pollut* 19: 45-56.
- Zúñiga-Tarango, R., Cueto-Wong, J.A., Olivares-Sáenz, E., Salazar-Sosa, E. 2003. Crecimiento radical de nopal con diferentes dosis de nitrógeno en hidroponía. *Terra Latinoamericana* 21(1): 41-45.

X. ANEXOS

Sistema SAS
Sábado 11:59 am, 23 de enero de 2012
DATA.EDITH.TOTAL.PROC-GLM.res

```
data EDITH;
input Trat Mico N Rep KR CaR MgR PbR CdR KCM CaCM NCM MgCM PCM PbCM
CdCM NOB KB CaB NB MgB PB PbB CdB PFR PSR PFCM PSCM PFB1 PSB1 PFB2 PSB2
PFB3 PSB3 PFTotal PSTotal;
cards;
```

Obs	Trat	Mico	N	Rep	KR	CaR	MgR	PbR	CdR	KCM	CaCM	NCM
1	1	0.0	0	1	13.1006	15.6588	5.0772	0.6206	0.0844	39.2622	46.5406	9.6135
2	2	0.0	50	1	13.4078	9.8660	3.6870	0.4598	0.0748	30.6512	50.3786	16.6799
3	3	0.0	100	1	14.2564	16.2836	4.3332	0.5282	0.0816	35.7732	50.9490	11.1843
4	4	0.0	150	1	11.7346	10.0620	3.8732	0.4932	0.0680	34.8728	50.3960	16.7431
5	5	2.5	0	1	14.5366	21.3084	4.4290	0.5618	0.0836	34.9188	42.4086	12.4752
6	6	2.5	50	1	13.1682	13.8374	3.9388	0.5200	0.1032	35.0324	45.8220	11.2000
7	7	2.5	100	1	13.7450	14.4810	3.8684	0.4750	0.0872	34.4414	42.1522	9.7551
8	8	2.5	150	1	13.1542	19.5334	4.6020	0.5618	0.0914	38.0334	46.0424	15.1515
9	9	5.0	0	1	12.7742	14.4608	3.8368	0.4722	0.0856	34.9960	37.4444	12.5950
10	10	5.0	50	1	13.7992	14.5552	3.7438	0.4718	0.0794	44.4784	45.2042	11.1576
11	11	5.0	100	1	14.3592	14.4158	5.3786	0.6724	0.0998	33.9090	59.9144	11.1776
12	12	5.0	150	1	12.1650	15.1926	4.3260	0.5352	0.0836	34.4952	47.4960	15.2475
13	1	0.0	0	2	13.1190	12.9062	4.3156	0.5508	0.0822	28.5722	42.6176	11.1443
14	2	0.0	50	2	13.6154	21.9848	4.2550	0.5326	0.0804	33.3756	33.0760	13.8999
15	3	0.0	100	2	16.6924	14.8648	4.3518	0.5378	0.0806	29.4484	45.0566	12.5199

Obs	MgCM	PCM	PbCM	CdCM	NB	KB	CaB	MgB	PB	PbB	CdB
1	13.9212	0.926	1.7356	0.0910	16.7899	58.4740	47.2634	6.5792	0.882	0.7932	0.0876
2	12.4324	0.752	1.5198	0.1042	13.9776	36.2664	27.2212	5.5932	0.708	0.6376	0.0582
3	12.9860	0.224	1.5884	0.0740	11.1111	48.7280	45.9926	7.7562	2.112	0.9206	0.0952
4	13.2312	0.136	1.6386	0.0756	15.3386	39.3828	47.5464	7.8062	0.752	0.9412	0.0732
5	11.2410	0.356	1.3586	0.0736	9.7980	36.2088	33.2938	6.3218	0.882	0.7372	0.0730
6	13.3056	0.224	1.6098	0.0756	15.3203	59.3260	52.2204	6.7296	0.488	0.8004	0.0722
7	11.5202	0.224	1.3836	0.0684	13.9220	58.4080	43.3394	7.8410	0.882	0.9214	0.0854
8	12.5732	0.708	1.5106	0.0654	16.6468	59.2548	50.4866	7.3930	1.278	0.8720	0.0860
9	10.4850	0.224	1.2414	0.0696	18.4540	41.7322	36.0502	7.8416	2.376	0.9402	0.0628
10	12.7762	0.708	1.5368	0.0536	13.9526	42.0732	40.2452	7.6366	1.454	0.9678	0.0950
11	16.7552	0.180	2.0354	0.0898	12.5749	39.4818	43.2112	8.6806	1.014	1.1044	0.1128
12	14.6508	0.224	1.7476	0.0636	16.7231	37.6508	37.9770	7.5998	0.840	0.9572	0.1072
13	56.2950	0.810	1.3550	0.0714	12.4629	59.0202	51.3738	7.6468	1.322	0.9232	0.0888
14	45.0540	0.546	1.0940	0.0722	13.8889	42.0404	38.5100	7.2662	1.292	0.9306	0.1044
15	66.2470	0.576	1.5576	0.0718	9.6800	42.7268	44.6488	8.7274	1.732	1.1250	0.0970

Obs	PFR	PSR	PFCM	PSCM	PFB1	PSB1	PFB2	PSB2	PFB3	PSB3	PFTotal	PSTotal
1	11.0	1.63	615.5	41.5	322.5	15.5	206.5	9.7	0.0	0.0	1155.5	68.33
2	13.8	3.12	483.0	54.2	535.5	50.5	263.6	25.6	122.0	9.0	1417.9	142.42
3	25.0	3.71	640.5	55.4	537.5	31.5	322.5	20.5	289.5	19.0	1815.0	130.11
4	30.0	3.91	738.5	59.0	846.0	44.7	635.5	37.5	299.5	18.3	2549.5	163.41
5	32.0	3.25	562.3	47.8	631.5	37.3	427.5	27.5	205.5	13.0	1858.8	128.85
6	25.5	4.37	703.8	64.8	624.3	52.0	526.9	21.0	250.5	34.0	2131.0	176.17
7	26.5	3.95	637.2	53.6	668.0	39.5	449.5	31.0	0.0	0.0	1781.2	128.05
8	23.0	4.40	758.7	64.0	761.7	36.5	525.5	37.0	0.0	0.0	2068.9	141.90
9	38.0	3.60	593.5	50.3	615.5	47.5	482.5	32.5	217.0	16.5	1946.5	150.40
10	26.0	4.33	673.5	56.6	641.8	27.5	496.8	33.5	272.3	21.5	2110.4	143.43
11	17.5	3.45	662.5	60.4	657.0	54.4	504.5	34.5	232.9	17.0	2074.4	169.75
12	27.5	4.28	687.5	60.5	715.5	52.3	502.0	33.7	177.0	13.0	2109.5	163.78
13	40.0	4.44	804.7	70.9	956.5	45.5	646.0	41.0	0.0	0.0	2447.2	161.84
14	29.5	4.81	742.0	64.6	764.0	34.3	510.0	42.5	215.4	19.8	2260.9	166.01
15	29.8	3.03	785.8	68.6	525.0	32.1	797.9	50.3	321.2	30.0	2459.7	184.03

Obs	Trat	Mico	N	Rep	KR	CaR	MgR	PbR	CdR	KCM	CaCM	NCM
16	4	0.0	150	2	14.4708	12.9758	3.9608	0.4972	0.0764	35.6936	34.8038	11.1045
17	5	2.5	0	2	13.8416	11.6076	4.2064	0.5492	0.0980	40.7962	44.8956	12.5673
18	6	2.5	50	2	14.4290	21.0262	4.5398	0.5614	0.1062	35.3902	37.4030	12.4334
19	7	2.5	100	2	14.4610	14.8586	4.4124	0.5584	0.1078	30.0186	41.9042	9.7551
20	8	2.5	150	2	14.4008	11.0046	4.0596	0.4918	0.0752	38.4026	43.8582	13.8313
21	9	5.0	0	2	14.2482	9.0764	4.0292	0.5098	0.0782	37.9750	42.3280	9.7319
22	10	5.0	50	2	13.0582	12.8862	4.2004	0.5570	0.1058	30.4564	50.6010	9.6324
23	11	5.0	100	2	12.9362	10.5424	3.7896	0.4478	0.0754	37.1244	45.8212	9.7707
24	12	5.0	150	2	12.8276	19.0012	4.4946	0.5796	0.1174	30.7406	38.7446	9.7843
25	1	0.0	0	3	11.5338	12.8960	3.2406	0.3904	0.0712	26.2730	28.9992	9.7746
26	2	0.0	50	3	12.4022	8.1346	3.3726	0.4194	0.0694	32.9044	39.0772	11.0432
27	3	0.0	100	3	13.2934	17.9512	3.7522	0.4742	0.0758	32.2688	41.7438	9.7512
28	4	0.0	150	3	13.4010	8.3552	3.1504	0.3814	0.0636	10.8858	10.1242	12.4580
29	5	2.5	0	3	11.5072	13.7092	3.4024	0.4176	0.0784	27.6458	34.9108	9.7922
30	6	2.5	50	3	14.2434	12.3900	4.3232	0.5422	0.1082	34.0542	44.5158	12.5698

Obs	MgCM	PCM	PbCM	CdCM	NB	KB	CaB	MgB	PB	PbB	CdB
16	52.9940	0.502	1.3022	0.0838	9.6838	41.5356	31.9304	5.7636	1.264	0.7578	0.0862
17	66.8020	0.664	1.6006	0.0806	11.1910	44.1600	43.5586	8.5108	1.760	1.0626	0.1008
18	58.1680	0.474	1.3924	0.0710	11.1978	40.7212	39.8176	7.2060	1.220	0.9186	0.0970
19	69.2510	0.444	1.7068	0.1404	16.6436	44.3024	44.0418	8.0980	1.424	1.0338	0.1076
20	70.3070	0.692	1.7290	0.1150	16.5224	31.7688	33.3172	6.7614	1.366	0.8528	0.1094
21	65.6460	0.590	1.7010	0.0866	13.8861	36.5040	35.6844	7.2236	1.892	0.9204	0.1070
22	69.3920	0.840	1.8038	0.0980	13.7850	56.4590	45.4136	8.9706	1.644	1.1260	0.1032
23	67.8340	0.430	1.7172	0.0818	15.2838	40.7138	44.5756	8.8316	1.322	1.1162	0.1200
24	61.5370	0.502	1.5726	0.0774	13.9748	64.8490	51.2608	8.7316	1.366	1.0302	0.0984
25	8.2184	0.400	1.0500	0.1122	12.5000	63.2506	52.3320	8.4952	1.366	1.0074	0.0672
26	10.7798	0.268	1.3976	0.1048	12.5398	67.9412	54.8228	8.1002	1.454	0.9586	0.0754
27	12.8748	0.444	1.6512	0.0968	13.8586	43.8544	43.7930	7.1834	1.936	0.9044	0.1198
28	2.8378	0.532	0.3654	0.0892	9.7668	44.9772	41.3670	7.4192	1.410	0.9402	0.1130
29	10.2044	0.708	1.2956	0.1096	13.8559	42.1712	41.3192	7.5732	2.112	0.9598	0.1012
30	14.9278	0.444	1.8644	0.1138	11.1177	48.0918	43.1066	8.8004	1.542	1.0962	0.1230

Obs	PFR	PSR	PFCM	PSCM	PFB1	PSB1	PFB2	PSB2	PFB3	PSB3	PFTotal	PSTotal
16	21.0	2.83	689.0	57.8	750.0	45.3	508.4	36.5	260.0	22.7	2228.4	165.13
17	25.8	3.88	775.0	62.0	668.0	36.5	406.8	26.0	158.7	11.2	2034.3	139.58
18	27.5	4.80	898.5	68.8	1005.5	39.0	795.5	42.5	419.0	26.8	3146.0	181.90
19	28.0	3.39	681.3	63.2	615.6	43.5	399.7	28.0	243.0	20.5	1967.6	158.59
20	13.5	3.07	618.0	57.0	525.0	47.2	401.5	31.0	89.0	7.5	1647.0	145.77
21	26.5	3.48	765.5	64.5	881.7	36.3	612.0	40.5	316.5	24.5	2602.2	169.28
22	19.7	3.34	752.5	66.8	467.9	39.0	309.3	20.0	97.0	6.0	1646.4	135.14
23	28.5	3.96	822.5	72.9	893.6	41.0	653.5	43.8	293.5	20.5	2691.6	182.16
24	26.5	4.91	754.5	67.0	910.0	42.1	743.0	47.1	0.0	0.0	2434.0	161.11
25	40.0	4.44	1036.4	80.4	1113.2	62.4	994.3	84.0	0.0	0.0	3183.9	231.24
26	29.5	4.81	904.0	72.8	987.9	54.1	807.4	50.0	0.0	0.0	2728.8	181.71
27	29.8	3.03	922.3	72.5	1057.1	55.7	726.6	41.5	321.2	20.8	3057.0	193.53
28	21.0	2.83	818.0	66.7	299.1	17.0	575.0	40.5	276.2	23.0	1989.3	150.03
29	25.8	3.88	983.0	74.2	923.0	48.8	797.5	46.0	403.5	26.0	3132.8	198.88
30	27.5	4.80	793.0	69.2	678.4	39.5	696.1	43.1	406.5	30.5	2601.5	187.10

Obs	Trat	Mico	N	Rep	KR	CaR	MgR	PbR	CdR	KCM	CaCM	NCM
31	7	2.5	100	3	10.0474	11.6146	3.1432	0.3926	0.0736	39.1728	44.8930	13.8861
32	8	2.5	150	3	12.3904	8.1948	3.1560	0.3948	0.0732	26.8592	29.8086	15.1426
33	9	5.0	0	3	13.1216	14.8762	3.7494	0.4706	0.0758	34.4302	40.9352	12.5199
34	10	5.0	50	3	13.5982	7.8082	4.0362	0.4942	0.0842	38.9226	38.1562	16.6534
35	11	5.0	100	3	13.0234	14.7186	4.1608	0.5310	0.0966	19.8556	23.3676	12.5000
36	12	5.0	150	3	10.8240	12.2686	3.7806	0.5142	0.0906	22.4564	33.6738	9.7512
37	1	0.0	0	4	10.8070	10.8360	2.8558	0.3530	0.0634	34.6082	38.3982	11.0759
38	2	0.0	50	4	11.6290	10.9418	2.8948	0.3584	0.0548	30.4744	39.4126	13.8559
39	3	0.0	100	4	13.5778	9.1608	2.9132	0.3490	0.0592	35.4796	40.7670	11.1001
40	4	0.0	150	4	13.0996	11.9170	3.4002	0.4134	0.0454	37.2456	44.6536	9.6800
41	5	2.5	0	4	14.7086	24.7078	3.8726	0.4898	0.0866	37.4632	41.2816	16.7866

42	6	2.5	50	4	15.3734	9.7266	3.8980	0.4812	0.0864	33.2772	36.3892	13.9609
43	7	2.5	100	4	13.9594	18.3404	4.4742	0.5714	0.0862	31.6510	36.0096	8.3950
44	8	2.5	150	4	14.5434	10.7772	3.9408	0.4888	0.0644	34.2634	48.2128	12.4851
45	9	5.0	0	4	15.0484	22.5114	4.6892	0.5828	0.0966	26.7968	33.9706	12.5749

Obs	MgCM	PCM	PbCM	CdCM	NB	KB	CaB	MgB	PB	PbB	CdB
31	13.0994	0.400	1.6646	0.1096	9.7980	40.9120	30.7816	6.1346	2.112	0.7674	0.1022
32	8.5922	0.576	1.0956	0.1018	12.4531	37.2926	41.1946	7.7752	1.234	0.9596	0.1216
33	13.0846	0.488	1.6046	0.0942	11.0193	46.6072	43.7944	8.2554	1.586	1.0294	0.1042
34	11.7466	0.796	1.5096	0.1002	13.7985	55.4970	45.7424	8.2396	1.804	1.0142	0.1178
35	6.7270	0.664	0.8750	0.1092	12.4580	41.6936	42.6288	8.6630	1.630	1.0592	0.0996
36	10.8138	0.532	1.3350	0.0982	9.6419	58.7402	43.1968	6.9868	1.366	0.8462	0.0722
37	11.4406	1.102	1.4302	0.0622	12.4506	37.6216	33.7082	6.7546	1.718	0.8290	0.1026
38	11.3072	0.620	1.4076	0.0844	16.5354	36.0398	28.3180	5.4696	1.718	0.6892	0.0926
39	12.1818	1.058	1.5326	0.0670	9.7280	33.3856	31.3594	6.3934	1.146	0.8124	0.1022
40	13.1372	0.840	1.6552	0.0696	16.5159	37.6820	33.2326	6.1964	1.630	0.7808	0.1014
41	11.8844	0.926	1.4662	0.0862	12.5199	41.0646	32.9566	6.5610	2.288	0.8176	0.0994
42	11.5034	0.752	1.4140	0.0760	12.4678	45.5970	39.6672	7.5648	1.630	0.9514	0.1208
43	10.3980	0.708	1.2972	0.0864	18.1782	62.5454	52.6630	7.2658	1.278	0.8762	0.0796
44	14.0364	0.796	1.7654	0.0884	12.5548	38.2764	33.9566	7.0788	1.586	0.8636	0.1084
45	10.3816	1.058	1.2934	0.0830	13.8614	50.5426	40.5924	7.8456	1.718	0.9836	0.1020

Obs	PFR	PSR	PFCM	PSCM	PFB1	PSB1	PFB2	PSB2	PFB3	PSB3	PFTotal	PSTotal
31	28.0	3.39	1141.5	83.5	1343.3	66.0	841.5	45.0	168.9	9.2	3523.2	207.09
32	13.5	3.07	804.7	66.0	914.2	56.0	538.7	36.7	127.6	10.2	2398.7	171.97
33	26.5	3.48	873.0	72.2	850.5	56.0	486.0	33.0	356.4	31.9	2592.4	196.58
34	19.7	3.34	690.0	62.6	441.0	27.1	368.2	24.0	316.4	22.5	1835.3	139.54
35	28.5	3.96	981.0	85.0	1050.0	65.0	704.0	50.0	383.4	34.2	3146.9	238.16
36	26.5	4.91	690.0	58.6	633.6	39.5	411.4	32.0	0.0	0.0	1761.5	135.01
37	40.0	4.44	1366.7	102.4	1545.0	78.8	937.9	53.5	226.4	16.0	4116.0	255.14
38	29.5	4.81	1104.8	89.3	1317.0	72.5	937.2	56.3	250.0	15.0	3638.5	237.91
39	29.8	3.03	1419.3	120.4	1171.4	81.5	764.1	73.0	294.3	15.9	3678.9	293.83
40	21.0	2.83	1277.0	105.5	1234.5	81.5	875.6	62.3	191.5	15.1	3599.6	267.23
41	25.8	3.88	1273.5	105.8	1037.7	69.0	614.2	48.9	238.1	22.6	3189.3	250.18
42	27.5	4.80	1074.7	88.7	1051.6	62.0	708.4	47.5	300.4	23.0	3162.6	226.00
43	28.0	3.39	1212.4	97.0	1085.4	53.2	929.8	57.0	0.0	0.0	3255.6	210.59
44	13.5	3.07	1157.0	95.0	166.9	10.5	762.4	52.5	465.0	41.4	2564.8	202.47
45	26.5	3.48	1018.3	90.5	552.4	38.2	657.4	44.3	355.9	30.7	2610.5	207.18

Obs	MgCM	PCM	PbCM	CdCM	NB	KB	CaB	MgB	PB	PbB	CdB
46	13.1442	1.014	1.6280	0.0824	13.7877	39.4736	34.5056	7.4778	1.674	0.9320	0.1132
47	15.7942	0.444	1.9468	0.0800	12.3772	42.5298	36.4318	8.1484	1.322	1.0132	0.1018
48	13.3148	0.752	1.6296	0.0812	11.1710	40.5642	45.7968	8.5588	1.892	1.0456	0.1116

Obs	PFR	PSR	PFCM	PSCM	PFB1	PSB1	PFB2	PSB2	PFB3	PSB3	PFTotal	PSTotal
46	19.7	3.34	1141.0	96.2	930.0	60.0	826.3	57.5	282.7	22.5	3199.7	239.54
47	28.5	3.96	1186.0	103.8	1022.8	64.8	676.9	48.0	354.0	28.7	3268.2	249.26
48	26.5	4.91	1055.7	81.9	906.4	38.2	620.8	54.7	346.7	27.5	2956.1	207.21

```

Proc print;
Proc glm;
  class Mico N;
  model KR CaR MgR PbR CdR KCM CaCM NCM MgCM PCM PbCM CdCM NOB KB CaB NB
MgB PB PbB CdB PFR PSR PFCM PSCM PFB1 PSB1 PFB2 PSB2 PFB3 PSB3 PFTotal
PSTotal = Mico N Mico*N / ss3 ss4;
  lsmeans Mico N / stderr pdiff;
  means Mico N/ LSD TUKEY LINES;
run;

```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Mico	3	0 2.5 5
N	4	0 50 100 150

Número de observaciones 48

Variable dependiente: KR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	23.21580005	2.11052728	1.52	0.1665
Error	36	49.93659015	1.38712750		
Total correcto	47	73.15239020			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	KR Media
0.317362	8.840790	1.177764	13.32193

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	2.70579746	1.35289873	0.98	0.3868
N	3	2.81747324	0.93915775	0.68	0.5718
Mico*N	6	17.69252935	2.94875489	2.13	0.0741

Variable dependiente: CaR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	156.8635886	14.2603262	0.78	0.6544
Error	36	655.3560702	18.2043353		
Total correcto	47	812.2196588			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CaR Media
0.193130	30.26753	4.266654	14.09647

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	40.54102449	20.27051224	1.11	0.3395
N	3	36.90538024	12.30179341	0.68	0.5726
Mico*N	6	79.41718389	13.23619731	0.73	0.6307

Variable dependiente: MgR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	3.00031215	0.27275565	0.83	0.6100
Error	36	11.80040220	0.32778895		
Total correcto	47	14.80071435			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MgR Media
0.202714	14.38574	0.572529	3.979833

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	1.98190053	0.99095026	3.02	0.0611
N	3	0.16440918	0.05480306	0.17	0.9178
Mico*N	6	0.85400244	0.14233374	0.43	0.8511

Variable dependiente: PbR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	0.06207666	0.00564333	1.02	0.4502
Error	36	0.19937623	0.00553823		
Total correcto	47	0.26145289			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PbR Media
0.237430	14.92153	0.074419	0.498738

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.04282362	0.02141181	3.87	0.0301
N	3	0.00120578	0.00040193	0.07	0.9743
Mico*N	6	0.01804727	0.00300788	0.54	0.7719

Variable dependiente: CdR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	0.00601779	0.00054707	4.02	0.0007
Error	36	0.00489660	0.00013602		
Total correcto	47	0.01091439			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CdR Media
0.551363	14.00354	0.011663	0.083283

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.00386979	0.00193489	14.23	<.0001
N	3	0.00044165	0.00014722	1.08	0.3689
Mico*N	6	0.00170635	0.00028439	2.09	0.0785

Variable dependiente: KCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	220.269011	20.024456	0.56	0.8506
Error	36	1296.125385	36.003483		
Total correcto	47	1516.394396			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	KCM Media
0.145258	18.10882	6.000290	33.13463

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	59.6037722	29.8018861	0.83	0.4452
N	3	60.2194020	20.0731340	0.56	0.6465
Mico*N	6	100.4458365	16.7409727	0.46	0.8295

Variable dependiente: CaCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	354.496665	32.226970	0.44	0.9290
Error	36	2661.310251	73.925285		
Total correcto	47	3015.806917			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CaCM Media
0.117546	20.93139	8.597981	41.07697

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	44.2488575	22.1244287	0.30	0.7432
N	3	164.4169049	54.8056350	0.74	0.5344
Mico*N	6	145.8309029	24.3051505	0.33	0.9174

Variable dependiente: NCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	75.8081579	6.8916507	1.36	0.2321
Error	36	181.9844539	5.0551237		
Total correcto	47	257.7926119			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	NCM Media
0.294066	18.39385	2.248360	12.22344

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	2.33078250	1.16539125	0.23	0.7953
N	3	45.76998368	15.25666123	3.02	0.0423
Mico*N	6	27.70739176	4.61789863	0.91	0.4965

Variable dependiente: MgCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	241.91917	21.99265	0.03	1.0000
Error	36	23671.65432	657.54595		
Total correcto	47	23913.57349			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MgCM Media
0.010116	104.5008	25.64266	24.53824

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	127.3160989	63.6580494	0.10	0.9080
N	3	51.1041283	17.0347094	0.03	0.9943
Mico*N	6	63.4989404	10.5831567	0.02	1.0000

Variable dependiente: PCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	0.81798425	0.07436220	1.25	0.2901
Error	36	2.13659900	0.05934997		
Total correcto	47	2.95458325			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PCM Media
0.276853	41.35260	0.243618	0.589125

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.01283750	0.00641875	0.11	0.8978
N	3	0.26940892	0.08980297	1.51	0.2277
Mico*N	6	0.53573783	0.08928964	1.50	0.2046

Variable dependiente: PbCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	0.63284504	0.05753137	0.65	0.7748
Error	36	3.19061528	0.08862820		
Total correcto	47	3.82346032			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PbCM Media
0.165516	19.95419	0.297705	1.491942

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.26975886	0.13487943	1.52	0.2320
N	3	0.17405478	0.05801826	0.65	0.5853
Mico*N	6	0.18903140	0.03150523	0.36	0.9020

Variable dependiente: CdCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	0.00197483	0.00017953	0.54	0.8639
Error	36	0.01200672	0.00033352		
Total correcto	47	0.01398155			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CdCM Media
0.141245	21.16986	0.018263	0.086267

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.00063403	0.00031702	0.95	0.3960
N	3	0.00020850	0.00006950	0.21	0.8899
Mico*N	6	0.00113230	0.00018872	0.57	0.7546

Variable dependiente: NoB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	35.2291667	3.2026515	0.97	0.4891
Error	36	118.7500000	3.2986111		
Total correcto	47	153.9791667			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	NoB Media
0.228792	57.73376	1.816208	3.145833

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	1.79166667	0.89583333	0.27	0.7637
N	3	5.22916667	1.74305556	0.53	0.6656
Mico*N	6	28.20833333	4.70138889	1.43	0.2320

Variable dependiente: KB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	999.325657	90.847787	1.05	0.4279
Error	36	3121.722220	86.714506		
Total correcto	47	4121.047876			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	KB Media
0.242493	20.33442	9.312062	45.79458

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.7889606	0.3944803	0.00	0.9955
N	3	72.8628865	24.2876288	0.28	0.8394
Mico*N	6	925.6738096	154.2789683	1.78	0.1312

Variable dependiente: CaB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	345.852248	31.441113	0.60	0.8197
Error	36	1900.657792	52.796050		
Total correcto	47	2246.510040			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CaB Media
0.153951	17.64821	7.266089	41.17182

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	6.7142915	3.3571457	0.06	0.9385
N	3	10.0700990	3.3566997	0.06	0.9787
Mico*N	6	329.0678574	54.8446429	1.04	0.4167

Variable dependiente: NB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	54.2816368	4.9346943	0.83	0.6139
Error	36	214.5801336	5.9605593		
Total correcto	47	268.8617704			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	NB Media
0.201894	18.37487	2.441426	13.28676

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	3.31563090	1.65781545	0.28	0.7588
N	3	2.17151776	0.72383925	0.12	0.9469
Mico*N	6	48.79448818	8.13241470	1.36	0.2553

Variable dependiente: MgB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	13.12291229	1.19299203	1.68	0.1173
Error	36	25.51169398	0.70865817		
Total correcto	47	38.63460627			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MgB Media
0.339667	11.21000	0.841818	7.509533

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	9.15320578	4.57660289	6.46	0.0040
N	3	1.54833245	0.51611082	0.73	0.5418
Mico*N	6	2.42137406	0.40356234	0.57	0.7518

Variable dependiente: PB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	2.26280867	0.20570988	1.26	0.2833
Error	36	5.85496600	0.16263794		
Total correcto	47	8.11777467			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PB Media
0.278747	27.48726	0.403284	1.467167

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.20326017	0.10163008	0.62	0.5410
N	3	0.74595000	0.24865000	1.53	0.2236
Mico*N	6	1.31359850	0.21893308	1.35	0.2627

Variable dependiente: PbB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	0.22980506	0.02089137	1.87	0.0773
Error	36	0.40175398	0.01115983		
Total correcto	47	0.63155904			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PbB Media
0.363869	11.38783	0.105640	0.927658

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.15400276	0.07700138	6.90	0.0029
N	3	0.03185490	0.01061830	0.95	0.4261
Mico*N	6	0.04394740	0.00732457	0.66	0.6849

Variable dependiente: CdB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	0.00305949	0.00027814	1.06	0.4181
Error	36	0.00944152	0.00026226		
Total correcto	47	0.01250101			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CdB Media
0.244739	16.60557	0.016195	0.097525

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.00090986	0.00045493	1.73	0.1909
N	3	0.00071427	0.00023809	0.91	0.4469
Mico*N	6	0.00143536	0.00023923	0.91	0.4974

Variable dependiente: PFR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	809.315625	73.574148	2.18	0.0388
Error	36	1215.307500	33.758542		
Total correcto	47	2024.623125			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PFR Media
0.399736	22.40621	5.810210	25.93125

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	76.4487500	38.2243750	1.13	0.3335
N	3	415.3922917	138.4640972	4.10	0.0133
Mico*N	6	317.4745833	52.9124306	1.57	0.1850

Variable dependiente: PSR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	13.07339167	1.18849015	3.42	0.0025
Error	36	12.52260000	0.34785000		
Total correcto	47	25.59599167			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PSR Media
0.510759	15.57025	0.589788	3.787917

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	0.84817917	0.42408958	1.22	0.3074
N	3	3.34484167	1.11494722	3.21	0.0345
Mico*N	6	8.88037083	1.48006181	4.25	0.0024

Variable dependiente: PFCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	137697.057	12517.914	0.19	0.9971
Error	36	2348291.388	65230.316		
Total correcto	47	2485988.445			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PFCM Media
0.055389	29.35019	255.4023	870.1896

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	33434.92542	16717.46271	0.26	0.7753
N	3	71667.66229	23889.22076	0.37	0.7778
Mico*N	6	32594.46958	5432.41160	0.08	0.9975

Variable dependiente: PSCM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	668.18167	60.74379	0.16	0.9988
Error	36	13819.87500	383.88542		
Total correcto	47	14488.05667			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PSCM Media
0.046119	26.92887	19.59299	72.75833

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	33.5716667	16.7858333	0.04	0.9573
N	3	467.6383333	155.8794444	0.41	0.7495
Mico*N	6	166.9716667	27.8286111	0.07	0.9983

Variable dependiente: PFB3

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	397726.3342	36156.9395	2.92	0.0074
Error	36	445378.5050	12371.6251		
Total correcto	47	843104.8392			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PFB3 Media
0.471740	50.63193	111.2278	219.6792

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	27434.1354	13717.0677	1.11	0.3410
N	3	28851.1175	9617.0392	0.78	0.5143
Mico*N	6	341441.0813	56906.8469	4.60	0.0015

Variable dependiente: PSB3

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	2633.100625	239.372784	2.77	0.0105
Error	36	3116.542500	86.570625		
Total correcto	47	5749.643125			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PSB3 Media
0.457959	54.63095	9.304334	17.03125

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	267.888750	133.944375	1.55	0.2267
N	3	135.073958	45.024653	0.52	0.6712
Mico*N	6	2230.137917	371.689653	4.29	0.0023

Variable dependiente: PFTotal

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	2081270.27	189206.39	0.36	0.9651
Error	36	19174837.57	532634.38		
Total correcto	47	21256107.84			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PFTotal Media
0.097914	28.76721	729.8180	2536.979

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	350261.6954	175130.8477	0.33	0.7219
N	3	853555.5742	284518.5247	0.53	0.6618
Mico*N	6	877452.9996	146242.1666	0.27	0.9452

Variable dependiente: PSTotal

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	8449.55827	768.14166	0.33	0.9736
Error	36	83995.68510	2333.21347		
Total correcto	47	92445.24337			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PSTotal Media
0.091401	26.54480	48.30335	181.9692

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Mico	2	638.800554	319.400277	0.14	0.8725
N	3	3273.730217	1091.243406	0.47	0.7066
Mico*N	6	4537.027496	756.171249	0.32	0.9200

t Tests (LSD) para KR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	1.387128
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.8445

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	13.6569	16	2.5
A			
A	13.1751	16	5
A			
A	13.1338	16	0

t Tests (LSD) para CaR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	18.20434
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	3.0594

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	14.820	16	2.5
A			
A	14.670	16	5
A			
A	12.800	16	0

t Tests (LSD) para MgR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.327789
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.4105

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	4.2082	16	5
A			
B A	4.0167	16	2.5
B			
B	3.7146	16	0

t Tests (LSD) para PbR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error Experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.005538
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0534

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	0.53264	16	5
A			
B A	0.50361	16	2.5
B			
B	0.45996	16	0

t Tests (LSD) para CdR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.000136
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0084

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	0.091050	16	5
A			
A	0.088100	16	2.5
B	0.070700	16	0

t Tests (LSD) para KCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	36.00348
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	4.3024

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	34.464	16	2.5
A			
A	33.203	16	5
A			
A	31.737	16	0

t Tests (LSD) para CaCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	73.92528
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	6.1651

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	42.137	16	5
A			
A	41.282	16	2.5
A			
A	39.812	16	0

t Tests (LSD) para NCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	5.055124
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	1.6122

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	12.5117	16	2.5
A			
A	12.1818	16	5
A			
A	11.9768	16	0

t Tests (LSD) para MgCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	657.546
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	18.387

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	25.880	16	5
A	25.488	16	2.5
A	22.246	16	0

t Tests (LSD) para PCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.05935
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.1747

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	0.60850	16	0
A	0.59038	16	5
A	0.56850	16	2.5

t Tests (LSD) para PbCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.088628
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.2135

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	1.5736	16	5
A	1.5097	16	2.5
A	1.3926	16	0

t Tests (LSD) para CdCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.000334
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0131

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	0.091363	16	2.5
A	0.084300	16	5
A	0.083138	16	0

t Tests (LSD) para NoB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	3.298611
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	1.3023

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	3.3125	16	5
A			
A	3.2500	16	2.5
A			
A	2.8750	16	0

t Tests (LSD) para KB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	86.71451
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	6.6771

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	45.945	16	5
A			
A	45.808	16	0
A			
A	45.631	16	2.5

t Tests (LSD) para CaB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	52.79605
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	5.2101

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	41.694	16	5
A			
A	40.983	16	2.5
A			
A	40.839	16	0

t Tests (LSD) para NB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	5.960559
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	1.7506

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	13.5468	16	5
A			
A	13.3867	16	2.5
A			
A	12.9268	16	0

t Tests (LSD) para MgB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.708658
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.6036

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	8.1057	16	5
B	7.3510	16	2.5
B			
B	7.0719	16	0

t Tests (LSD) para PB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.162638
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.2892

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	1.5563	16	5
A			
A	1.4426	16	2.5
A			
A	1.4026	16	0

t Tests (LSD) para PbB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.01116
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0757

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	1.00536	16	5
B	0.90566	16	2.5
B			
B	0.87195	16	0

t Tests (LSD) para CdB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.000262
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0116

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	0.101800	16	5
A			
A	0.099225	16	2.5
A			
A	0.091550	16	0

t Tests (LSD) para PFR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	33.75854
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	4.1662

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	27.544	16	0
A	25.788	16	5
A	24.463	16	2.5

t Tests (LSD) para PSR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.34785
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.4229

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	3.9206	16	5
A	3.8369	16	2.5
A	3.6063	16	0

t Tests (LSD) para PFCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	65230.32
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	183.13

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	896.72	16	0
A			
A	879.66	16	2.5
A			
A	834.19	16	5

t Tests (LSD) para PSCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	383.8854
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	14.049

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	73.875	16	0
A			
A	72.538	16	2.5
A			
A	71.863	16	5

t Tests (LSD) para PFB3

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error Experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	12371.63
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	79.755

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	250.11	16	5
A	217.23	16	2.5
A	191.70	16	0

t Tests (LSD) para PSB3

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	86.57063
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	6.6716

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	19.813	16	5
A	17.244	16	2.5
A	14.038	16	0

t Tests (LSD) para PFTotal

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	532634.4
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	523.31

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	2645.4	16	0
A			
A	2529.0	16	2.5
A			
A	2436.6	16	5

t Tests (LSD) para PSTotal

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	2333.213
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	34.635

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	Mico
A	186.99	16	0
A			
A	180.47	16	5
A			
A	178.44	16	2.5

t Tests (LSD) para KR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	1.387128
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.9751

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	13.5995	12	100
A			
A	13.5016	12	50
A			
A	13.1956	12	0
A			
A	12.9910	12	150

t Tests (LSD) para CaR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	18.20434
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	3.5326

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	15.380	12	0
A			
A	14.431	12	100
A			
A	13.354	12	50
A			
A	13.222	12	150

t Tests (LSD) para MgR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.327789
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.474

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	4.0655	12	100
A			
A	3.9782	12	150
A			
A	3.9754	12	0
A			
A	3.9003	12	50

t Tests (LSD) para PbR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.005538
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0616

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	0.50533	12	100
A			
A	0.50067	12	150
A			
A	0.49738	12	0
A			
A	0.49157	12	50

t Tests (LSD) para CdR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.000136
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0097

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	0.087933	12	50
A			
A	0.083583	12	100
A			
A	0.082000	12	0
A			
A	0.079617	12	150

t Tests (LSD) para KCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	36.00348
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	4.968

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	34.668	12	50
A			
A	33.645	12	0
A			
A	32.511	12	100
A			
A	31.715	12	150

t Tests (LSD) para CaCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	73.92528
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	7.1188

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	43.652	12	100
A			
A	41.998	12	50
A			
A	39.561	12	0
A			
A	39.097	12	150

t Tests (LSD) para NCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	5.055124
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	1.8616

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	13.4336	12	50
A			
A	12.8305	12	150
A			
B A	11.7209	12	0
B			
B	10.9087	12	100

t Tests (LSD) para MgCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	657.546
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	21.231

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	26.31	12	100
A			
A	24.13	12	0
A			
A	24.00	12	150
A			
A	23.71	12	50

t Tests (LSD) para PCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.05935
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.2017

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	0.68767	12	0
A			
B A	0.61983	12	50
B A			
B A	0.56600	12	150
B A			
B			
B	0.48300	12	100

t Tests (LSD) para PbCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.088628
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.2465

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	1.5797	12	100
A			
A	1.5148	12	50
A			
A	1.4456	12	150
A			
A	1.4277	12	0

t Tests (LSD) para CdCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.000334
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0151

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	0.089600	12	100
A			
A	0.086350	12	50
A			
A	0.085017	12	0
A			
A	0.084100	12	150

t Tests (LSD) para KB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	86.71451
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	7.7101

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	47.461	12	50
A			
A	46.446	12	0
A			
A	44.940	12	100
A			
A	44.331	12	150

t Tests (LSD) para CaB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	52.79605
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	6.0161

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	41.956	12	100
A			
A	40.994	12	0
A			
A	40.939	12	150
A			
A	40.799	12	50

t Tests (LSD) para NB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	5.960559
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	2.0214

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	13.5308	12	50
A			
A	13.4161	12	150
A			
A	13.2324	12	0
A			
A	12.9678	12	100

t Tests (LSD) para MgB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.708658
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.697

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	7.8103	12	100
A			
A	7.4674	12	0
A			
A	7.4212	12	50
A			
A	7.3392	12	150

t Tests (LSD) para PB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.162638
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.3339

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	1.6585	12	0
A			
A	1.4925	12	100
A			
A	1.3857	12	50
A			
A	1.3320	12	150

t Tests (LSD) para PbB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.01116
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0875

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	0.97118	12	100
A			
A	0.91855	12	50
A			
A	0.91697	12	0
A			
A	0.90393	12	150

t Tests (LSD) para CdB

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.000262
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.0134

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	0.101933	12	100
A			
A	0.099050	12	150
A			
A	0.097733	12	50
A			
A	0.091383	12	0

t Tests (LSD) para PFR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	33.75854
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	4.8107

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	29.825	12	0
A			
B A	27.325	12	100
B			
B C	24.617	12	50
C			
C	21.958	12	150

t Tests (LSD) para PSR

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	0.34785
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	0.4883

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	4.2225	12	50
A			
B A	3.7517	12	150
B			
B	3.6567	12	0
B			
B	3.5208	12	100

t Tests (LSD) para PFCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	65230.32
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	211.46

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	924.4	12	100
A			
A	889.0	12	0
A			
A	837.4	12	150
A			
A	830.1	12	50

t Tests (LSD) para PSCM

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	383.8854
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	16.222

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	78.025	12	100
A			
A	71.875	12	0
A			
A	71.217	12	50
A			
A	69.917	12	150

t Tests (LSD) para PFB1

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	89505.75
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	247.71

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	885.6	12	100
A			
A	841.5	12	0
A			
A	787.1	12	50
A			
A	721.9	12	150

t Tests (LSD) para PSB1

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	300.6284
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	14.356

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	52.350	12	100
A			
A	47.650	12	0
A			
A	46.458	12	50
A			
A	42.567	12	150

t Tests (LSD) para PFB2

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	43958.95
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	173.59

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	647.54	12	100
A			
A	605.72	12	0
A			
A	603.81	12	50
A			
A	591.65	12	150

t Tests (LSD) para PSB2

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	231.3419
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	12.593

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	43.550	12	100
A			
A	41.792	12	150
A			
A	40.575	12	0
A			
A	38.625	12	50

t Tests (LSD) para PFB3

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	12371.63
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	92.093

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	244.35	12	50
A			
A	241.83	12	100
A			
A	206.50	12	0
A			
A	186.04	12	150

t Tests (LSD) para PSB3

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	86.57063
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	7.7037

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	19.217	12	50
A			
A	17.983	12	100
A			
A	16.033	12	0
A			
A	14.892	12	150

t Tests (LSD) para PFTotal

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	532634.4
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	604.26

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	2726.6	12	100
A			
A	2572.5	12	0
A			
A	2489.9	12	50
A			
A	2358.9	12	150

t Tests (LSD) para PSTotal

NOTA: Este test controla el índice de error de comparación de tipo I, no el índice de error experimental.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	36
Error de cuadrado medio	2333.213
Valor crítico de t	2.02809
Diferencia menos significativa	39.994

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	N
A	195.43	12	100
A			
A	179.79	12	0
A			
A	179.74	12	50
A			
A	172.92	12	150