

EVALUACION DE RESIDUOS DE PRODUCCION DE
PENICILINA EN CARACTERISTICAS DE SUELO Y DE
ZACATE BUFFEL (*Cenchrus ciliaris* L.)

MILDRED INNA MARCELA FLORES VERASTEGUI

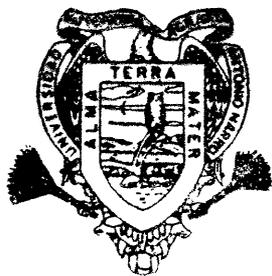
T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE Universidad Autónoma Agraria
MAESTRO EN CIENCIAS "ANTONIO NARRO"
EN SUELOS



BIBLIOTECA



**Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro**

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista. Saltillo, Coah.

DICIEMBRE DE 1997

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN SUELOS**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala

Asesor :



Dr. Edmundo Peña Cervantes

Asesor :



M.C. Regino Morones Reza

Asesor :



M.C. Blanca Valdivia Urdiales



Dr. Jesús Fuentes Rodríguez
Subdirector de Postgrado

Buнавista, Saltillo Coahuila. Diciembre de 1997

AGRADECIMIENTOS

A Dios,
por haberme dado la vida y una familia maravillosa.

A mis padres,
por encausarme en la senda del conocimiento, por su apoyo y amor.

A Lucy y Fanny,
por adentrarme en esta gran aventura.

A la UAAAN,
por acogerme en sus aulas.

A la Academia de Química de Suelos,
por permitirme llevar a cabo mis estudios de postgrado.

A mis asesores:
MC. Juan Manuel Cepeda Dovala, Dr. Edmundo Peña Cervantes, MC. Regino Morones Reza, y MC. Blanca Valdivia Urdiales,
por su confianza y valiosa asesoría.

A Chely, Paty, y Margarita
A Lucy e Idalia,
por su colaboración y gran apoyo.

A Chayito y Lili:
por su gran ayuda.

Así mismo me permito agradecer de manera muy especial al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de postgrado así como a la **Compañía Fersinsa Gist-Brocades** por las facilidades brindadas para el desarrollo del presente trabajo de investigación, en especial al Ing. Carlos Moncada y al Ing. Ignacio Hernández.

DEDICATORIA

A mis padres:

Gloria Inna S. y Arnaldo Miguel,

por todo lo que me han dado, con toda mi admiración, cariño y respeto.

A mi hermano:

Miguel Germán,

por ser la "lata" más grande del mundo.

A todas mis familias:

Flores Uresti, Verástegui Ramírez, Verástegui Valdés, Verástegui Galindo, Hernández Verástegui, Carrillo Verástegui, Sandoval Verástegui y Verástegui Degollado,

por su cariño y apoyo incondicional.

A mis abuelos:

Miguel (+) y Alicia (+)
Agustín (+) y Delfina,

que viven y siempre vivirán en mi corazón.

A:

Marcela Almanza, Laura Montserrat, Blanca Corpus, Vero Villarreal, Mary Fuentes, Paty y Mario Múzquiz, Raciél Escudero y Ernesto Barreto,

por todo lo compartido y su invaluable amistad.

COMPENDIO

Evaluación de Residuos de Producción de Penicilina en Características de Suelo y de Zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.)

POR

MILDRED INNA MARCELA FLORES VERÁSTEGUI

MAESTRIA EN CIENCIAS

EN SUELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE DE 1997

M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala - Asesor -

Palabras Clave: Residuos industriales, reciclar, mejoradores de suelo, zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*).

En los invernaderos localizados en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro fue establecido el presente trabajo de tesis bajo un diseño

completamente al azar, en el que se evaluaron 4 tratamientos con 6 repeticiones, consistentes en la aplicación de 0, 25, 50 y 75 t/ha de micelio de *Penicillium chrysogenum* recuperado de la producción de penicilina. Las significancias para tratamientos encontradas en las diferentes variables evaluadas fueron interpretadas mediante análisis de regresión polinomial.

La aplicación de este residuo industrial afectó de manera altamente significativa el pH del suelo así como la densidad aparente, siendo un efecto positivo ya que se observó una disminución en los valores de ambas características. Así mismo se presentó un incremento altamente significativo en el contenido de fósforo y potasio disponible. La población microbiana del suelo también se vio afectada por la incorporación de este material ya que el contenido de bacterias y hongos por gramo de suelo mostró una tendencia al aumento cuando la cantidad de micelio se incrementó. En cuanto a las características evaluadas en planta, se observó un incremento en altura y peso seco así como en el contenido de proteína, lo cual da un mayor valor nutritivo al pasto en estudio (*Cenchrus ciliaris*).

En base a lo anterior podemos decir que este residuo orgánico presenta una gran oportunidad de ser reciclado mediante su aplicación a terrenos agrícolas ya que mejora características tanto químicas, como físicas y biológicas del suelo. Lo anterior previo monitoreo de su composición.

ABSTRACT

Evaluation of Residues of Penicillin Production in the Characteristics of Soil and Buffelgrass (*Cenchrus ciliaris* L.)

BY

MILDRED INNA MARCELA FLORES VERÁSTEGUI

MASTER OF SCIENCE

SOILS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DECEMBER, 1997

M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala - Advisor -

Key words: Industrial waste, recycle, soil amendments, buffelgrass
(*Cenchrus ciliaris*).

In the greenhouses located at the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro this thesis project was established in random design in which 4

treatments with 6 repetitions were evaluated, consisting in the application of 0, 25, 50 and 75 t/ha of mycelium of *Penicillium chrysogenum* recovered from the production of penicillin. The significance for treatments found in different variables evaluated were interpreted by means of polynomial regression analysis.

The application of this industrial waste highly affected the pH of the soil as well as the apparent density. This effect was positive since both of these characteristics showed lower volumes. At the same time there was a significant increase in the contents of phosphorus and potassium. The microbe population was affected as well by the addition of this material since the number of bacteria and fungus per gram of soil showed a tendency to rise when the quantity of mycelium was increased. As for the characteristics evaluated in the plants, an increase in height and dry weight was noted as well as in the protein content, giving a higher nutritional value to the grass under study (*Cenchrus ciliaris*).

Based on this we can say that this organic waste presents an opportunity for recycling through its application in agricultural lands since it improves chemical, physical and biological characteristics of the soil, when the composition is previously monitored.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
RESIDUOS SÓLIDOS.....	7
Residuos Urbanos.....	7
Residuos Industriales.....	8
RESIDUOS INDUSTRIALES COMO MEJORADORES DE SUELO....	10
Lodos Biológicos.....	10
Cenizas de Lodos Biológicos.....	11
Lodos Celulósicos.....	12
Cenizas de Industrias Eléctricas.....	12
LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	13
MICELIO DE <i>Penicillium chrysogenum</i>	14
ZACATE BUFFEL (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.).....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
LOCALIZACION DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	20
MATERIALES.....	20
Residuo.....	20

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
Suelo.....	21
Planta indicadora.....	22
MÉTODOS.....	22
Evaluación en Suelo.....	23
Evaluación en Planta.....	24
Altura.....	24
Peso Fresco.....	24
Peso Seco.....	24
Proteínas.....	24
TRATAMIENTOS.....	25
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
EVALUACIÓN EN SUELO.....	29
Materia Orgánica.....	29
pH.....	34
Carbonatos.....	37
Conductividad Eléctrica.....	39
Nitrógeno.....	42
Fósforo.....	45
Potasio.....	49
Densidad Aparente.....	52
Densidad de Sólidos.....	55
Población Microbiana.....	57
EVALUACIÓN EN PLANTA.....	63
Altura.....	63
Peso Fresco.....	66
Peso Seco.....	68
Proteínas.....	70
CONCLUSIONES.....	73

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	75
LITERATURA CITADA.....	77
APÉNDICE.....	81
ANEXO.....	89
CIUDADES DEL PAÍS CON GRAVES PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN.....	90
LOCALIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE SALTILLO Y RAMOS ARIZPE EN EL ESTADO DE COAHUILA.....	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.1	Composición del residuo industrial empleado en esta investigación.....	21
3.2	Características del suelo empleado.....	22
3.3	Características físicas y químicas evaluadas en suelo.....	23
4.1	Resultados de los análisis físicos y químicos de suelo.....	30
4.2	Resultados de los análisis microbiológicos de suelo.....	30
4.3	Resultados de las evaluaciones en zacate buffel.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
4.1	Contenido medio de materia orgánica en el suelo como respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	31
4.2	Gráfico de predicción para materia orgánica del suelo.....	32
4.3	Valores medios de pH del suelo obtenidos mediante la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	35
4.4	Gráfico de predicción para pH del suelo.....	36
4.5	Contenido medio de carbonatos en suelo en respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	38
4.6	Gráfico de predicción para conductividad eléctrica del suelo.....	40
4.7	Conductividad eléctrica del suelo en respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	41
4.8	Contenido medio de nitrógeno en el suelo como respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	43
4.9	Gráfico de predicción para nitrógeno en el suelo.....	44
4.10	Contenido medio de fósforo en el suelo como respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	46
4.11	Gráfico de valores observados y valores de predicción para fósforo en el suelo.....	47
4.12	Contenido medio de potasio en el suelo como respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
4.13	Gráfico de predicción para potasio en el suelo.....	51
4.14	Respuesta del suelo en cuanto a densidad aparente a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	53
4.15	Gráfico de valores observados y valores de predicción para densidad aparente de suelo.....	54
4.16	Respuesta del suelo en cuanto a densidad aparente a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	56
4.17	Respuesta de la población bacteriana a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	58
4.18	Gráfico de valores observados y valores de predicción para la población bacteriana del suelo.....	59
4.19	Respuesta de la población fúngica a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	61
4.20	Gráfico de predicción para población fúngica del suelo.....	62
4.21	Valores medios de altura del zacate buffel como respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	65
4.22	Valores promedio de peso fresco de zacate buffel como respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	67
4.23	Valores promedio de peso seco de zacate buffel como respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	69
4.24	Contenido promedio de proteínas en zacate buffel como respuesta a la adición de micelio de <i>P. chrysogenum</i>	71

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico del presente siglo, inimaginable hace 60 años, ha podido satisfacer las necesidades y nuevas formas de vida de los pueblos en constante crecimiento, lo cual, a su vez ha requerido de una elevada producción de alimentos y nuevas áreas destinadas al establecimiento de ciudades y plantas industriales, por lo que se ha hecho necesario destruir acelerada e indiscriminadamente recursos naturales potenciales.

Los procesos de industrialización, en los cuales se basa la sociedad moderna, se caracterizan por la expansión del comercio, la tecnificación de la agricultura y la explotación irracional de los recursos naturales, con el fin de crear un mercado de capitales que permita condiciones de vida del llamado primer mundo.

En México, los problemas ambientales son directamente proporcionales al incremento de la población, al grado de desarrollo económico y a la forma en que se explotan los recursos naturales con que contamos, los cuales conforman una gran diversidad y riqueza de ambientes, como lo son nuestros

bosques templados, desiertos y selvas tropicales que albergan a más de ochenta millones de habitantes.

En algunas ciudades y regiones del país, como lo son el Distrito Federal, Monterrey, Guadalajara, Puebla, Coahuila-Coahuila de Zaragoza y Ciudad Juárez, la contaminación es un problema de primera magnitud (anexo 1), debido a la gran concentración industrial cuya ubicación se llevó a cabo sin tomar en cuenta las características geográficas o la disponibilidad de recursos naturales y sin contar con la tecnología apropiada para cada región. Además, el proceso de industrialización se ha realizado con escasa o nula conciencia sobre los impactos ambientales y sin cumplir con los requisitos establecidos por la legislación ambiental ya que sólo el 25 por ciento de las industrias del país lo hacen.

Podemos citar como ejemplos a las cuencas de los ríos Lerma, Pánuco, el Salado y Coahuila-Coahuila de Zaragoza, que son las más contaminadas y están asociadas con los principales centros urbanos e industriales del país. Así mismo, en la Ciudad de México la contaminación del aire es especialmente crítica, debido al gran número de establecimientos industriales y a los millones de vehículos que circulan por sus arterias. Situaciones similares se observan en las 18 ciudades y centros industriales más importantes del país en donde las normas de calidad del aire se rebasan en forma preocupante. La contaminación por residuos

sólidos urbanos e industriales, representa un grave problema que aún no es controlado, siendo de gran importancia la generación y disposición de desechos peligrosos cuya producción en el país rebasa los ocho millones de toneladas al año, de los cuales sólo el 20 por ciento es tratado y/o confinado bajo las normas establecidas de protección ambiental.

Muchos de los productos industriales de desecho contienen nutrientes esenciales para las plantas presentando la oportunidad de ser reciclados mediante su aplicación a terrenos agrícolas. Sin embargo, el aprovechamiento de éstos requiere de una cuidadosa evaluación individual de cada uno de ellos.

Los residuos o desechos sólidos se clasifican de acuerdo a su origen, el cual puede ser urbano, agrícola o industrial. La producción de residuos sólidos urbanos en el país rebasa las 50,000 toneladas diarias, mientras que anualmente se producen más de 140 millones de toneladas de desperdicios industriales, ya sean minerales, especiales o peligrosos.

Mantener la productividad de los suelos para abastecer de alimentos a personas y animales, involucra la reposición continua de los nutrientes que las plantas remueven del mismo. Para ayudar y mantener a los suelos pueden aplicarse residuos sólidos orgánicos.

Como parte de la lucha en contra de la contaminación se han llevado a cabo numerosos estudios en los cuales algunos desechos y/o subproductos industriales, son evaluados como mejoradores de suelo, obteniéndose resultados positivos en la mayoría de los casos aunque pueden presentar un factor de riesgo si contienen diversas cantidades de metales pesados como plomo, cadmio, zinc, níquel y cromo.

Los niveles de metales pesados encontrados en los residuos estudiados hasta el momento varían dependiendo del origen de los mismos, los cuales van desde residuos celulósicos, pasando por escorias de industrias metalúrgicas, cenizas de la industria eléctrica hasta biosólidos o lodos biológicos obtenidos del tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales.

En los municipios de Ramos Arizpe y Saltillo, ubicados al sureste del estado de Coahuila (anexo 2), se concentran más de 1900 establecimientos manufactureros de los casi 6000 en el Estado, los cuales brindan empleo a un promedio de 42,200 personas. Dichos establecimientos producen grandes cantidades de desechos, entre los que se encuentran algunos que al ser tratados específicamente pueden ser reciclados, así como otros que deben ser confinados bajo ciertas normas debido a su grado de peligrosidad.

En la industria química farmacéutica de la región de Ramos Arizpe, Coahuila, el micelio del hongo *Penicillium chrysogenum*, recuperado de la producción de penicilina, representa un problema de desecho sólido ya que se obtienen entre 10 y 15 toneladas del hongo por día. La planta industrializadora no cuenta con instalaciones para el confinamiento del residuo por lo que es dispuesto a cielo abierto. De acuerdo a su composición química, el residuo puede constituir una fuente de materia orgánica y de nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y potasio para el desarrollo de plantas, por lo que se seleccionó como una nueva línea de estudio para evaluarlo como mejorador de algunas características del suelo.

Objetivos:

En base a lo anterior se establecieron los siguientes objetivos para la presente investigación:

- Determinar el efecto de los residuos de la producción de penicilina en las características químicas, físicas y biológicas del suelo.
- Conocer la dosis óptima que pueda ser utilizada como mejorador de suelo.
- Evaluar el impacto del residuo sobre algunas características del zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.).

Hipótesis:

Al aplicar residuos de producción de penicilina al suelo, se mejoran las características químicas, físicas y biológicas del mismo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Residuos Sólidos

De acuerdo a Bond y Straub (1973) un residuo sólido es “aquel material normalmente sólido resultado de las actividades y de la vida animal o humana desechado permanente o temporalmente como residuo. También se incluye a partículas de residuo temporalmente suspendidas en aire o agua”. Según su origen, este tipo de residuos se clasifican en urbanos, agrícolas e industriales.

Residuos Urbanos

La generación de residuos urbanos puede variar de acuerdo a los patrones de consumo de la población. En 1975 se estimó que en nuestro país se generaban 320 g/hab/día de basura, mientras que para 1988 esta cantidad se incrementó a 639 g/hab de basura diarios (Gutiérrez, 1990).

En las zonas fronterizas, aproximadamente el 33 por ciento de los residuos sólidos se conforman por subproductos de empaques, mientras que en el sur del país el 41 por ciento corresponde a residuos orgánicos, lo anterior de acuerdo a Gutiérrez (1990).

La inadecuada disposición de la basura provoca diversos y graves problemas ambientales como la proliferación de microorganismos patógenos, la contaminación del aire por quemas incontroladas, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas así como la emisión de malos olores.

Residuos Industriales

De acuerdo al Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1976) en este rubro se incluyen todos los desechos sólidos, líquidos y gaseosos que producen las industrias de la transformación y otras. Dentro de estas industrias tenemos a la extractiva, a la de alimentos, del tabaco, textil, de muebles, del papel, de imprenta, química, petrolera, del plástico, del vidrio, de metales primarios, de maquinaria, de instrumentos científicos y miscelánea (Bond y Straub, 1973).

La cantidad y composición de estos residuos varía con el tipo de industria y los procesos empleados en cada una de ellas. En México se producen anualmente más de 133 millones de toneladas de desperdicios clasificados como industriales, de los cuales 8 millones de toneladas corresponden a los llamados desechos industriales peligrosos, que comprenden residuos aislados, mezclados o en solución, sólidos, líquidos o en forma de lodos que son generados como subproductos, así como desechos

resultantes de operaciones unitarias o de la limpieza de maquinaria e instalaciones (Gutiérrez, 1990).

El tratamiento que requiere cada uno de los residuos industriales, para su reciclaje o confinamiento depende de sus características y composición. Los principales desechos de la industria farmacéutica son microorganismos y químicos orgánicos, los cuales se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica suspendida y disuelta, la cual incluye vitaminas. Los medios de tratamiento o disposición adecuados para este tipo de residuos son la evaporación, incineración o emplearlos como materia prima para cierto tipo de alimentos para animales (Bond y Straub, 1973).

De acuerdo a Bierman y Rosen (1994), muchos productos de desecho contienen nutrimentos esenciales para las plantas y existe la oportunidad de reciclarlos mediante su aplicación a terrenos agrícolas. Sin embargo, el aprovechamiento de estos productos requiere de su cuidadosa evaluación, porque además de ser potencialmente benéficos para la agricultura, pueden ser potencialmente dañinos para el medio ambiente (Bierman y Rosen, 1994).

Residuos Industriales como Mejoradores de Suelo

De acuerdo a Cepeda (1984), Peña (1984) y Carreón (1985), los mejoradores de suelo son productos de diferente origen y composición que al ser aplicados al suelo producen cambios que repercuten en una eficiencia mayor de sus funciones en beneficio de las plantas.

Lodos Biológicos

La mayoría de los lodos biológicos obtenidos del tratamiento de aguas residuales van a terrenos como productos de desecho y son vistos como un problema de “almacenamiento” más que como un recurso que puede ser utilizado (Bevacqua y Mellano, 1994).

Cuando este tipo de lodos se aplica en dosis adecuadas, se observan efectos benéficos para los suelos agrícolas debido a su alto contenido de materia orgánica, lo cual ayuda a mejorar la estructura, aireación y capacidad de retención de agua. Además los lodos biológicos contienen diversos nutrimentos tales como nitrógeno y fósforo así como diversas cantidades de metales pesados según su origen (Candelaria *et al.*, 1995).

De acuerdo a Bevacqua y Mellano (1994), el empleo de lodos obtenidos de aguas municipales como mejoradores de suelo disminuye el pH e incrementan los niveles de materia orgánica, nutrimentos primarios, sales solubles y metales pesados. También en suelos ácidos se han observado muchos efectos benéficos tales como el incremento del pH, del calcio intercambiable y de la disponibilidad de fósforo, lo anterior aunado a una disminución de la acidez intercambiable (Cavallaro *et al.*, 1993).

Sin embargo, de acuerdo a estudios llevados a cabo por Cavallaro *et al.*, en 1993, Singh *et al.*, en 1994, y Candelaria *et al.*, en 1995, el empleo prolongado de este tipo de materiales puede producir la acumulación gradual de niveles tóxicos de diversos metales, por lo que sus efectos deben de ser evaluados a largo plazo.

Cenizas de Lodos Biológicos

La incineración es regularmente utilizada para reducir el volumen de los lodos de aguas residuales, pero el almacenamiento de las cenizas resultantes sigue siendo un problema. Para Bierman y Rosen (1994) la conveniencia de utilizarlas como mejorador de suelo está limitado por su contenido de metales trazas ya que éstos pueden causar problemas de salud en plantas, animales y humanos en altas concentraciones.

Lodos Celulósicos

Los lodos celulósicos obtenidos de la industria del papel pueden ser utilizados como mejoradores de suelo. Los lodos primarios y secundarios presentan características físicas y químicas diferentes, y pueden utilizarse individualmente o en mezcla, pudiendo incrementar la materia orgánica del suelo, la capacidad de retención de humedad, así como la biomasa y el contenido de proteínas en algunos cultivos (Zhang *et al.*, 1993).

Los lodos primarios son ricos en carbono, pero pobres en nitrógeno y fósforo comparados con los lodos de aguas residuales. Debido a que estos residuos están constituidos principalmente por celulosa, tienen el potencial de incrementar la materia orgánica para estabilizar la estructura del suelo y mejorar la infiltración de manera similar a los lodos biológicos (Feagley *et al.*, 1994).

Cenizas de Industrias Eléctricas

La combustión de carbón realizada por plantas eléctricas produce cenizas, las cuales constituyen un problema de desecho sólido para este tipo de industrias. Estas cenizas contienen micro y macronutrientes y pueden actuar como agentes encalantes así como mejoradores de suelo al ser aplicadas en

terrenos agrícolas (Huang *et al.*, 1992; Sims *et al.*, 1993). Sin embargo, su contenido de boro puede afectar el crecimiento de las plantas, representando una limitante de su empleo, así como la tendencia que tienen de formar una superficie compacta, lo que puede inhibir la emergencia de plántulas así como la infiltración de agua. La ventaja de su aplicación es que incorpora grandes cantidades de materia orgánica al suelo (Sims *et al.*, 1993).

En base a lo anterior, Ghodrati *et al.*, (1995) adicionaron cenizas de este tipo al suelo seguido de un lixiviado antes de la siembra con la finalidad de disminuir el contenido excesivo de boro y de sales solubles a niveles que no representen problema para el crecimiento de plantas. Estos investigadores encontraron que se mejora el crecimiento del cultivo y se reducen significativamente los niveles de B y conductividad eléctrica, pero el problema de metales pesados tanto en suelo como en planta continúa.

La Materia Orgánica del Suelo

La materia orgánica del suelo es una fuente importante de nutrimentos inorgánicos para la producción de plantas en todos los ecosistemas (Tisdale y Nelson, 1982; Cambardella y Elliot, 1992) y está ligada a deseables propiedades físicas químicas y biológicas así como a la productividad del suelo (Narro, 1994; Wander *et al.*, 1994). Los principales efectos de la materia

orgánica sobre las características del suelo son la formación de agregados debido a su acción cementante, el incremento de la humedad disponible, así como la elevación de la capacidad amortiguadora de cambios en pH (Baver *et al.*, 1980; Narro, 1994).

La incorporación de materiales orgánicos al suelo promueve la actividad microbiana y enzimática del mismo (Baver *et al.*, 1980; Martens *et al.*, 1992), la cual juega un papel importante en el ciclo de nutrimentos, en la descomposición de materiales orgánicos, desechos y residuos así como en la des-toxificación de compuestos contaminantes en el medio ambiente (Nadler y Steinberger, 1993).

Muchos estudios publicados han discutido incrementos en la materia orgánica del suelo a partir de la aplicación de desechos industriales; pero es de esperarse que sus propiedades puedan ser diferentes a los de la materia orgánica proveniente de residuos vegetales y animales (Bell, 1993).

Micelio de *Penicillium chrysogenum*

De acuerdo a la Enciclopedia de Tecnología Química, en la industria de la penicilina, se denomina fermentación a la proliferación de un cultivo puro sumergido de un moho en un medio líquido bien aireado que contiene todos los

nutrimentos necesarios en condiciones óptimas para la producción de penicilina.

La cepa de *Penicillium* empleada determina la producción de penicilina, siendo el *P. chrysogenum* con el cual se obtienen grandes cantidades de producto. El medio de propagación debe contener materias primas que satisfagan las necesidades nutrimentales del hongo, como lo son el carbono, obtenido a partir de lactosa, nitrógeno necesario, cuya fuente principal es el líquido de macerar maíz (obtenido de la producción de almidón), así como otros elementos tales como fósforo, potasio, magnesio, azufre, zinc y cobre. Se estima que la temperatura óptima del medio se encuentra alrededor de 24 ° C. La regulación del pH (alrededor de 7) así como de la aireación y agitación son esenciales para la obtención de óptimos rendimientos (Prescot y Dunn, 1962; Rhodes y Fletcher, 1969)

Una vez que las células se lisan debido a la falta de elementos nutritivos y a la acumulación de productos de desecho, lo cual varía el pH, el líquido de fermentación que contiene la penicilina es filtrado para separar el micelio así como otros sólidos. La extracción de la penicilina del líquido filtrado puede llevarse a cabo mediante la adición de disolventes o por adsorción con carbón activo para la elaboración de formas comerciales.

De acuerdo a Smits *et al.*, (1996) el micelio una vez filtrado y lavado es suspendido en agua, llevado a una temperatura de 80 ° C y acidificado a un pH de 3.5-4.0, para inactivar microorganismos y trazas de penicilina. Lo anterior con el fin de obtener un líquido para consumo animal rico en proteínas, denominado LMF (Liquid Mycelium Feed), el cual es empleado como suplemento alimenticio para ganado vacuno y forma parte de las raciones dadas ampliamente a cerdos en Holanda.

El contenido promedio de materia seca del LMF es de 10 por ciento, la cual contiene 50 por ciento de proteína cruda (N x 6.25), nueve por ciento de cenizas y 19.5 MJ/kg de energía total. El promedio de lisina, metionina y cistina es de 22, 7 y 3 g/kg, respectivamente (Smits *et al.*, 1996).

Zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.)

McIlroy (1987), menciona que en el mundo hay cerca de 10,000 especies de pastos, de las cuales sólo se utilizan en forma apreciable unas cuarenta para el establecimiento de praderas. Estas variedades de pastos cultivados forman parte de la flora de tres regiones principales:

- a) La región eurasiática, que cuenta con veinte especies.
- b) La zona africana oriental, con ocho especies.
- c) Una región sudamericana subtropical, con cuatro especies.

Al seleccionar especies de pastos para pastizales, las principales cualidades que deben observarse son la productividad, la apetitividad, el valor nutritivo y la adaptación a los suelos locales y a las condiciones climáticas.

La productividad o rendimiento depende de la capacidad para sobrevivir y extenderse por medios vegetativos, la agresividad para sobrevivir en competencia con otras especies asociadas, la capacidad para recuperarse del fuerte pastoreo, la resistencia a la sequía y la tolerancia a las heladas, la capacidad para producir un buen rendimiento de semillas viables, la fertilidad del suelo y el clima. La apetitividad es la suma de factores que intervienen para determinar si el alimento es o no atractivo para el animal y hasta qué punto lo es. La evaluación del valor nutritivo de las especies de pastos se basa en la determinación de la composición química y la digestibilidad.

El zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), también conocido como carricera africana, es un pasto perenne de 15 a 120 cm de altura, nativo de África del Sur, la India e Indonesia y adaptado a las regiones tropicales y subtropicales de lluvias de verano (Whyte, 1971; Pengelly *et al.*, 1992).

El zacate buffel fue introducido a Estados Unidos a mediados de los 40's y exitosamente establecido en el sur de Texas (Evers *et al.*, 1969; Hamilton y Scifres, 1983; Cox *et al.*, 1988; Ramos y McDowell, 1994). Algunos

investigadores (Hamilton y Scifres, 1983; Cox *et al.*, 1988; Ibarra *et al.*, 1995). reportan que el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos liberó informalmente en 1949 el buffel T-4464 conocido como Común Americano Fue transportado a México y establecido en 6 millones de hectáreas a través de la costa este y en 300,000 ha en la costa oeste (Cox *et al.*, 1988).

La densidad de siembra de zacate buffel es de 3.5 kg/ha y el número de semillas por kilogramo es de 90,000 a 200,000. La semilla fresca es de mala germinación, pero mejora hasta en un 70 por ciento almacenándola por 2 años en un lugar seco (Whyte, 1971).

La precipitación en los lugares donde el zacate buffel está bien establecido varía entre 150-500 mm durante el verano y en invierno es menor a los 400 mm; la temperatura mínima media en los meses más fríos es raramente menor de 5 ° C y puede soportar períodos de sequía que van de los 150 a los 210 días (Cox *et al.*, 1988; Ibarra *et al.*, 1995). Se adapta bien en suelos de textura migajón arenosa (Cox *et al.*, 1988). Armstrong *et al.*, (1993) mencionan que el zacate buffel es sensitivo a suelos ácidos y bajos en fósforo, el pH óptimo según Humphreys (1967) es aquel que varía entre siete y ocho. La germinación es afectada por la profundidad de siembra, recomendándose enterrar la semilla aproximadamente a 2 cm, así mismo la salinidad es un

factor determinante en la germinación de la semilla, ya que ésta se ve afectada cuando existen altas concentraciones de sales. Los cortes pueden efectuarse en un rango de 28 y 60 días a una altura de entre 5 y 15 cm para obtener un mayor rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Sitio Experimental

El presente trabajo se llevó a cabo a nivel invernadero durante el período julio-noviembre de 1996 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo Coahuila, con una latitud norte de 25° 22', una longitud oeste de 101° 00' y una altura sobre el nivel del mar de 1742 m.

Materiales

Residuo

El residuo industrial evaluado, cuya producción diaria se estima entre 10 y 15 t/día fue el micelio del hongo *Penicillium chrysogenum*, proporcionado por la compañía Fersinsa Gist-Brocades, productora de penicilina, ubicada en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

La composición de este residuo, que fue recolectado en marzo de 1996, se presenta en el Cuadro 3.1, donde puede observarse que este material es rico en fósforo y potasio además de poseer un alto contenido de proteína, a partir del cual se obtiene el de nitrógeno, que es de 8.95 por ciento.

Cuadro 3.1 Composición del residuo industrial empleado en esta investigación.

Compuesto o Elemento	g/kg de Materia Seca
Proteína	537
Grasa	51
Fibra	11
Otros carbohidratos	308
Total de compuestos orgánicos	907
Fósforo	14
Potasio	22
Calcio	6
Magnesio	2
Sodio	4

Suelo

El suelo empleado de textura migajón arenosa se obtuvo del ejido El Jazminal ubicado al sur del municipio Saltillo Coahuila y sus características son presentadas en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Características del suelo empleado

Característica	Método Empleado	Valor Obtenido
pH	Potenciométrico	8.20
Materia Orgánica (%)	Estimación	5.40
Nitrógeno (%)	Kjeldahl	0.27
Densidad Aparente (g/cm ³)	Probeta	1.16
Densidad de Sólidos (g/cm ³)	Picnómetro	2.45

Planta Indicadora

En la presente investigación se empleó al zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) como planta indicadora.

Métodos

El micelio así como el suelo fueron secados al aire y tamizados a 10 y 2 mm respectivamente para poder ser mezclados. Las macetas utilizadas fueron de plástico de 5 kg de capacidad y cada una de ellas constituyó una unidad experimental.

Las unidades experimentales fueron regadas durante 15 días antes de la siembra la cual se llevó a cabo el 24 de julio de 1996, colocando la semilla de zacate buffel a una profundidad aproximada de 2 cm al voleo; se realizaron

riegos para mantener la humedad a capacidad de campo y se llevó a cabo un aclareo para manejar un número homogéneo de plantas por cada unidad experimental.

Evaluación en Suelo

En el suelo se llevaron a cabo análisis químicos y físicos (detallados en el Cuadro 3.3) así como conteos microbiológicos. Estos últimos se realizaron por el método de dilución en placa, utilizando agar nutritivo para cuantificar las bacterias y papa dextrosa agar para cuantificar los hongos.

Cuadro 3.3 Características físicas y químicas evaluadas en suelo.

Determinación	Método
pH (1:2)	Potenciométrico
% de materia orgánica	Walkley/Black
% de carbonatos totales	Volumétrico
% de nitrógeno total	Estimación
mg/kg de fósforo	Olsen
mg/kg de potasio	Cobaltinitrito de Sodio
Conductividad eléctrica (dS/m)	Puente de Wheatstone
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente (g/cm ³)	Probeta
Densidad de sólidos (g/cm ³)	Picnómetro

Evaluación en Planta

Para llevar a cabo cada una de las determinaciones se realizaron tres cortes de pasto a una altura de 5 cm, el primero de ellos a los 60 días después de la siembra, el segundo a los 30 días después del primero y el tercero a los 30 días después del segundo.

Altura

Esta variable fue medida en centímetros, a partir de la superficie del suelo.

Peso Fresco y Peso Seco

Una vez realizado cada uno de los cortes, el pasto fue colocado en bolsas de papel y transportado al laboratorio en donde se llevó a cabo la determinación del peso fresco, posteriormente fue secado en estufa hasta peso constante. La unidad de medida empleada para ambos casos fue el gramo.

Proteínas

Una vez obtenido el peso seco del zacate, éste fue molido para llevar a cabo la determinación de nitrógeno mediante el método Kjeldahl, a partir del

cual se obtuvo el contenido de proteínas al multiplicar el resultado por el factor 6.25 de acuerdo con la AOAC (1984).

Tratamientos

En base a la composición del residuo en estudio y debido a su alto contenido de proteínas, se consideró que los niveles de 0, 25, 50 y 75 toneladas por hectárea de micelio eran adecuados para iniciar este tipo de trabajo de investigación.

Diseño Experimental

El diseño experimental empleado fue completamente al azar, evaluándose los 4 tratamientos con 6 repeticiones dando como total 24 unidades experimentales. El modelo estadístico empleado se describe a continuación:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots, t$ tratamientos

$j = 1, 2, \dots, r$ repeticiones para el i -ésimo tratamiento

$$\varepsilon_{ij} \sim N(\mu, \sigma^2)$$

Donde:

y_{ij} = Variable de respuesta del i -ésimo tratamiento en su repetición j -ésima.

μ = Media general o efecto general que es común a cada una de las unidades experimentales.

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = Error experimental, variable aleatoria a la cual se le asume distribución normal e independencia con media cero y varianza σ^2 constante.

La suma de cuadrados para el efecto de tratamientos se descompondrá en efectos más simples (por ser el factor en estudio de tipo cuantitativo) y así determinar el modelo de regresión polinomial que ajuste el comportamiento de la variable de interés (variable de respuesta) al cambio de nivel del factor en estudio. La variable dependiente será la variable de respuesta y la variable independiente la dosis o nivel de micelio.

El modelo completo de regresión polinomial es:

$$\bar{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \dots + \beta_{t-1} x_i^{t-1} + \varepsilon_i$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$\varepsilon_i \approx \text{NI}(\mathbf{0}, \sigma^2)$$

La metodología empleada para llevar a cabo el ajuste de regresión polinomial es la conocida como polinomios ortogonales, quedando el modelo anterior de la siguiente manera:

$$\bar{Y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 M_1 P_1(x_i) + \alpha_2 M_2 P_2(x_i) + \alpha_3 M_3 P_3(x_i) + \dots + \alpha_{t-1} M_{t-1} P_{t-1}(x_i) + \varepsilon_i$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$\varepsilon_i \approx \text{NI}(\mathbf{0}, \sigma^2)$$

Donde:

$$\alpha_0 = \bar{Y}_{..}, \text{ media general del experimento.}$$

$$\alpha_k = \frac{\sum c_{ki} Y_i}{r \times \sum c_{ki}^2}, \text{ siendo } c_{ki} \text{ coeficientes ortogonales.}$$

$$M_k = \text{Constante para el efecto } k.$$

$$P_k(x_i) = \text{Polinomio de grado } k \text{ que corresponde al efecto del mismo orden.}$$

Particularmente, para los efectos $k = 1, 2$ y 3 :

$$P_1(x_i) = \frac{x_i - \bar{x}}{d}$$

$$P_2(x_i) = \left(\frac{x_i - \bar{x}}{d} \right)^2 - \left(\frac{t^2 - 1}{12} \right)$$

$$P_3(x_i) = \left(\frac{x_i - \bar{x}}{d} \right)^3 - \left(\frac{3t^2 - 7}{20} \right) \left(\frac{x_i - \bar{x}}{d} \right)$$

Donde:

$P_1(x_i)$ = Polinomio de primer grado.

$P_2(x_i)$ = Polinomio de segundo grado.

$P_3(x_i)$ = Polinomio de tercer grado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación en Suelo

Los resultados obtenidos de los análisis físicos y químicos así como los biológicos de suelo, se presentan en los Cuadros 4.1 y 4.2, respectivamente.

Materia Orgánica

El contenido promedio de materia orgánica por tratamiento se presenta en la Figura 4.1 donde podemos observar que éste se incrementó de 4.20 a 4.66 por ciento al aumentar la dosis de residuo aplicado de 0 a 75 t/ha. El análisis de varianza no presentó diferencia significativa, sin embargo al descomponer la suma de cuadrados de tratamientos mediante polinomios ortogonales se observa un comportamiento lineal significativo, el cual puede apreciarse en el gráfico de predicción (Figura 4.2) obtenido a partir de la ecuación:

$$\widehat{Y}_i = 4.2325 + 0.00623334 x_i \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

$$0 \leq x_i \leq 75$$

$$R^2 = 95.71$$

Cuadro 4.1 Resultados* de los análisis físicos y químicos de suelo.

Tratamiento	pH	MO (%)	CO ₃ ⁼ (%)	CE (dS/m)	N _T (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Da (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)
1 (0 t/ha)	8.16	4.20	10.92	1.08	0.210	35.26	1446.74	1.16	2.53
2 (25 t/ha)	7.93	4.41	8.91	2.55	0.220	65.92	2900.86	1.12	2.40
3 (50 t/ha)	7.76	4.59	11.38	4.42	0.230	116.55	2794.08	1.13	2.47
4 (75 t/ha)	7.56	4.66	9.53	5.20	0.233	172.78	5501.99	1.09	2.55

MO: Materia orgánica. CO₃⁼: Carbonatos totales. CE: Conductividad eléctrica. N_T: Nitrógeno total. P: Fósforo. K: Potasio. Da: Densidad aparente. Ds: Densidad de sólidos.

* Resultados promedio de 6 repeticiones.

Cuadro 4.2 Resultados* de los análisis microbiológicos de suelo.

Tratamientos	Bacterias (ufc/g de suelo)	Hongos (ufc/g de suelo)
1 (0 t/ha)	13.83 x 10 ⁵	3.46 x 10 ⁴
2 (25 t/ha)	61.66 x 10 ⁵	2.63 x 10 ⁴
3 (50 t/ha)	36.66 x 10 ⁵	7.66 x 10 ⁴
4 (75 t/ha)	46.66 x 10 ⁵	10.0 x 10 ⁴

ufc: Unidades formadoras de colonias.

* Resultados promedio de 6 repeticiones.

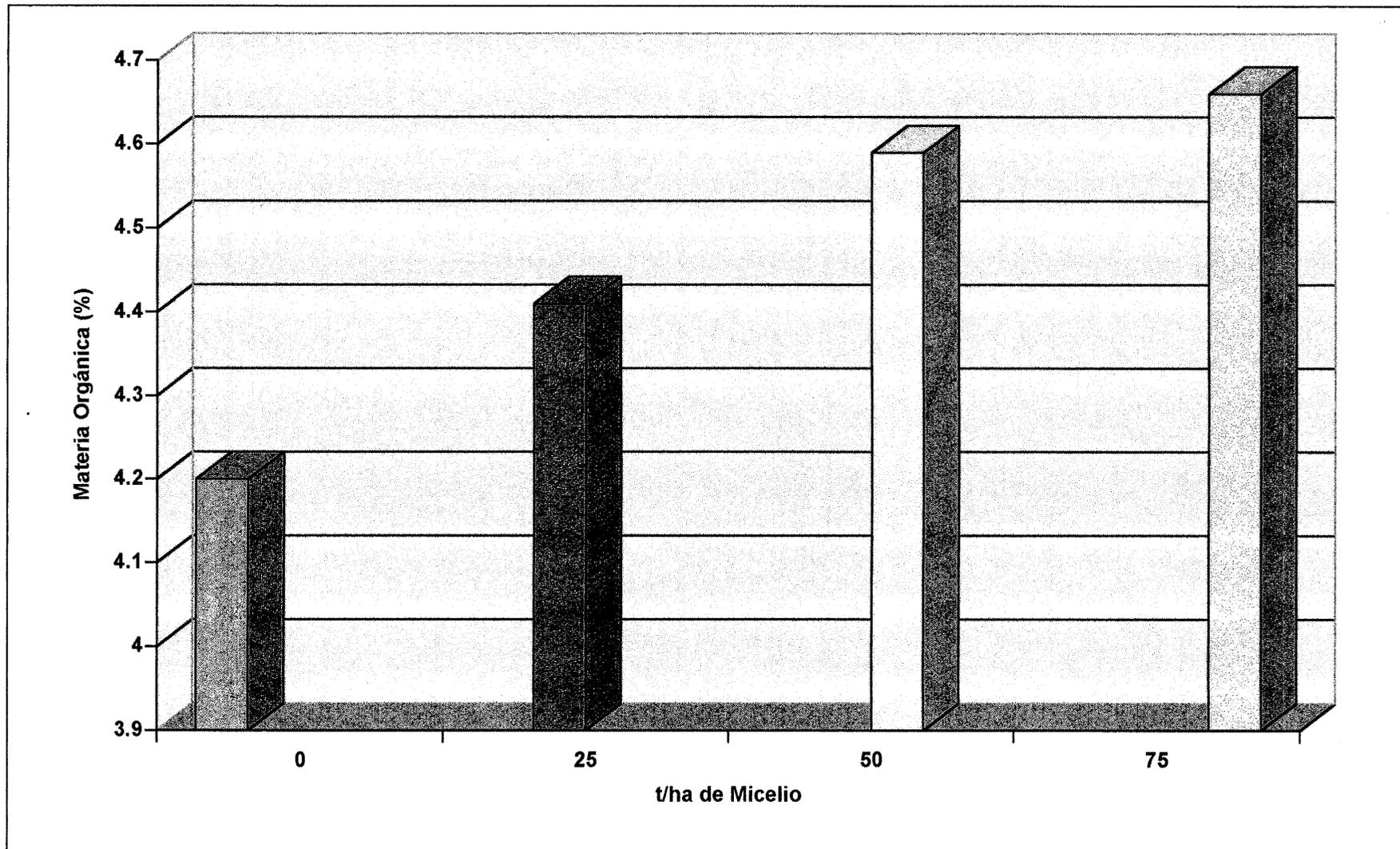


Figura 4.1 Contenido medio de materia orgánica en el suelo en respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

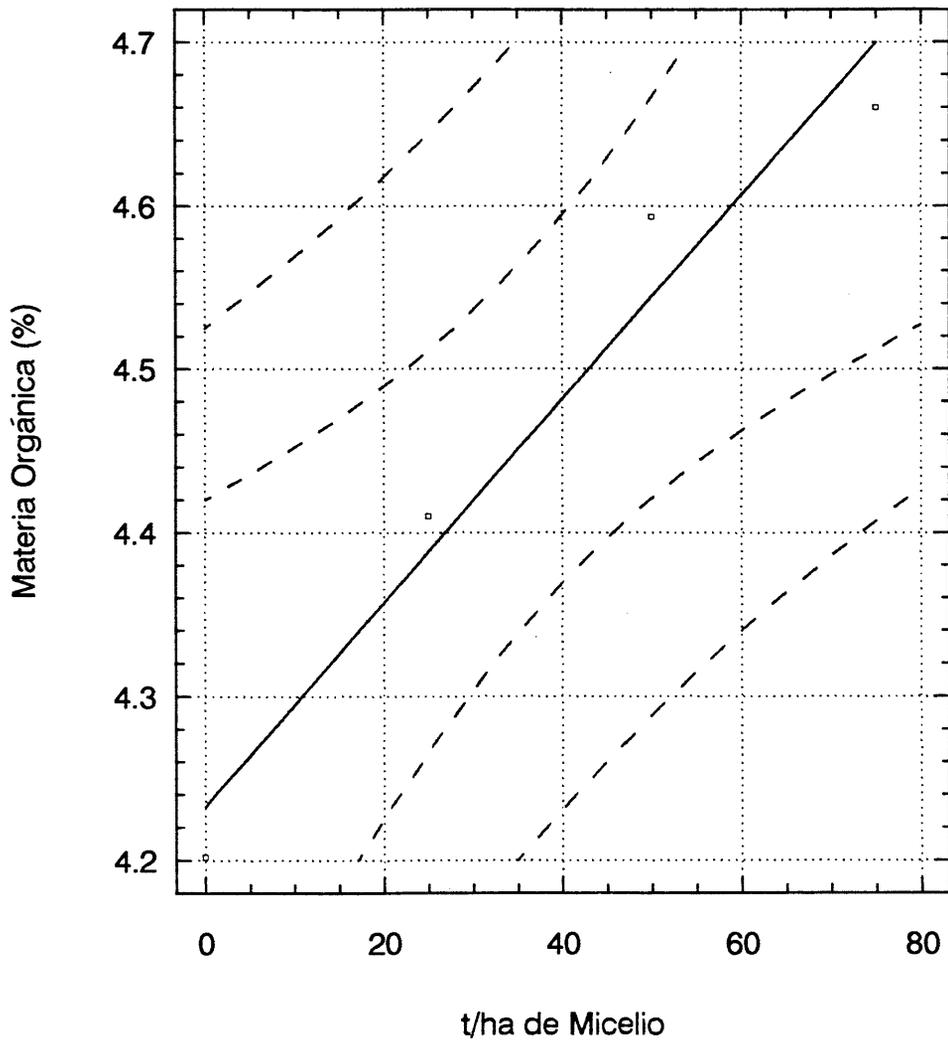


Figura 4.2 Gráfico de predicción para materia orgánica del suelo

Donde:

\hat{Y}_i = Media estimada para la dosis x_i

R^2 = Coeficiente de determinación medido en por ciento

De acuerdo a la Ec. 4.1 y a las Figuras 4.1 y 4.2, es claro que se obtiene un incremento en el contenido de materia orgánica al incrementar la dosis de micelio, lo cual repercutirá en diversas propiedades del suelo, como lo son: estructura, densidad aparente, retención de humedad, regulación de cambios en el pH, así como en la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Narro, 1994; Candelaria *et al.*, 1995), además de que favorecerá a la población microbiana.

Con una sola aplicación del residuo evaluado y en un tiempo de 4 meses el incremento en el contenido de materia orgánica fue de 0.46 por ciento (diferencia entre los valores medios 4.20 y 4.66). Lo anterior sobrepasa los resultados obtenidos por Bevacqua y Mellano en 1994, ya que con una aplicación acumulativa de lodos biológicos después de dos años lograron aumentar el contenido de materia orgánica de 0.77 a 1.50 por ciento, lo que representa un incremento del 0.73 por ciento.

pH

El pH promedio de suelo disminuyó de 8.16 (medianamente alcalino) a 7.56 (ligeramente alcalino) cuando la dosis de residuo empleado se incrementó de 0 a 75 t/ha de acuerdo a la Figura 4.3. Su análisis de varianza mostró una diferencia altamente significativa entre tratamientos, así como un comportamiento lineal significativo (Figura 4.4) al ajustar su ecuación de predicción que es:

$$\widehat{Y}_i = 8.1445 - 0.00788666 x_i \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

$$0 \leq x_i \leq 75$$

$$R^2 = 99.73$$

Donde:

$$\widehat{Y}_i = \text{Media estimada para la dosis } x_i$$

$$R^2 = \text{Coeficiente de determinación medido en por ciento}$$

El valor de pH, de acuerdo a la Ec. 4.2, así como a las Figuras 4.3 y 4.4, disminuye al incrementar la dosis de micelio aplicado. El efecto sobre esta característica del suelo es positivo ya que la mayoría de los cultivos brindan un mayor rendimiento y calidad a valores de pH cercanos a la neutralidad, debido

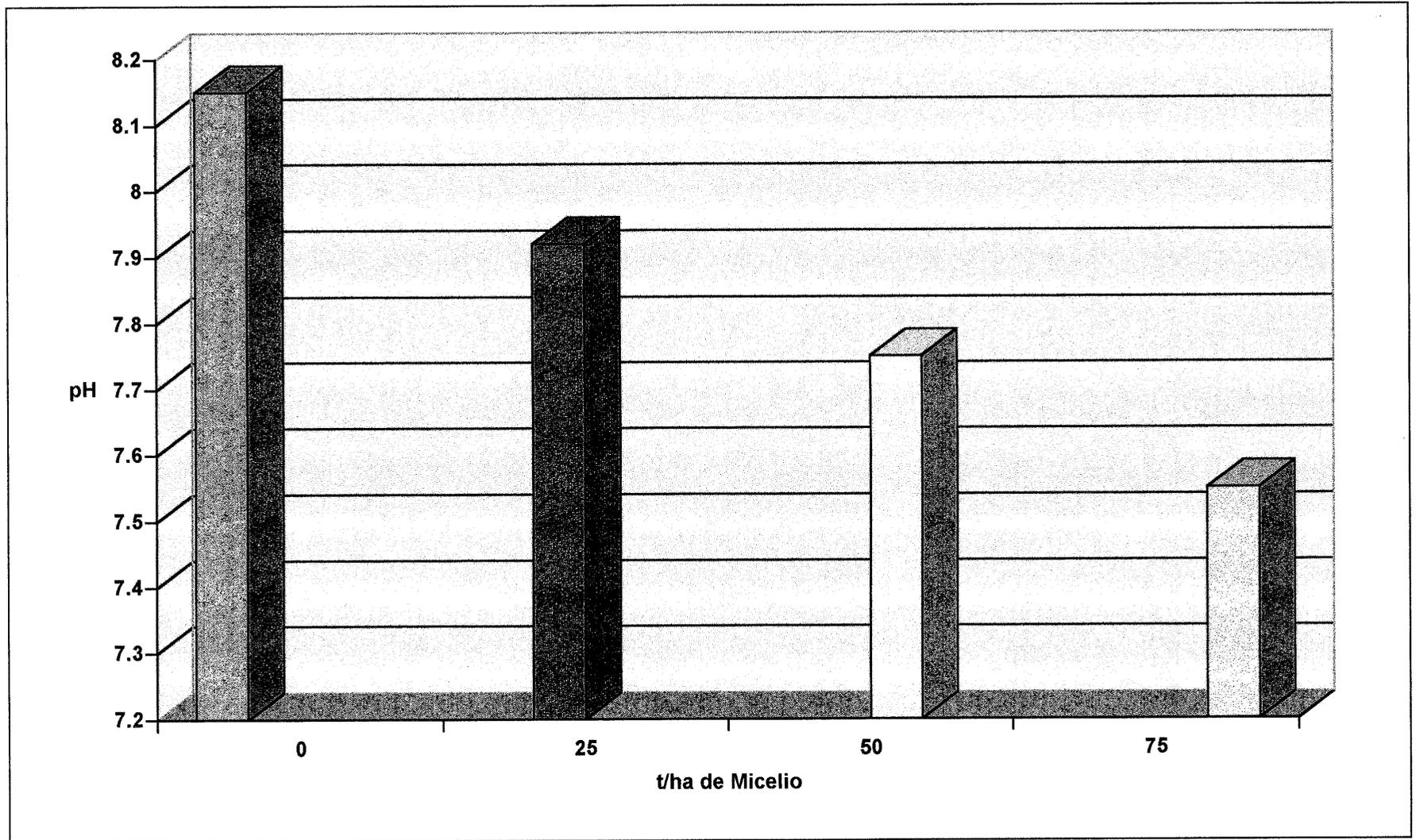


Figura 4.3 Valores medios de pH del suelo obtenidos mediante la adición de micelio de *P. chrysogenum*

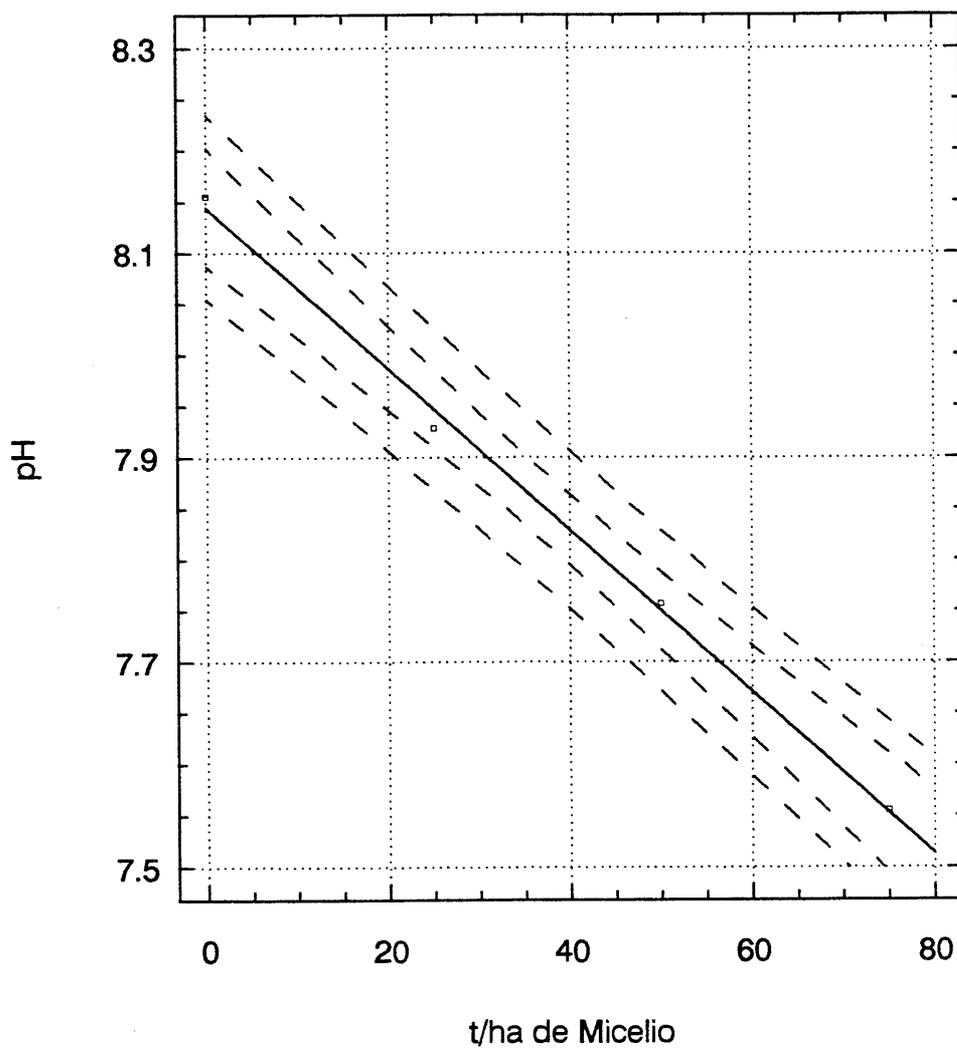


Figura 4.4 Gráfico de predicción para pH de suelo

a que en estas condiciones los elementos nutrimentales se encuentran en formas disponibles para las plantas.

De acuerdo a Bevacqua y Mellano (1994), el pH disminuye de 7.7 a 7.4 después de dos años al aplicar una dosis acumulada de 74 MT/ha de lodos biológicos; algo similar se presenta al aplicar las cenizas de este tipo de residuos según Bierman y Rosen (1994), ya que los valores de pH disminuyen en suelos incubados durante 280 días. Mientras que al evaluar cenizas de industrias eléctricas Huang *et al.*, (1992) encontraron que el pH se incrementa de 6.32 a 7.27 y de 5.75 a 7.17.

Carbonatos

El contenido promedio de carbonatos totales en el suelo, (Figura 4.5) de acuerdo a su análisis de varianza no fue afectado significativamente por los tratamientos, así mismo al descomponer la suma de cuadrados de tratamientos mediante polinomios ortogonales, tampoco se encontró significancia alguna.

Los valores obtenidos más elevados fueron 10.92 por ciento y 11.38 por ciento cuando se aplicaron 0 y 50 t/ha de residuo respectivamente, mientras que al aplicar 25 y 75 t/ha se observaron valores promedio de 8.91 y 9.53 por ciento.

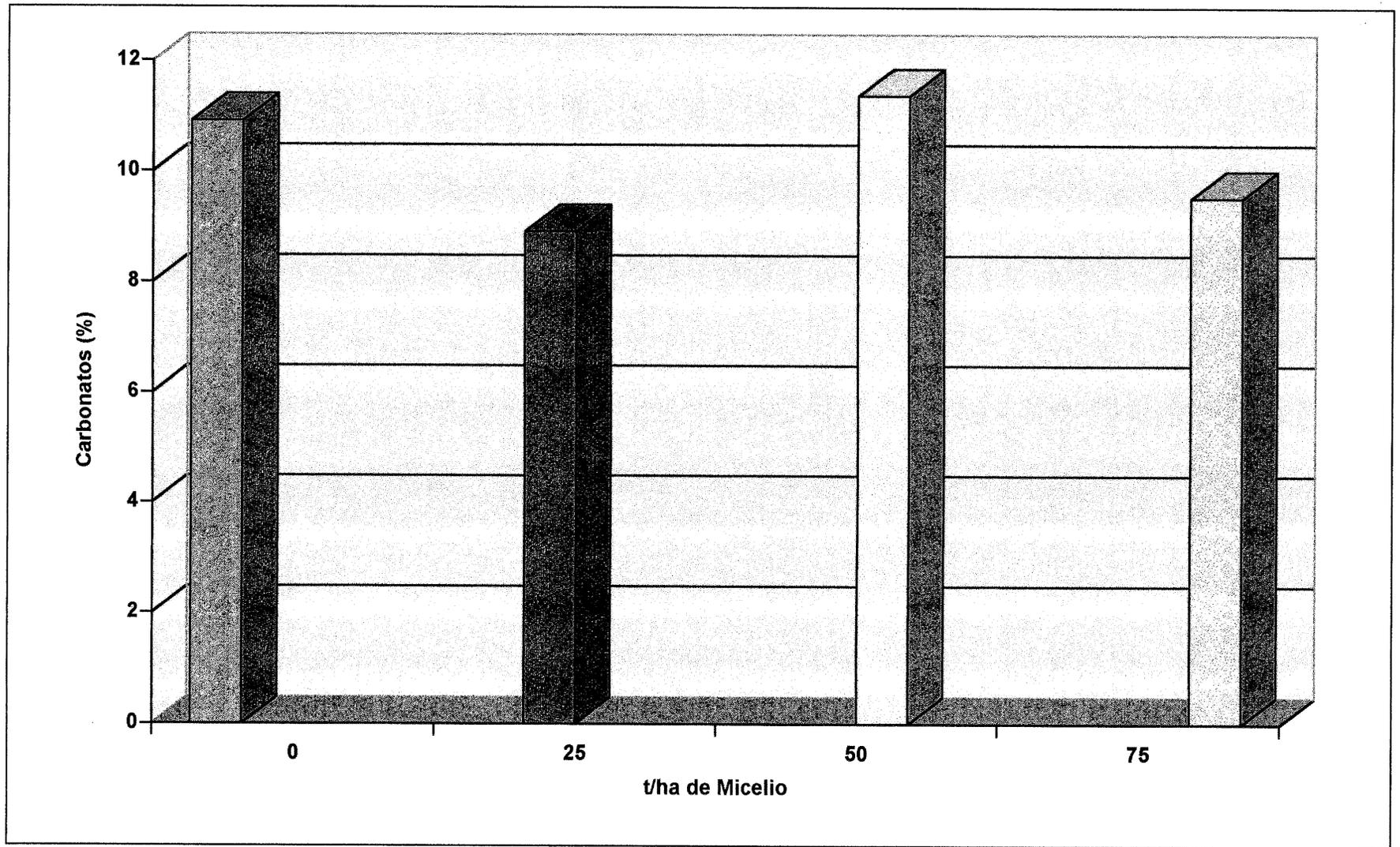


Figura 4.5 Contenido medio de carbonatos en suelo en respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

Conductividad Eléctrica

En cuanto a la conductividad eléctrica se observó una diferencia altamente significativa entre tratamientos, así como un comportamiento lineal altamente significativo al llevar a cabo el ajuste mediante regresión polinomial, el cual da lugar a la Figura 4.6 mediante la ecuación de predicción 4.3.

$$\widehat{Y}_i = 1.17583 + 0.05695 x_i \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

$$0 \leq x_i \leq 75$$

$$R^2 = 97.80$$

Donde:

\widehat{Y}_i = Media estimada para la dosis x_i

R^2 = Coeficiente de determinación medido en por ciento

Es claro que la conductividad eléctrica se incrementa al aumentar el contenido de micelio (Figura 4.7) de acuerdo a la Ec. 4.3 y a las figuras antes mencionadas. El incremento obtenido de 1.08 a 5.20 dS/m, lo cual nos lleva de un suelo no salino a uno de mediana salinidad, representa un efecto negativo sobre esta característica y es similar a los resultados obtenidos por Candelaria *et al.*, (1995) al evaluar lodos biológicos ya que la aplicación de

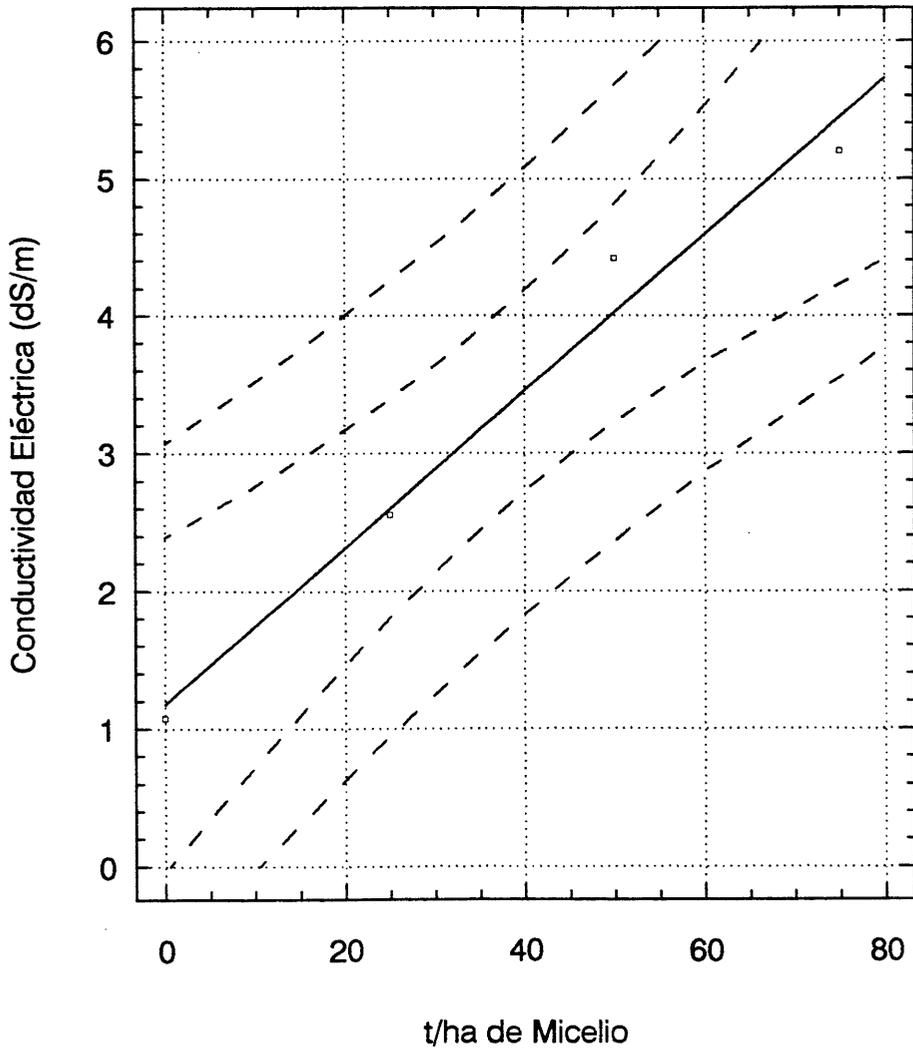


Figura 4.6 Gráfico de predicción para conductividad eléctrica del suelo

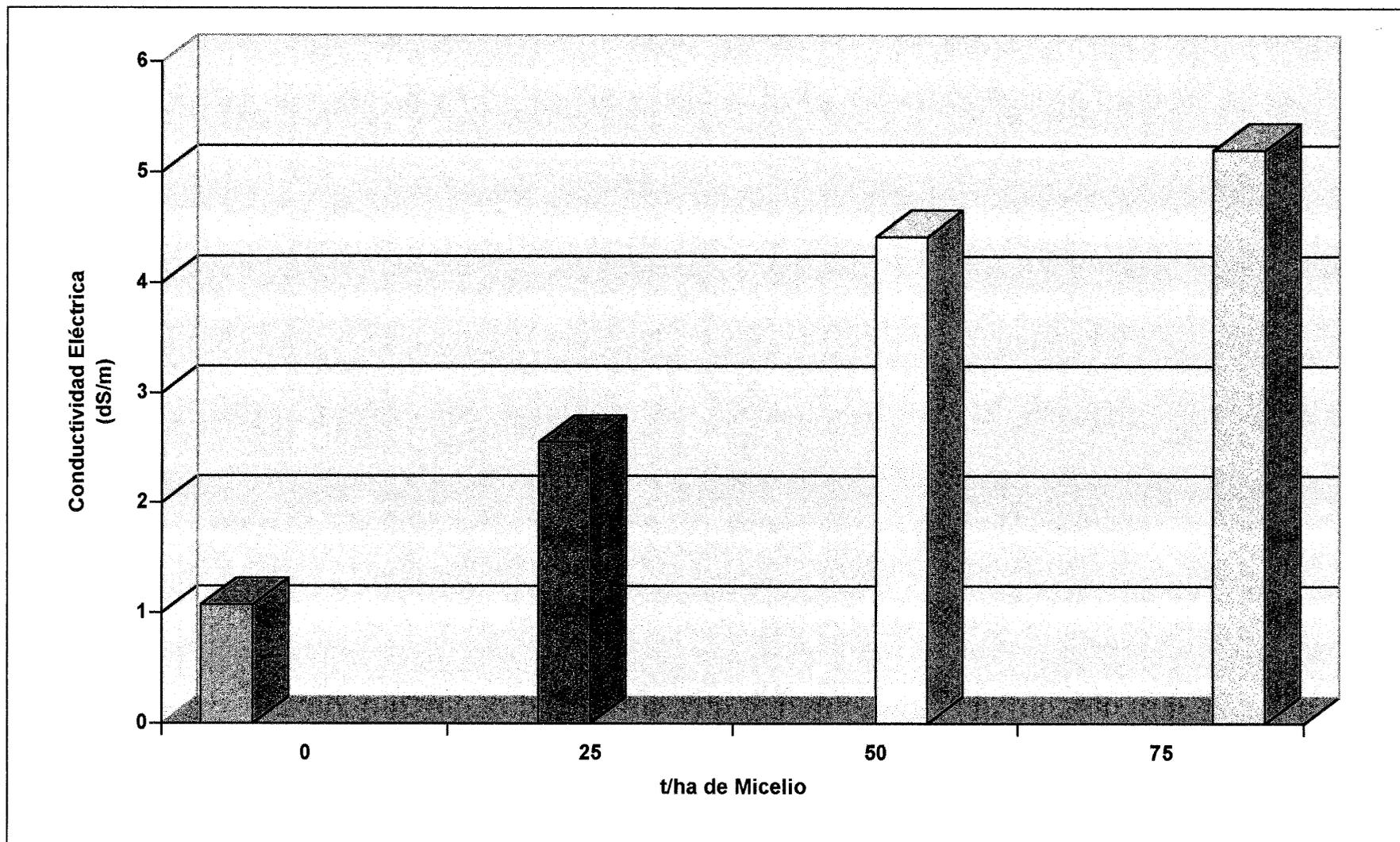


Figura 4.7 Conductividad eléctrica del suelo en respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

éstos incrementó la conductividad eléctrica en menor proporción de 3.07 a 3.69 dS/m.

Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y reproducción de las plantas, ya que es el principal constituyente de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila y alcaloides.

En el presente estudio el contenido promedio de nitrógeno total en el suelo presenta un incremento que va de 0.210 hasta 0.233 por ciento al aplicarse mayores cantidades de residuo (Figura 4.8). A pesar de lo anterior, al realizarse el análisis de varianza no se encontró diferencia significativa entre tratamientos, pero al llevarse a cabo la descomposición de su suma de cuadrados, mediante polinomios ortogonales, se presentó un comportamiento lineal significativo como puede observarse en la Figura 4.9, y cuya ecuación de predicción es:

$$\widehat{Y}_i = 0.211625 + 0.000311672 x_i \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

$$0 \leq x_i \leq 75$$

$$R^2 = 95.71$$

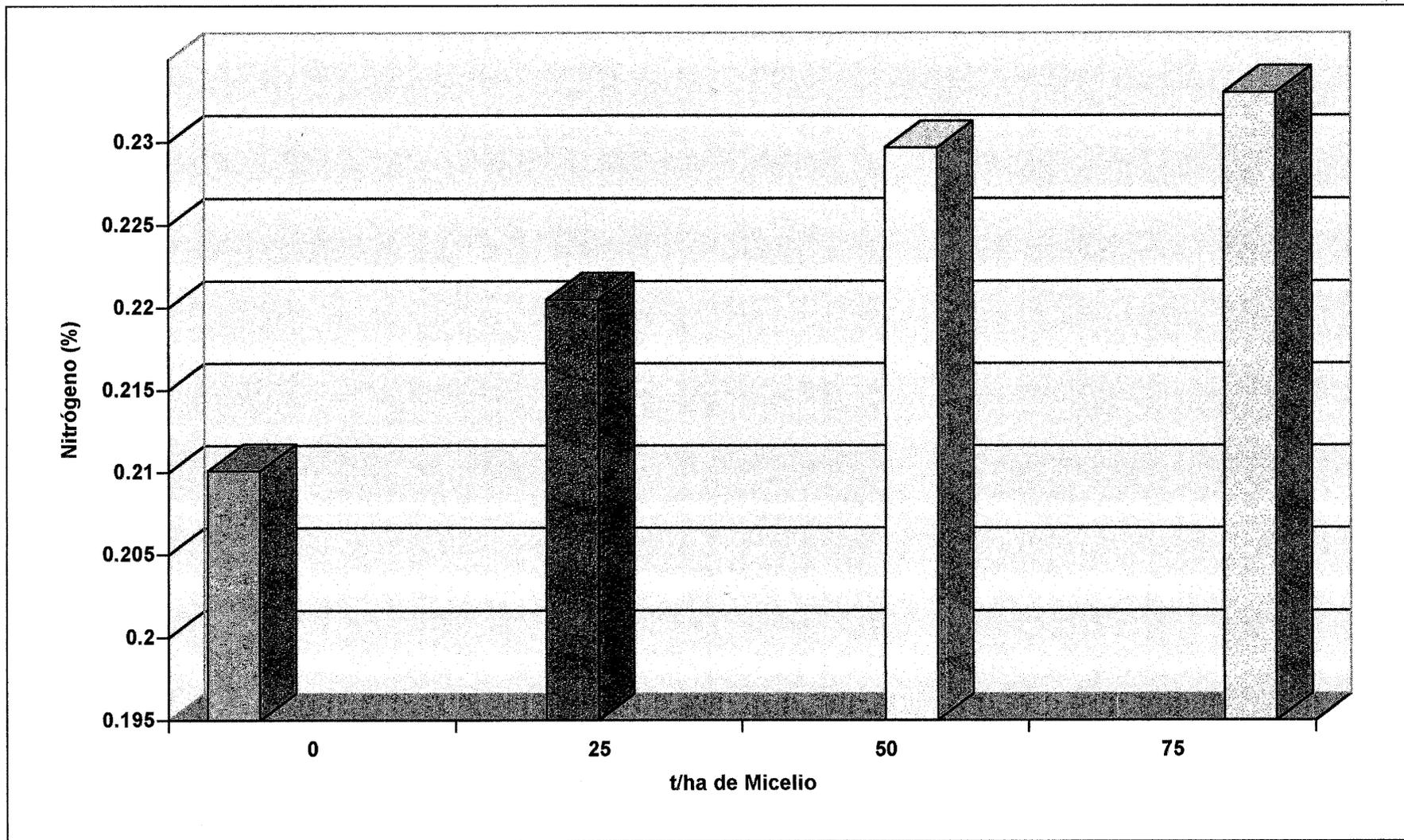


Figura 4.8 Contenido medio de nitrógeno en el suelo como respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

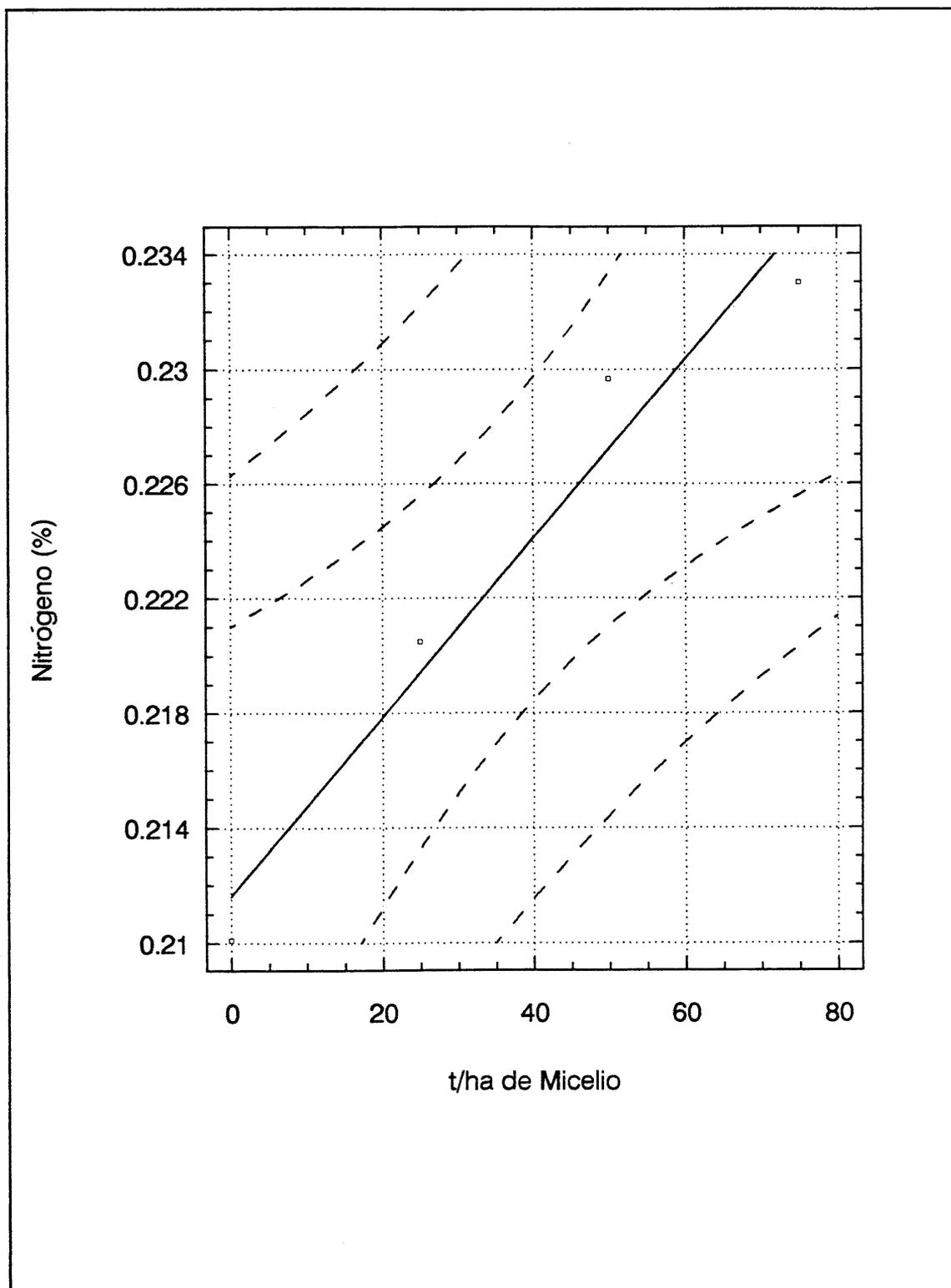


Figura 4.9 Gráfico de predicción para nitrógeno en el suelo

Donde:

\widehat{Y}_i = Media estimada para la dosis x_i

R^2 = Coeficiente de determinación medido en por ciento

De acuerdo a la Ec. 4.4 y a las Figuras 4.8 y 4.9, es claro que se obtiene un incremento en el contenido porcentual de nitrógeno del suelo al incrementar la dosis de micelio aplicado, lo cual es un resultado positivo, ya que la mayoría de los suelos son pobres en el contenido de este elemento, por lo cual se hace necesaria su aplicación en grandes cantidades debido a que es fácilmente lixiviado.

Fósforo

El contenido promedio de fósforo disponible de acuerdo al método Olsen aumentó de 35.26 a 172.78 mg/kg, como puede observarse en la Figura 4.10, presentando diferencia altamente significativa entre tratamientos, los cuales al descomponer su suma de cuadrados mostraron un comportamiento cuadrático significativo (Figura 4.11), dando lugar a la siguiente ecuación:

$$\widehat{Y}_i = 34.537167 + 1.085754 x_i + 0.010228 x_i^2 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

$$0 \leq x_i \leq 75$$

$$R^2 = 99.72$$

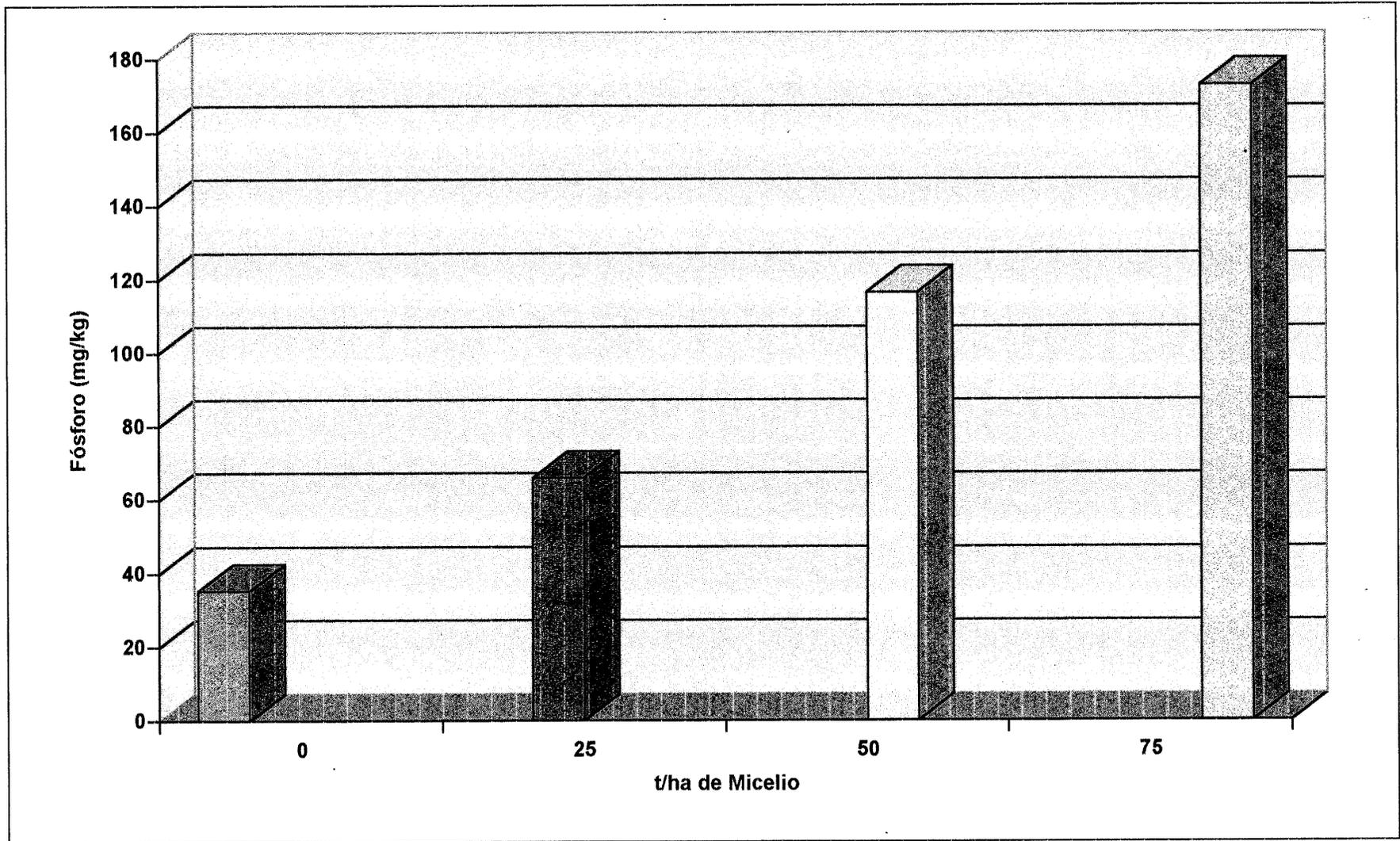


Figura 4.10 Contenido medio de fósforo en el suelo como respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

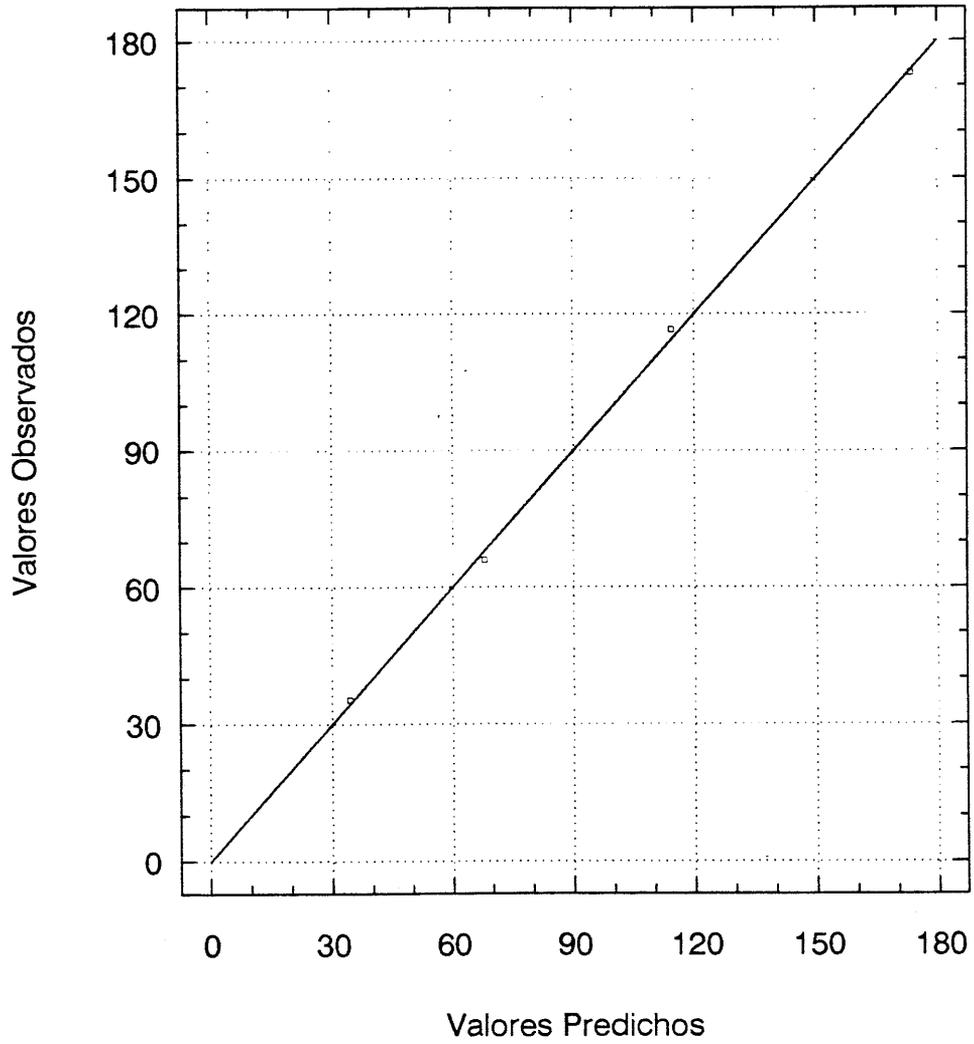


Figura 4.11 Gráfico de valores observados y valores de predicción para fósforo en el suelo.

Donde:

\widehat{Y}_i = Media estimada para la dosis x_i

R^2 = Coeficiente de determinación medido en por ciento

El incremento en el contenido de fósforo disponible al aumentar la dosis de residuo aplicado es claro de acuerdo con la Ec. 4.5. Lo anterior puede deberse a que al aumentar la materia orgánica del suelo y modificar el pH, mediante la incorporación del micelio, las condiciones se vieron favorecidas para el incremento de la población microbiana, la que a su vez llevó a cabo la mineralización de los compuestos fosfatados contenidos en el residuo, mediante la descomposición de los materiales orgánicos para así obtener energía.

Los valores obtenidos en este trabajo nos llevan a una clasificación que va de un suelo con contenido medio de fósforo disponible (35.26 mg/kg) en el tratamiento 1 (0 t/ha) a un suelo rico en este elemento con 65.92, 116.55 y 172.78 mg/kg cuando se aplicaron 25, 50 y 75 t/ha de micelio, respectivamente.

Lo anterior es similar a lo obtenido por Cavallaro *et al.*, (1993) con la aplicación de lodos biológicos, ya que al aplicar 8, 16 y 24 MT/ha se encontraron 80, 160 y 242 kg/ha de fósforo. Así mismo el empleo de cenizas

obtenidas a partir de los materiales anteriores (Bierman y Rosen, 1994) y de cenizas obtenidas de industrias eléctricas (Huang *et al.*, 1992) incrementan el fósforo disponible.

Potasio

El análisis de varianza mostró diferencia significativa entre tratamientos y el contenido promedio de potasio (Figura 4.12) mostró una tendencia al incremento conforme se aumenta la dosis de residuo evaluado. En el tratamiento 1 (0 t/ha de residuo) se obtuvo un promedio de 1446.74 mg/kg de potasio, mientras que al aplicar 75 t/ha de residuo se encontró un contenido de 5501.99 mg/kg, lo que representa un incremento del 380.30 por ciento.

Al descomponer la suma de cuadrados de los tratamientos se obtuvo un comportamiento lineal altamente significativo como se observa en la Figura 4.13 y que se obtiene mediante la ecuación:

$$\widehat{Y}_i = 1352.07 + 48.2359 x_i \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

$$0 \leq x_i \leq 75$$

$$R^2 = 84.34$$

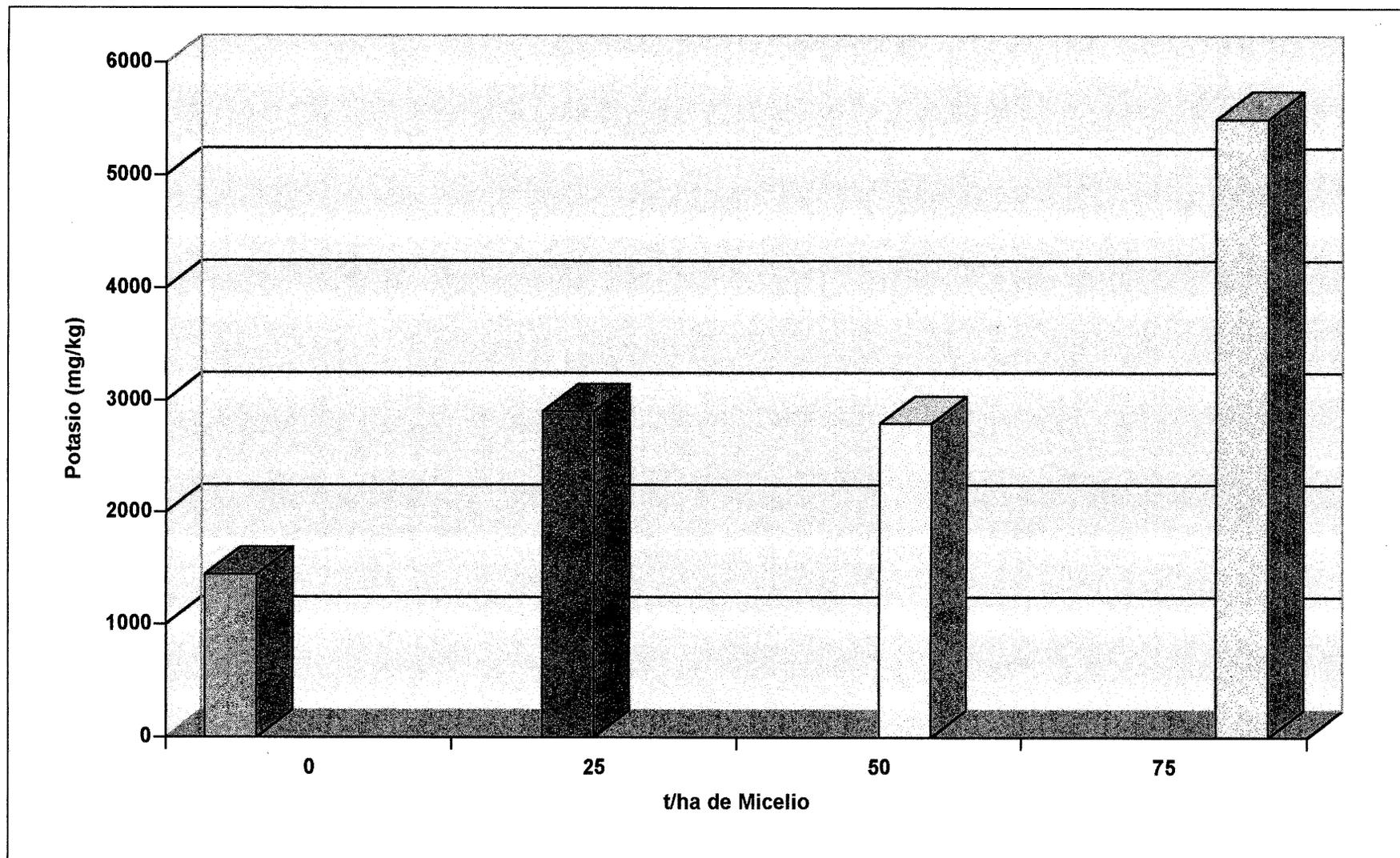


Figura 4.12 Contenido medio de potasio en el suelo como respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

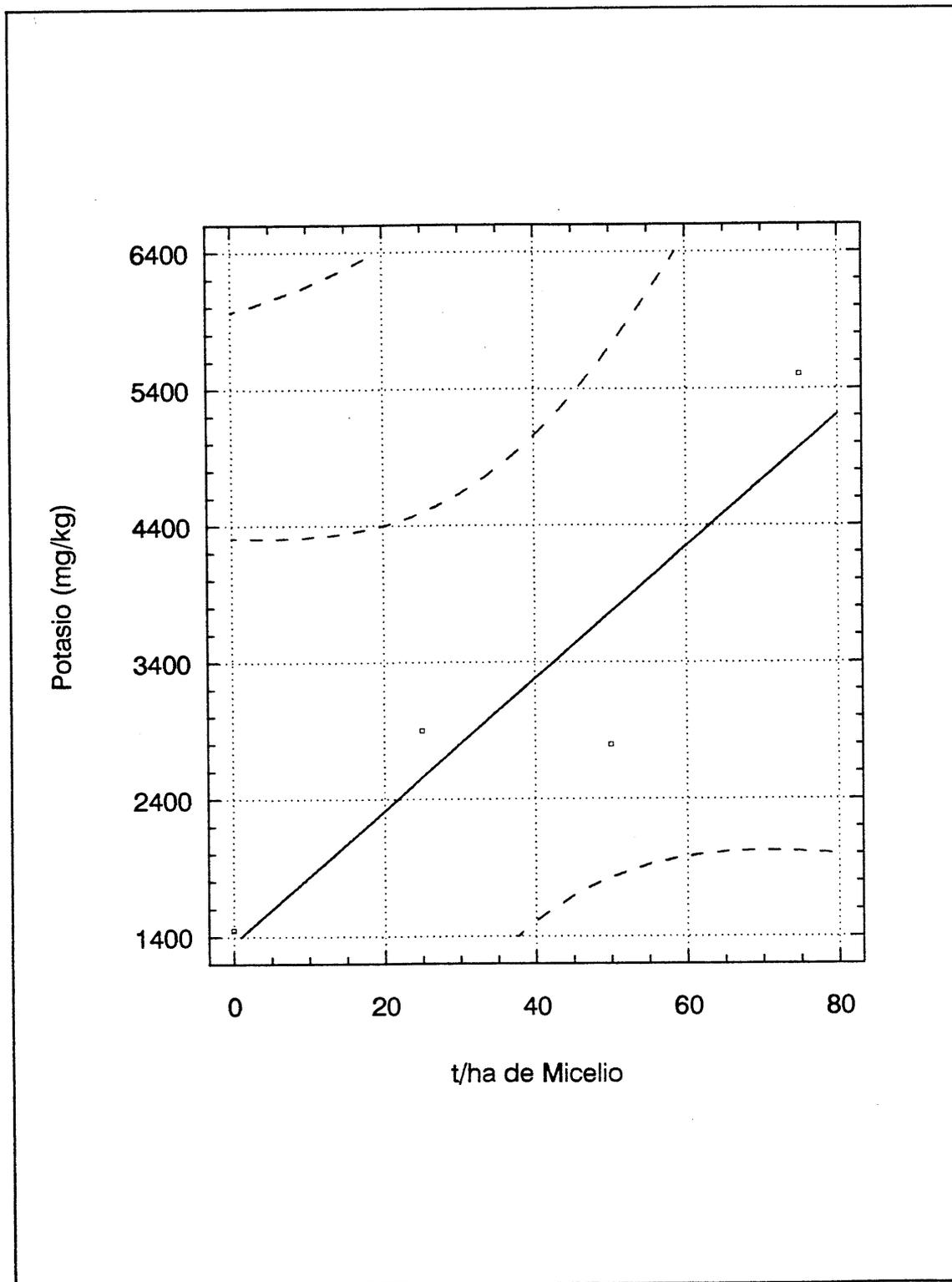


Figura 4.13 Gráfico de predicción para potasio en el suelo

Donde:

\hat{Y}_i = Media estimada para la dosis x_i

R^2 = Coeficiente de determinación medido en por ciento

De acuerdo con la Ec. 4.6 y las Figuras 4.12 y 4.13, se obtiene claramente un incremento en el contenido de potasio al aumentar la dosis de micelio aplicado.

Densidad Aparente

El incremento de residuo aplicado de 0 a 75 t/ha disminuyó la densidad aparente promedio del suelo de 1.16 a 1.09 g/c³ respectivamente (Figura 4.14), mostrando lo anterior diferencia altamente significativa, así como un comportamiento cúbico significativo al realizar el ajuste mediante regresión polinomial (Figura 4.15) y cuya ecuación es:

$$\hat{Y}_i = 1.16 - 0.003478 x_i + 0.0001 x_i^2 - 8.888747E-7 x_i^3 \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

$$0 \leq x_i \leq 75$$

Donde:

\hat{Y}_i = Media estimada para la dosis x_i

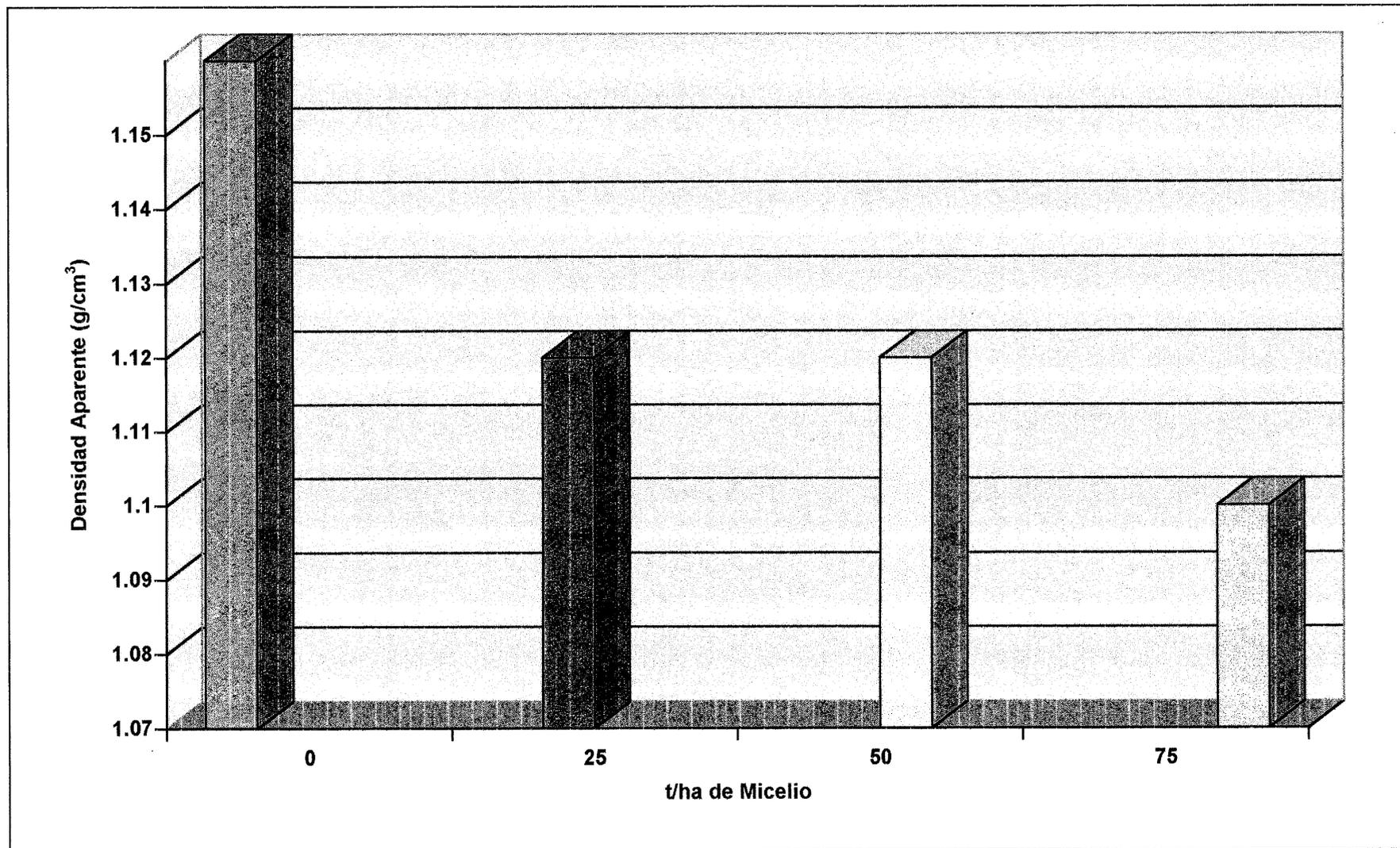


Figura 4.14 Respuesta del suelo en cuanto a densidad aparente a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

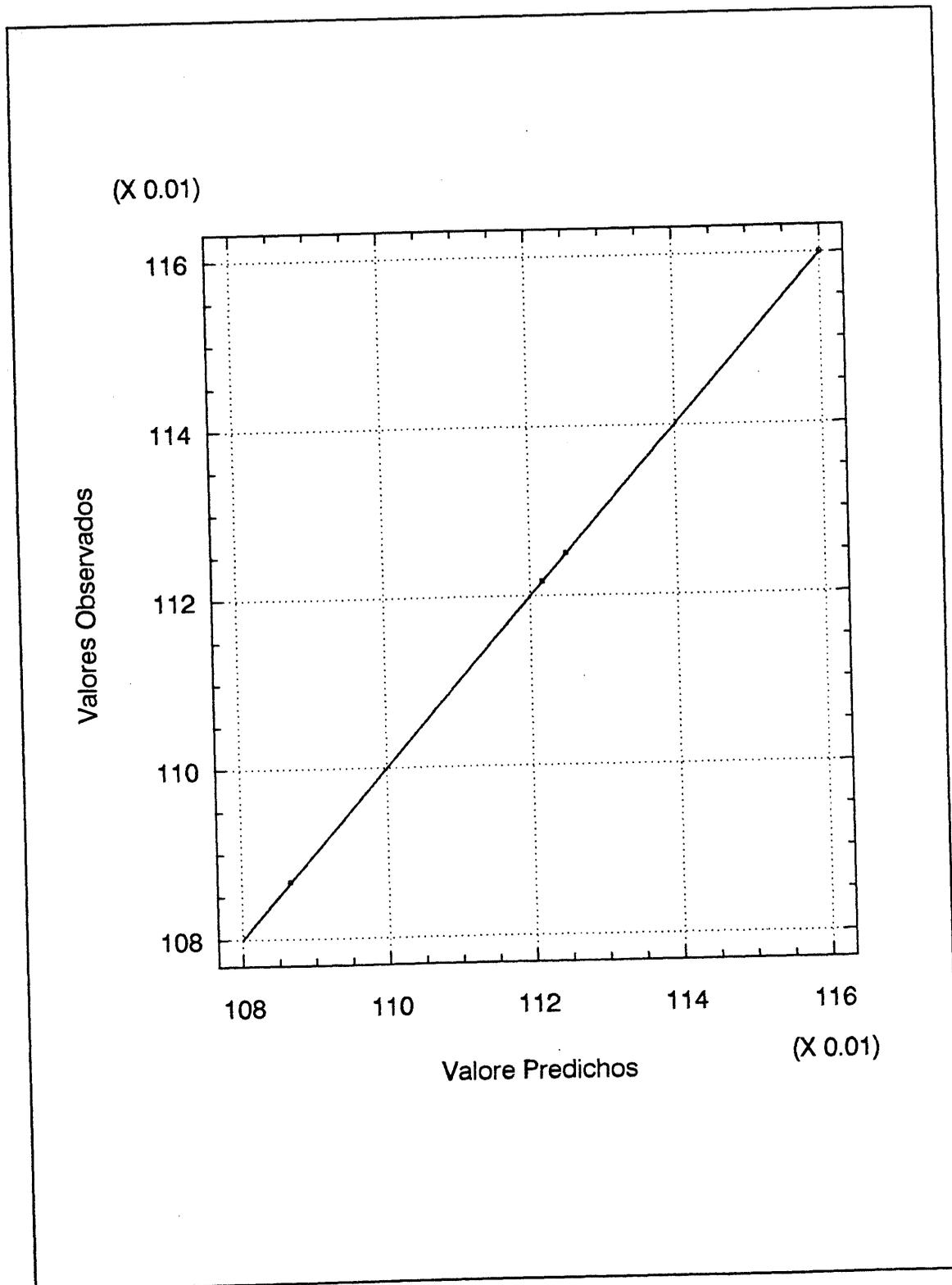


Figura 4.15 Gráfico de valores observados y valores de predicción para densidad aparente de suelo.

Basándonos en la Ec. 4.7 y las Figuras 4.14 y 4.15 es claro que el incremento de la dosis de micelio aplicada disminuye la densidad aparente del suelo.

Lo anterior puede atribuirse al cambio de condiciones que sufrió el suelo en cuanto a grado de acidez, contenido de nutrimentos en forma total (nitrógeno) y en forma disponible (como es el caso del fósforo y potasio), así como al incremento en la población microbiana del suelo. El mayor contenido de bacterias y hongos pudo modificar la materia orgánica incorporada mediante el residuo y así llevar a cabo la formación de materiales cementantes, los cuales influyen en la formación de agregados teniendo como consecuencia un aumento en la porosidad y por lo tanto una disminución en la densidad aparente.

Densidad de Sólidos

En cuanto a los valores obtenidos de densidad de sólidos del suelo (Figura 4.16) el análisis de varianza, no presentó diferencia significativa entre los tratamientos ni al descomponer su suma de cuadrados mediante polinomios ortogonales. En base a lo anterior no se presenta ecuación de predicción. Sin embargo, se observa una pequeña disminución de los valores obtenidos para

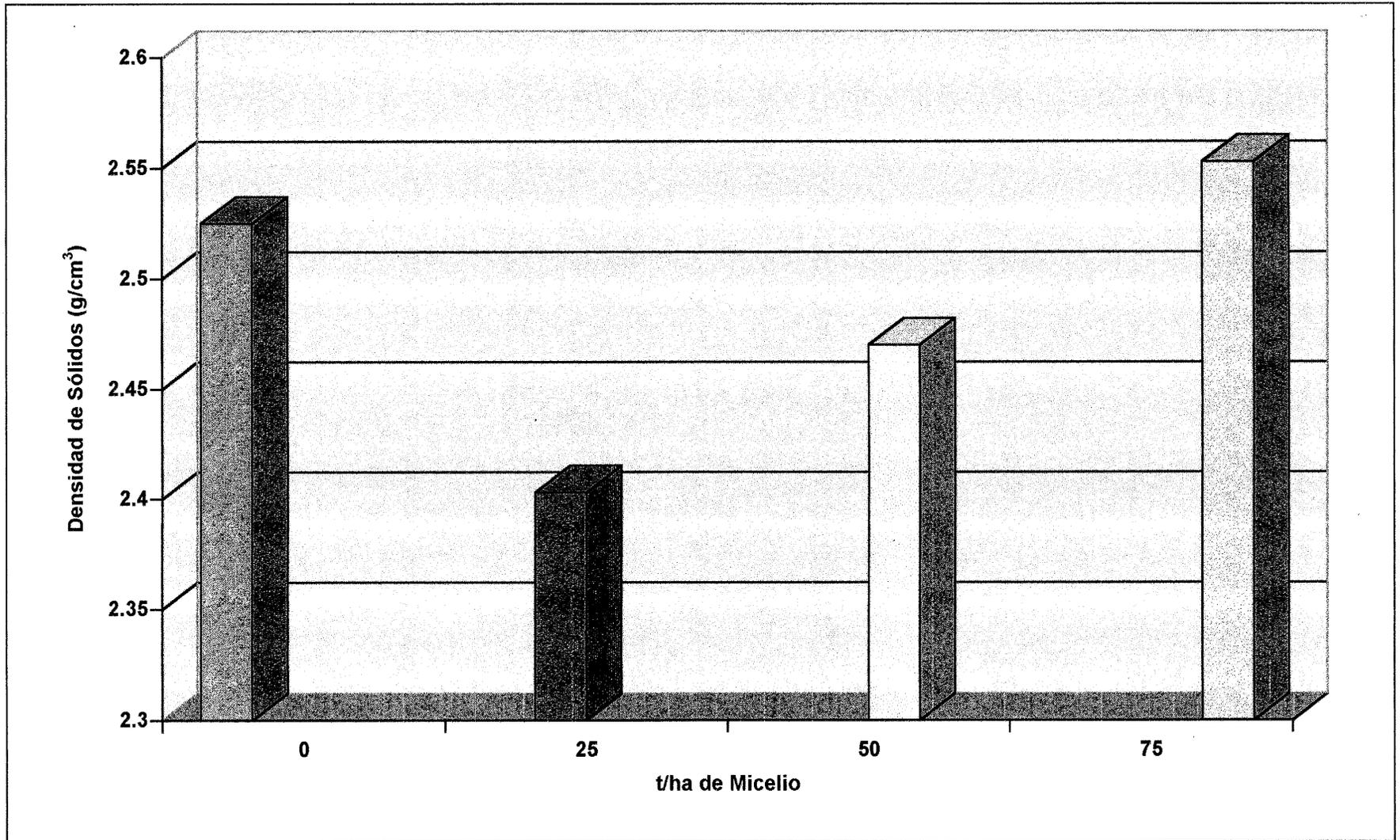


Figura 4.16 Respuesta del suelo en cuanto a densidad de sólidos a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

esta característica que va de 2.53 g/cm³ en el tratamiento 1 (0 t/ha) a 2.40 y 2.47 g/cm³ en los tratamientos 2 (25 t/ha micelio) y 3 (50 t/ha), respectivamente.

Población Microbiana

La aplicación de las diferentes dosis de residuo repercutió de manera significativa sobre la población microbiana del suelo en estudio.

En cuanto a bacterias, los valores medios encontrados (Figura 4.17) fluctuaron de 13.83×10^5 ufc/g de suelo en el tratamiento 1 (0 t/ha de residuo) hasta 61.66×10^5 bacterias por gramo de suelo, cuando se aplicaron 25 t/ha.

Al descomponer la suma de cuadrados de tratamientos mediante un ajuste de regresión polinomial se obtuvo un comportamiento significativo de tercer grado, dando origen a la ecuación 4.8 y a la Figura 4.18.

$$\widehat{Y}_i = 1.383333E6 + 4.807778E5 x_i - 1.445333E4 x_i^2 + 115.022224 x_i^3$$

(Ecuación 4.8)

$$0 \leq x_i \leq 75$$

Donde:

$$\widehat{Y}_i = \text{Media estimada para la dosis } x_i$$

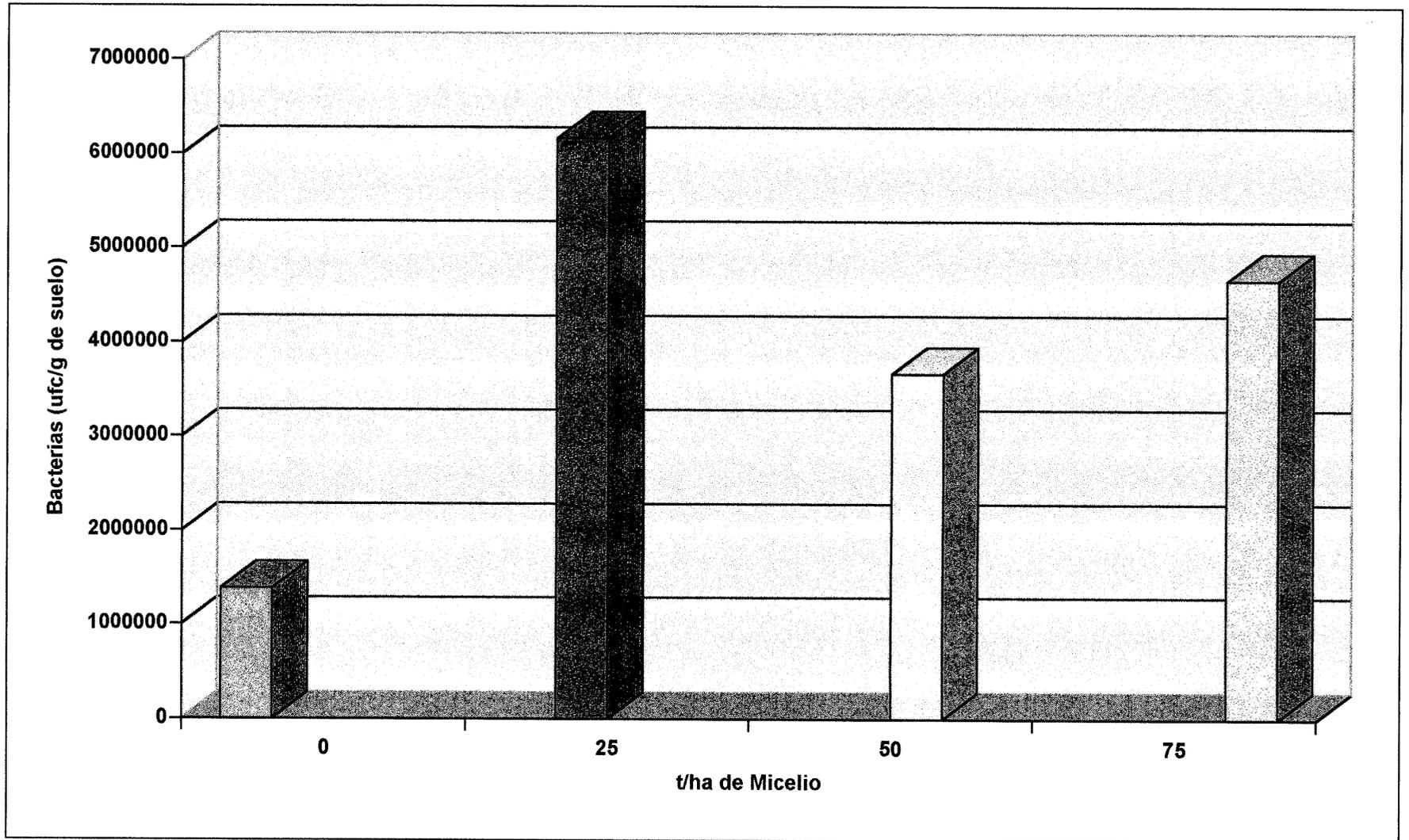


Figura 4.17 Respuesta de la población bacteriana a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

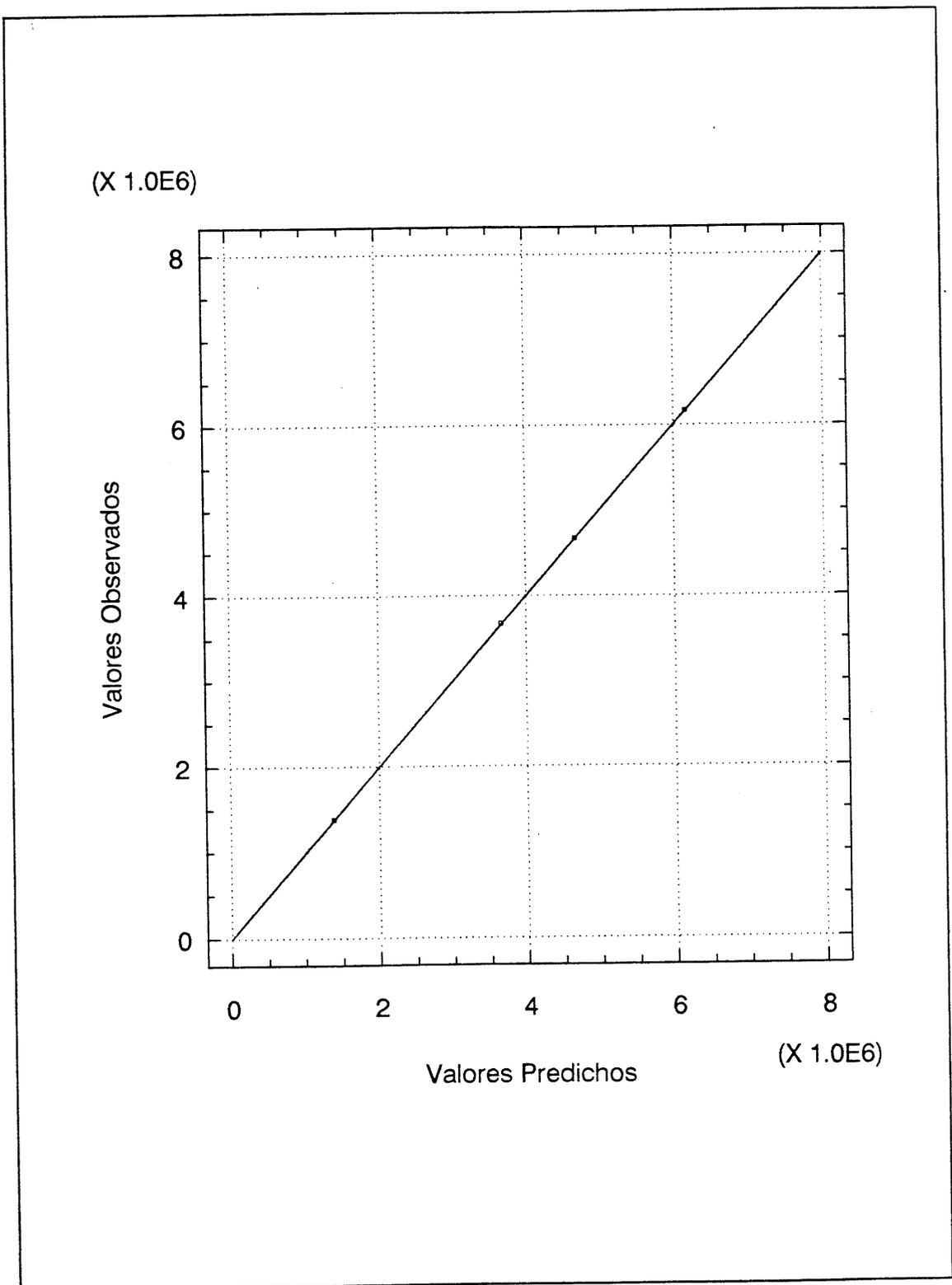


Figura 4.18 Gráfico de valores observados y valores de predicción para población bacteriana del suelo.

En relación a la población fúngica, se encontró que conforme se aumenta la cantidad de residuo, el número de hongos tiende a aumentar (Figura 4.19), así cuando se aplicaron 25 t/ha se observó un número promedio de 2.63×10^4 ufc/g de suelo y cuando la dosis de residuo fue de 75 t/ha la población se incrementó a 10.0×10^4 ufc/g de suelo, lo anterior mostró diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se llevó a cabo el ajuste de regresión polinomial obteniéndose un comportamiento lineal altamente significativo (Figura 4.20) y cuya ecuación es:

$$\widehat{Y}_i = 22466.7 + 985.333 x_i \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

$$0 \leq x_i \leq 75$$

$$R^2 = 83.09$$

Donde:

$$\widehat{Y}_i = \text{Media estimada para la dosis } x_i$$

$$R^2 = \text{Coeficiente de determinación medido en por ciento}$$

El número y tipo de microorganismos presentes en un suelo depende de varios factores como su fertilidad, el grado de acidez, la temperatura y la humedad, entre otros. Las bacterias generalmente se desarrollan en condiciones que van de la neutralidad a la alcalinidad, mientras que los hongos

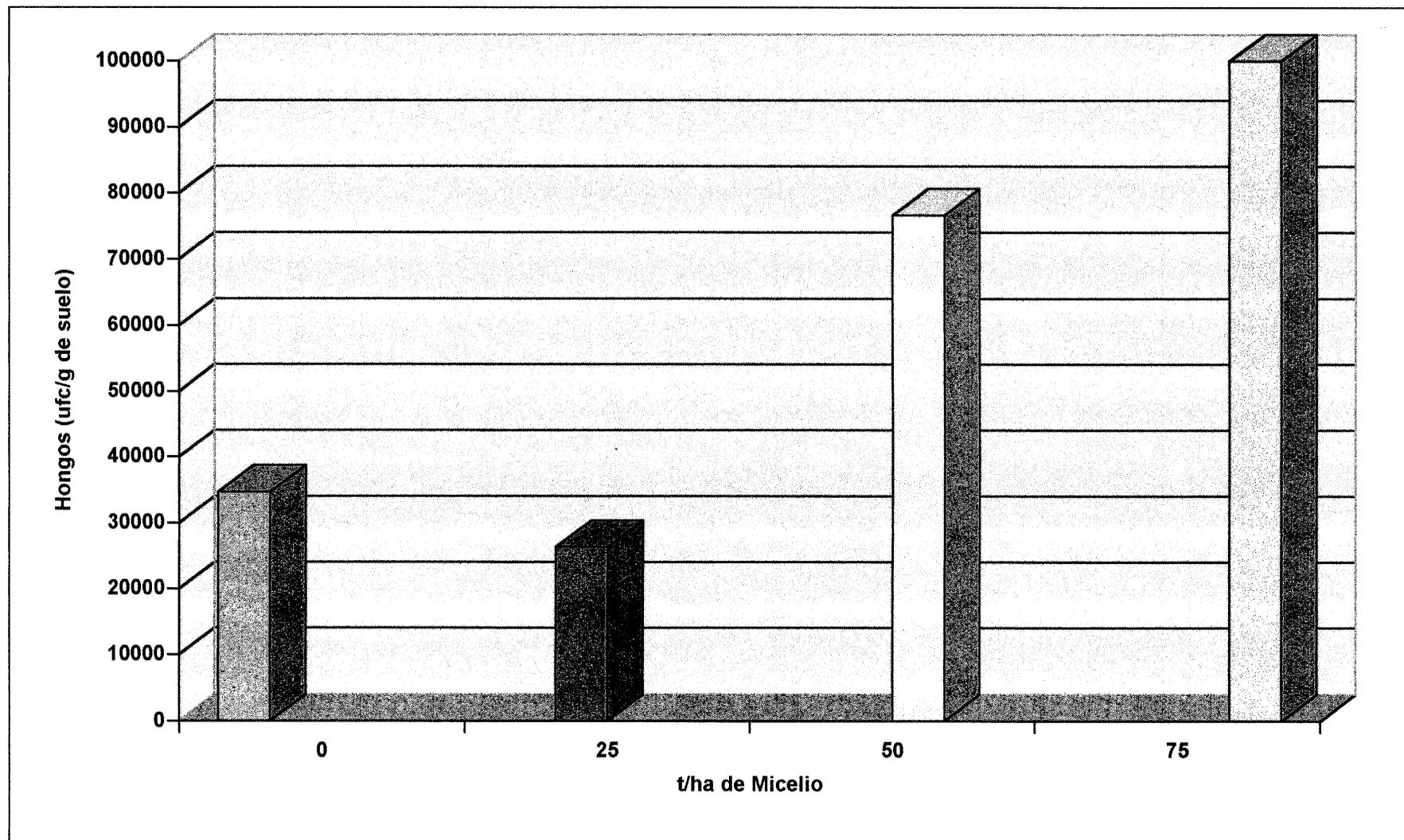


Figura 4.19 Respuesta de la población fúngica a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

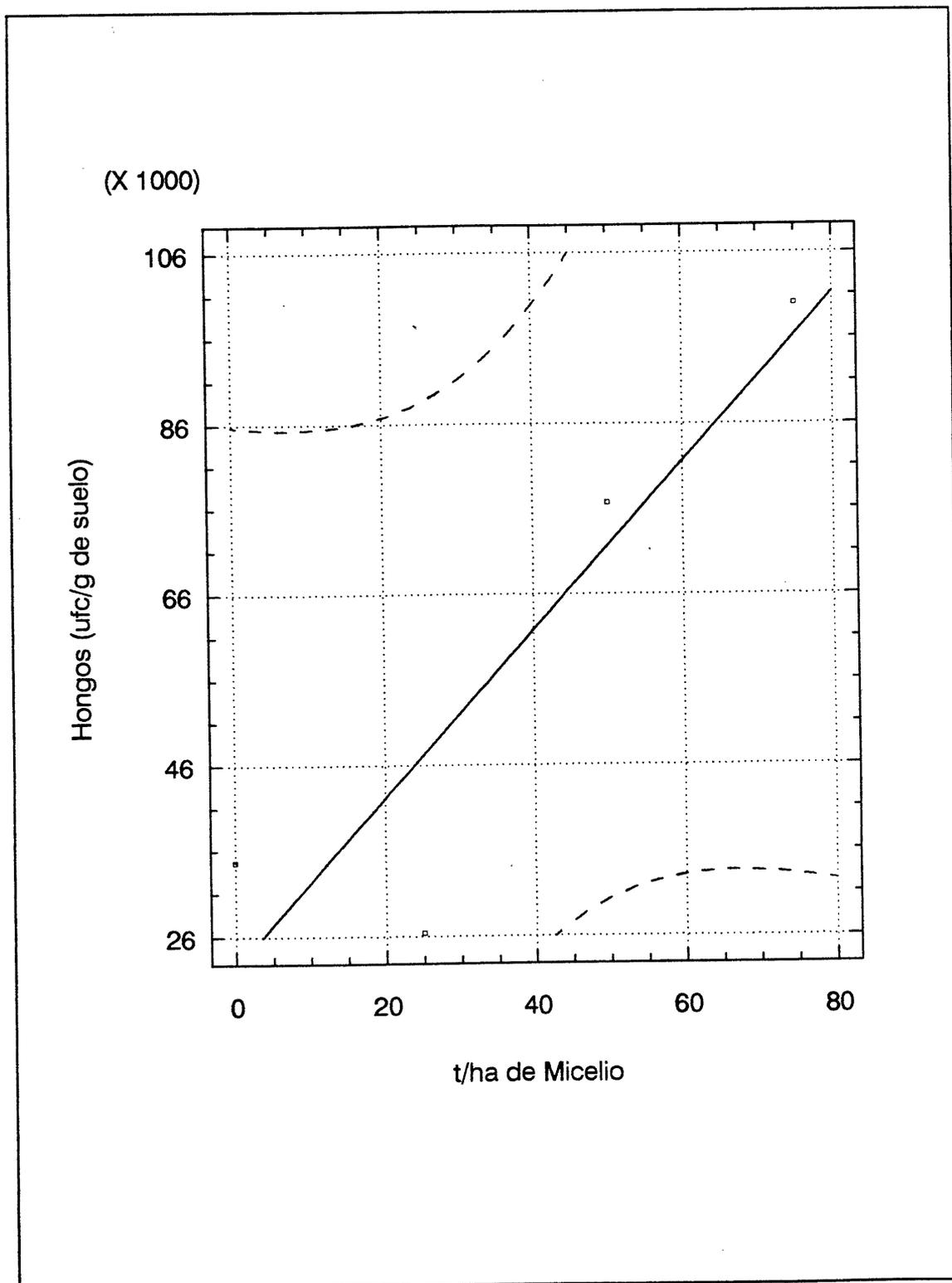


Figura 4.20 Gráfico de predicción para la población fúngica del suelo

se ven favorecidos bajo condiciones ácidas. En nuestro estudio la aplicación del residuo evaluado modificó el pH e incrementó la materia orgánica del suelo, lo que probablemente estableció condiciones propicias para el desarrollo microbiano. Estas condiciones son benéficas tanto para la nutrición de plantas, como para la agregación del suelo, ya que los productos derivados de su metabolismo pueden ser elementos en forma disponible o bien poseer efectos cementantes.

Evaluación en Planta

Los resultados de los análisis de zacate buffel llevados a cabo se presentan en el Cuadro 4.3

Altura

Los valores promedios de altura del pasto en los tres cortes realizados se muestran en la Figura 4.21.

En el primer corte, se obtuvieron plantas con altura promedio muy similar, por lo que estadísticamente no hubo diferencia significativa. En el tratamiento 1 (0 t/ha de residuo) se presentó la altura promedio más pequeña siendo ésta de 76.04 cm, mientras que la mayor, 82.42 cm, se observó cuando la aplicación

del residuo fue de 25 t/ha (tratamiento 2).

Cuadro 4.3 Resultados de las evaluaciones en zacate buffel.

Característica	Tratamiento 1 (0 t/ha)	Tratamiento 2 (25 t/ha)	Tratamiento 3 (50 t/ha)	Tratamiento 4 (75 t/ha)
Altura (cm)				
1 ^{er} Corte	76.04	82.42	77.38	81.70
2 ^o Corte	44.16	60.46	57.66	52.85
3 ^{er} Corte	34.33	44.58	47.20	41.70
Peso Fresco (g)				
1 ^{er} Corte	18.08	37.38	28.18	41.36
2 ^o Corte	9.93	26.03	15.87	16.88
3 ^{er} Corte	8.03	18.95	14.90	18.92
Peso Seco (g)				
1 ^{er} Corte	2.60	7.08	3.53	5.98
2 ^o Corte	0.93	3.53	1.87	2.04
3 ^{er} Corte	1.25	3.15	2.37	3.20
Proteína (%)				
1 ^{er} Corte	14.59	14.45	17.72	17.34
2 ^o Corte	22.25	21.54	22.22	24.16
3 ^{er} Corte	22.26	25.70	26.60	25.69

En el segundo corte la altura promedio fue menor que en el primero, pero en esta ocasión sí se encontró diferencia significativa entre tratamientos. De nueva cuenta el valor promedio menor se encontró en el tratamiento

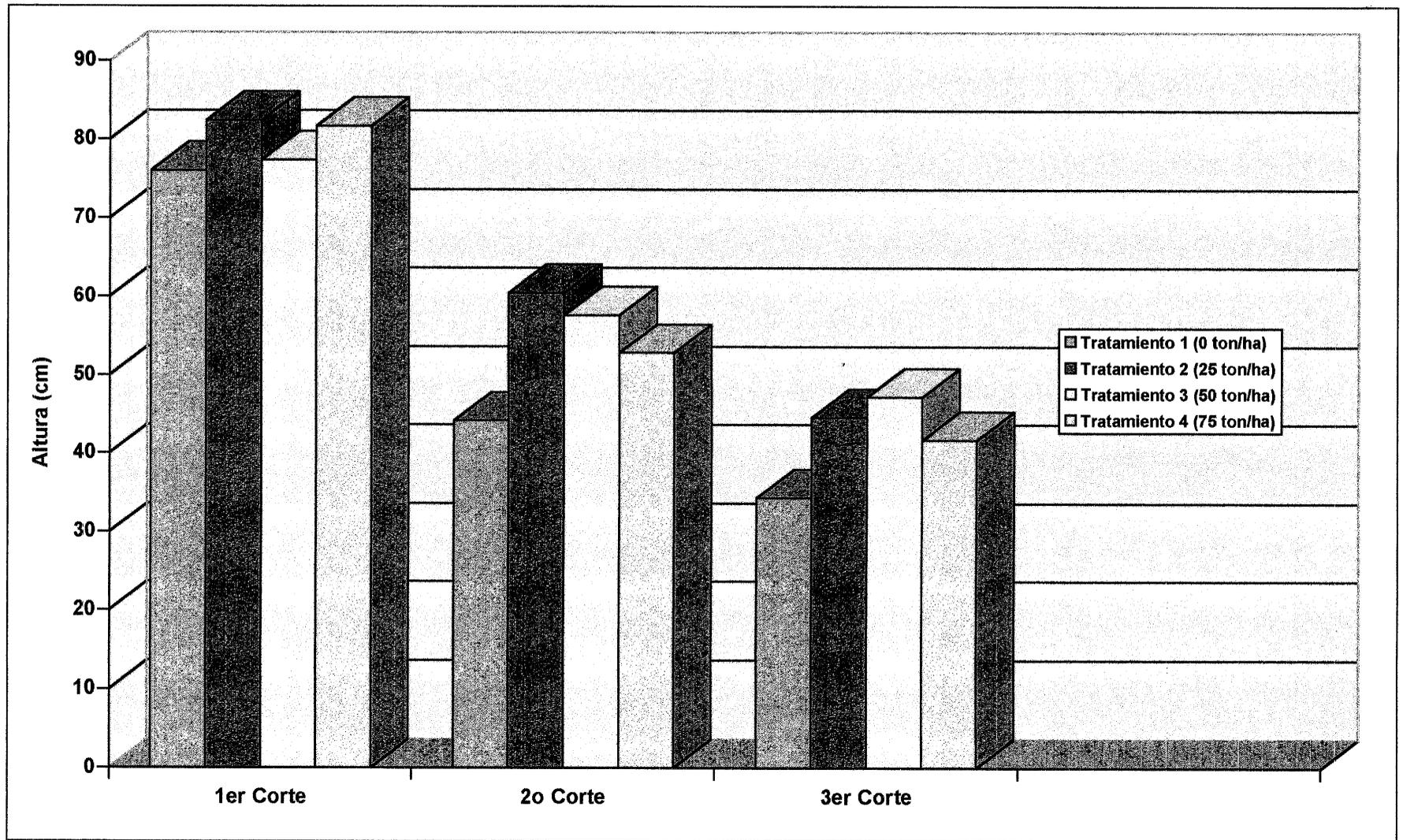


Figura 4.21 Valores medios de altura del zacate buffel como respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

correspondiente a 0 t/ha de residuo, ya que solamente se alcanzó una altura de 44.16 cm y la mayor altura promedio se observó nuevamente al aplicar 25 t/ha de residuo, siendo ésta de 60.46 cm.

Para el tercer corte, el promedio de altura en planta fue menor que en los dos anteriores, pero aún así presentó diferencia significativa entre los tratamientos aplicados, obteniéndose una diferencia de 12.87 cm entre el tratamiento 1, donde la altura promedio fue de 34.33 cm y el tratamiento 3 (50 t/ha de residuo), en el que el promedio de altura fue de 47.20 cm.

La disminución de altura encontrada entre los tres cortes puede ser debido a que el tiempo de recuperación entre corte y corte fue menor en los dos últimos, ya que el primero se realizó a los 60 días después de la siembra y el segundo y tercero se llevaron a cabo a los 30 días del primer corte y del segundo.

Peso Fresco

El peso fresco promedio obtenido en los tres cortes se presenta en la Figura 4.22.

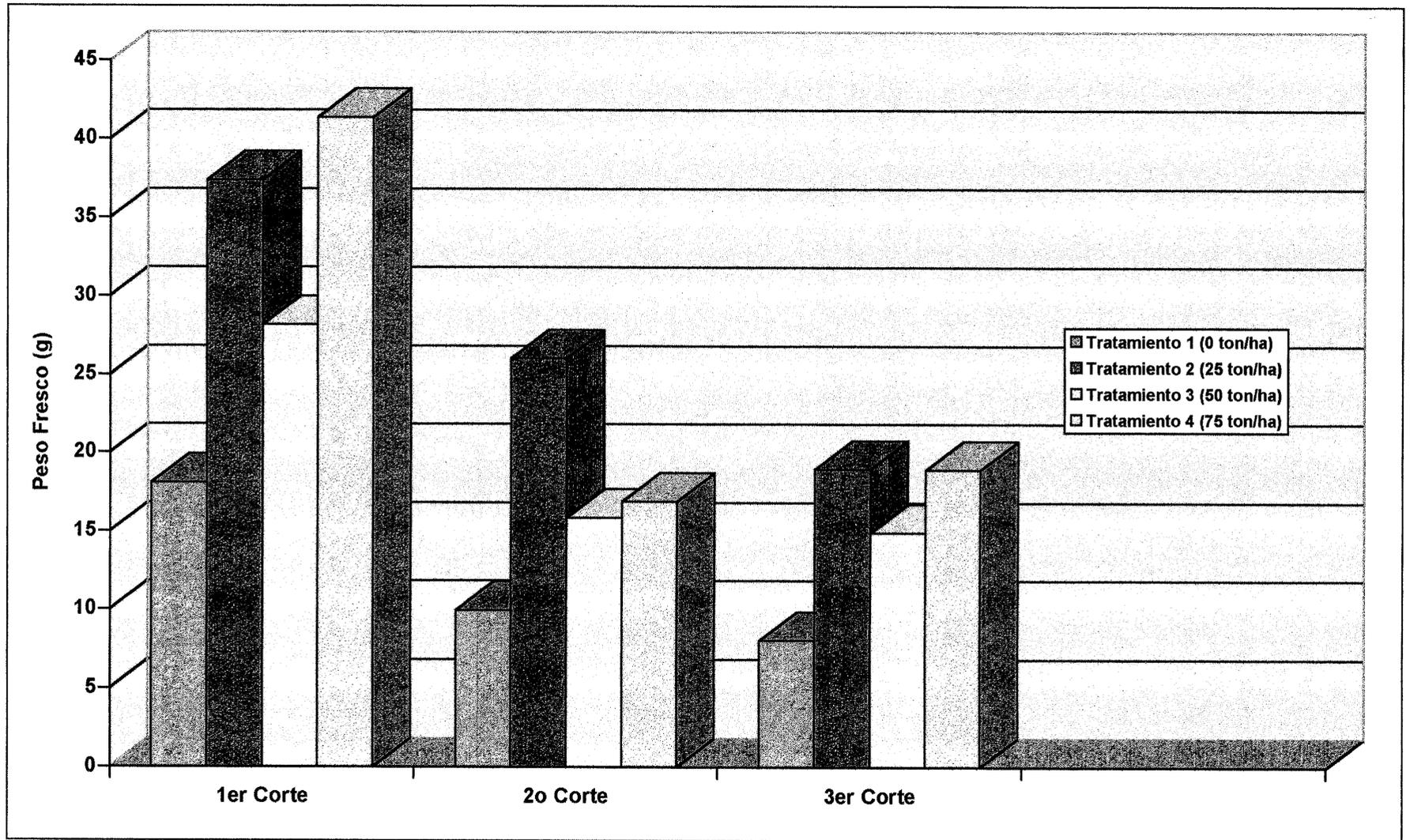


Figura 4.22 Valores promedio de peso fresco de zacate buffel como respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

En el primer corte no se encontró diferencia estadística significativa aún cuando la tendencia fue de incremento conforme se aumentó la cantidad de residuo aplicado. En el tratamiento 1 (0 t/ha) se obtuvo un peso medio de 18.08 g, mientras que en el tratamiento 2 y 4 se obtuvieron 37.38 y 41.3 g, respectivamente.

El peso fresco del segundo corte presentó diferencia significativa entre tratamientos, siendo el valor promedio más alto el de 26.03 g y que correspondió a la aplicación de 25 t/ha de residuo, mientras que el menor, observado en el tratamiento 1 (0 t/ha) fue de 9.93 g, mostrando una diferencia entre ambos de 16.1g.

Para el tercer corte el peso fresco obtenido disminuyó en relación a los cortes anteriores. Se presentó diferencia altamente significativa, ya que los valores medios que se observaron fueron de 8.03 g a 18.95 g para la aplicación de 0 t/ha y 25 t/ha de residuo respectivamente.

Peso Seco

Los valores medios de peso seco de zacate buffel se muestran gráficamente para cada uno de los cortes realizados en la Figura 4.23.

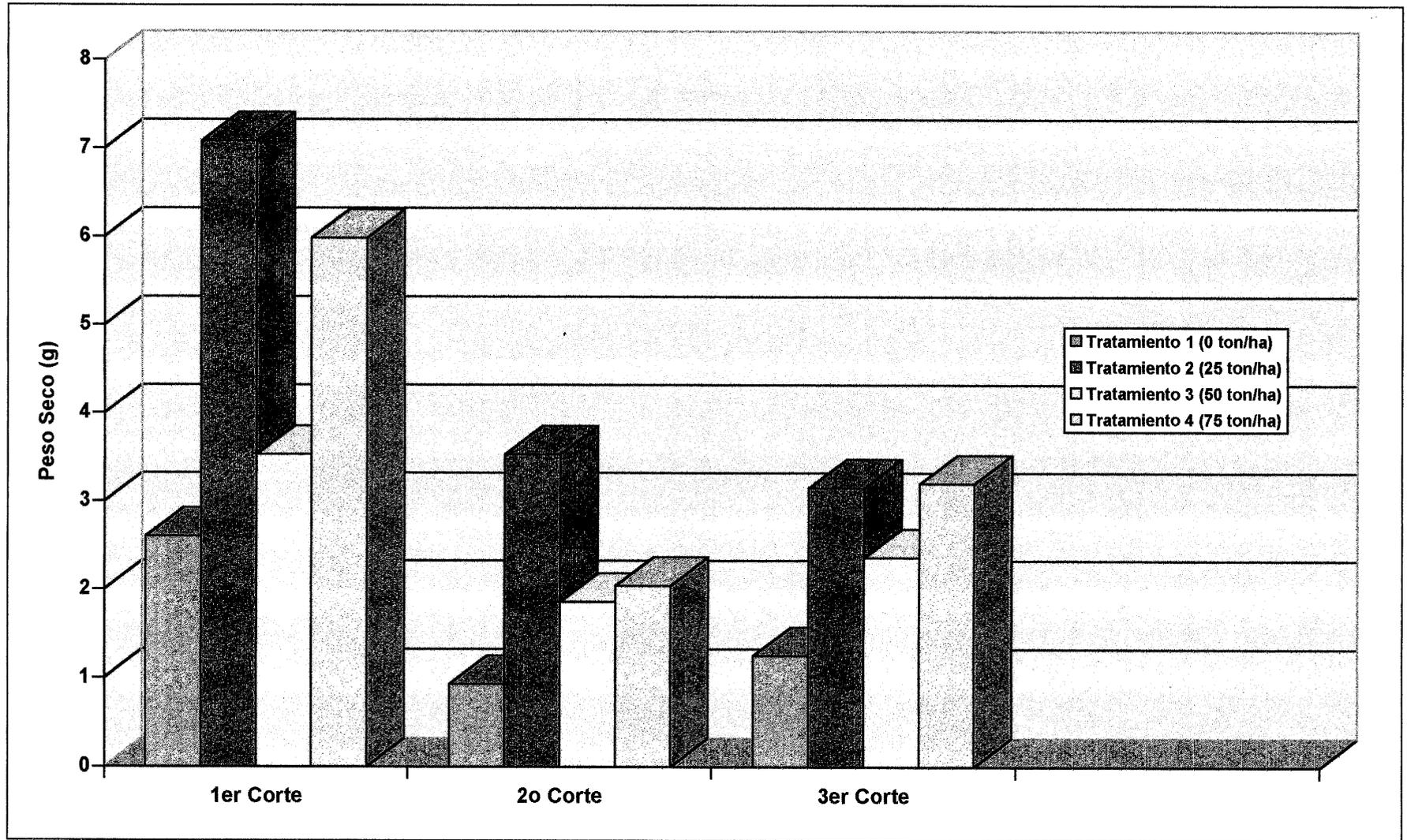


Figura 4.23 Valores promedio de peso seco de zacate buffel como respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

En el caso de los dos primeros cortes, se obtuvo diferencia significativa entre tratamientos, presentándose los valores más pequeños en el tratamiento 1 (0 t/ha de residuo) con 2.60 y 0.93 g, en el primer y segundo corte, respectivamente. En relación a los tratamientos con mayor producción de peso seco el tratamiento 2 (25 t/ha de residuo) produjo 7.08 y 3.53 g en el primer y segundo corte, respectivamente, mientras que para el tercer corte la diferencia entre tratamientos fue altamente significativa. El tratamiento 1 presentó 1.25 g y el tratamiento 4 (75 t/ha) 3.20 g de peso seco.

Proteínas

El contenido promedio de proteína del zacate buffel en los tres cortes se presenta en la Figura 4.24.

En el primer corte, el contenido medio de proteínas presentó diferencia altamente significativa. El mayor contenido (17.72 por ciento) resultó al aplicar el tratamiento 3 (50 t/ha de residuo), mientras que el tratamiento 2 (25 ton/ha) produjo el menor porcentaje de proteína, 14.45 por ciento.

En los dos cortes restantes no hubo diferencia significativa entre tratamientos, pero los tratamientos 2 y 1 presentaron menor contenido de proteínas para cada uno de los casos con 21.54 y 22.26 por ciento, mientras

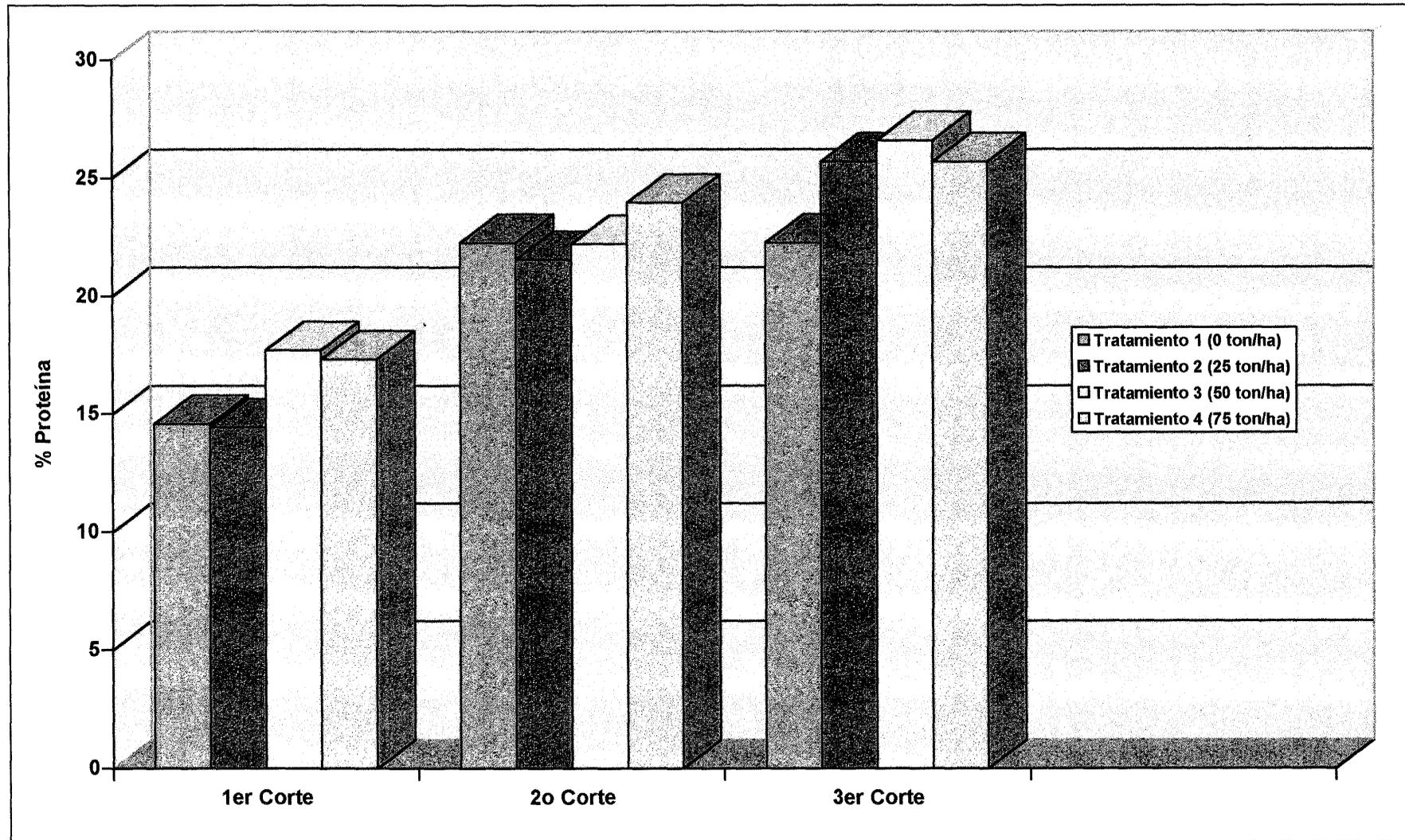


Figura 4.24 Contenido promedio de proteínas en zacate buffel como respuesta a la adición de micelio de *P. chrysogenum*

que los tratamientos 4 y 3 mostraron el mayor contenido para cada uno de los cortes, siendo los valores medios de 24.16 por ciento y 26.60 por ciento, respectivamente.

Ramos y McDowell (1994) sugieren que una concentración de proteína por abajo del siete por ciento es crítica para pastoreo. Por otra parte McIlroy (1987), presenta una relación entre la altura de corte del zacate buffel y el contenido protéico, la cual es para altura media (30 - 45 cm) un contenido de proteína de 11.64 por ciento y para altura larga (75 - 90 cm), un 11.65 por ciento de proteína.

En base a lo anterior, podemos decir que el contenido de proteína encontrado en los diferentes cortes sobrepasa lo establecido por McIlroy (1987), ya que los contenidos promedio fueron de 14.45 a 17.72 por ciento de proteína para alturas de corte que van de los 76.04 a los 81.70 cm y de 22.26 a 25.70 por ciento para alturas de 34.33 a 44.58 cm. Así mismo se superan los resultados obtenidos por Ramos y McDowell (1994), ya que ellos obtuvieron valores de 5.1 a 6.5 por ciento de proteína evaluando cuatro niveles de fertilización N - P - K en un suelo con pH de 8.2.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se presentan las siguientes conclusiones:

- El empleo de este residuo generado por la industria químico-farmacéutica mejora algunas propiedades tanto químicas, como físicas y biológicas del suelo, tales como pH, densidad aparente, densidad de sólidos y población microbiana. Lo anterior es de gran repercusión dado que al mejorar estas características del suelo, las condiciones para la disponibilidad de nutrimentos para las plantas, tales como nitrógeno y fósforo, pueden verse beneficiadas.

- Así mismo el micelio incrementa el contenido de materia orgánica (MO) y nitrógeno total (N_T) del suelo, así como el fósforo (P) y potasio (K) disponibles en una manera altamente significativa. Por lo cual, el residuo evaluado, presenta una alternativa de uso en el suelo ya que eleva las cantidades de nutrimentos primarios disponibles en éste.

- La aplicación del residuo presenta un efecto positivo en el zacate buffel ya que incrementa su altura, peso fresco y peso seco, así como el contenido de proteína en forma superior a lo reportado por otros investigadores. Estas características son de gran importancia para el valor nutricional de las plantas forrajeras.

- El uso de este residuo orgánico, aunado a un monitoreo continuo de su composición así como de su comportamiento en el suelo, representa una alternativa para mejorar los suelos de nuestra región, los cuales se caracterizan por presentar un pH alcalino. Lo anterior como una opción de uso para materiales de desecho en beneficio de la calidad del medio ambiente. El monitoreo es recomendable, debido a que los productos químicos empleados durante los procesos de industrialización pueden variar, lo cual repercutirá en su comportamiento una vez aplicado al suelo.

En base a lo anterior se acepta la hipótesis formulada al inicio de este trabajo de investigación, ya que la incorporación de este residuo orgánico industrial mejoró las características químicas, físicas y biológicas del suelo en estudio. Sin embargo el empleo inmediato de este residuo en suelos agrícolas está sujeto a estudios complementarios, que puedan determinar su efecto a largo plazo.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó el efecto de la aplicación al suelo del micelio de *Penicillium chrysogenum*, el cual es un residuo orgánico obtenido de la industria de la penicilina y se llevó a cabo a nivel invernadero en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los objetivos planteados fueron: a) determinar el efecto de los residuos de la producción de penicilina en las características químicas, físicas y biológicas del suelo, b) conocer la dosis óptima que pueda ser utilizada como mejorador de suelo, así como c) su impacto en algunas características del zacate buffel.

El diseño experimental empleado fue completamente al azar y se evaluaron 4 tratamientos, los cuales consistieron en 0, 25, 50 y 75 t/ha de micelio de *Penicillium chrysogenum*, con 6 repeticiones dando un total de 24 unidades experimentales. La significancia detectada para tratamientos fue interpretada mediante un análisis de regresión polinomial con el empleo de polinomios ortogonales.

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de este residuo mejora algunas características del suelo, ya que se disminuyó de una manera

altamente significativa el pH y la densidad aparente, así mismo se obtuvo un incremento de fósforo y potasio disponibles con diferencia altamente significativa entre tratamientos. El efecto sobre la población de bacterias y hongos del suelo también fue de un incremento significativo, lo cual es de gran importancia debido al papel que juegan estos microorganismos en la estructuración del suelo así como en la disponibilidad de ciertos nutrimentos.

En planta, el empleo del micelio incrementó la altura, el peso seco, así como el contenido de proteína, lo cual es de gran importancia ya que así se incrementa el valor nutricional del zacate buffel.

LITERATURA CITADA

Armstrong, R.D., R.F. Brown and K.R. Helyar. 1993. The use of nitrogen, phosphorus and lime to limit the competitive ability of *Aristida armata* in the establishment phase. *Aust. J. Agric. Res.*, 44:165-178.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1984. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. AOAC Inc. Arlington Virginia, United States.

Baver, L.D., W.H. Gardner y W.R. Gardner. 1980. Física de suelos. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. México.

Bell, M.A. 1993. Organic matter, soil properties, and wheat production in the high valley of Mexico. *Soil Science*, 156(2):86-93.

Bevacqua, R.F. and V.J. Mellano. 1994. Cumulative effects of sludge compost on crop yields and soil properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25(3&4):395-406.

Bierman, P.M. and C.J. Rosen. 1994. Sewage sludge incinerator ash effects on soil chemical properties and growth of lettuce and corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25(13&14):2409-2437.

Bond, R.G and C.P. Straub. 1973. Handbook of environmental control. Vol. II Solid waste. CRC Press, United States.

Cambardella, C.A. and E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:778-783

Candelaria, L.M., A.C. Chang and C. Amrhein. 1995. Measuring cadmium ion activities in sludge-amended soils. *Soil Science*, 159(3):162-175.

Carreón, P. A. 1985. Efecto de seis mejoradores de suelo en el desarrollo del cultivo de papa en un suelo alcalino. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 129 p.

Cavallaro, N., N. Padilla and J. Villarrubia. 1993. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. *Soil Science*, 156(2):63-70.

Cepeda, D.J.M. 1984. Uso de isotermas de adsorción de fósforo para estimar los requerimientos de fertilizante fosfatado en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 79 p.

Cox, J.R., M.H. Martin-R, F.A. Ibarra-F, J.H. Fourie, N.F.G. Rethman and D.G. Wilcox. 1988. The influence of climate and soils on the distribution of four African grasses. *Journal of Range Management*, 41(2):127-139.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1976. Manual de tratamiento de aguas negras. Editorial Limusa, México D.F.

Evers, G.W., E.C. Holt and E.C. Bashaw. 1969. Seed production characteristics and photoperiodic responses in buffelgrass, *Cenchrus ciliaris* L. *Crop Science*, 9:309-310.

Feagley, S.E., M.S. Valdez and W.H. Hudnall. 1994. Bleached primary papermill sludge effect on bermudagrass grown on a mine soil. *Soil Science*, 157(6):389-397.

Ghodrati, M., J.T. Sims, B.L. Vasilas and S.E. Hendricks. 1995. Enhancing the benefits of fly ash as soil amendment by pre-leaching. *Soil Science*, 159(4):244-252.

Gutiérrez, T. 1990. Desarrollo y medio ambiente en México. Diagnóstico, 1990. Edicupes SA de CV, México D.F.

- Hamilton, W.T. and Ch. J. Scifres. 1983. Buffelgrass (*Cenchrus ciliaris*) responses to Tebuthiuron. *Weed Science*, 31:634-638.
- Huang, H., A.G. Campbell, R. Folk and R.L. Mahler. 1992. Wood ash as a soil additive and liming agent for wheat: field studies. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 23(1&2):25-33.
- Humphreys, L.R. 1967. Buffel grass in Australia. *Tropical Grasslands*, 1(2):126.
- Ibarra-F. F.A., J.R.Cox, M.H. Martin-R., T.A.Crowl, D.F. Post, R.W.Miller and G.A. Rasmussen. 1995. Relationship between buffelgrass survival, organic carbon and soil color in Mexico. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1120-1125.
- Martens, D.A., J.B. Johanson and W.T. Frankenberger, Jr. 1992. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. *Soil Science*, 153(1):53-61.
- McIlroy, R.J. 1987. *Introducción al cultivo de los pastos tropicales*. Editorial Limusa, México.
- Nadler, A. and Y. Steinberger. 1993. Trends in structure, plant growth, and microorganism interrelations in the soil. *Soil Science*, 155(2):114-122.
- Narro, F.E.A. 1994. *Física de suelos con enfoque agrícola*. Editorial Trillas, UAAAN, México.
- Pengelly, B.C., J.B. Hacker and D.A. Eagles. 1992. The classification of a collection of buffel grasses and related species. *Tropical Grasslands*, 26:1-6.
- Peña, O.V.S. 1984. Efecto e interacciones de vermiculita, fertilización nitrogenada, potásica y fosfatada en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en suelos de pH alcalino. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 52p.

Prescot, S.C. y C.G. Dunn. 1962. Microbiología industrial. Aguilar S.A. de Ediciones, España.

Ramos, S.R. and L.R. McDowell. 1994. Effect of four fertilization levels on in vitro organic matter digestibility, crude protein, and mineral concentrations of buffelgrass hay in southern Puerto Rico. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25(3&4):293-299.

Rhodes, A. y D.L. Fletcher. 1969. Principios de microbiología industrial. Editorial Acribia, Zaragoza España.

Sims, J.T., B.L. Vasilas and M. Gbodradi. 1993. Effect of coal fly ash and co-composted sewage sludge on emergence and early growth of cover crops. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24(5&6):503-512.

Singh, R.S., R.P. Singh, R.K. Rai and H.P. Agrawal. 1994. Relationship between soil test methods and uptake of copper and zinc by grasses on polluted soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25(9&10):1313-1320.

Smits, B., R. Jongbloed and F.A.M. Bouvy. 1996. Digestibility and nutritive value of Liquid Mycelium Feed for pigs. Institute for Animal Science and Health. The Netherlands.

Tisdale, S.L. y W.L. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. México.

Wander, M.M., S.J. Traina, B.R. Stinner and S.E. Peters. 1994. Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1130-1139.

Whyte, R.O. 1971. Las gramíneas en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Italia.

Zhang, X., A.G. Campbell and R.L. Mahler. 1993. Newsprint pulp and paper sludge as a soil additive/amendment for alfalfa and bluegrass: greenhouse study. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24(11&12):1371-1388.

APÉNDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza para materia orgánica en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	0.761139	0.253713	2.1537	0.124
Error	20	2.356049	0.117802		
Total	23	3.117188			

CV = 7.68 por ciento

Cuadro A2. Análisis de varianza del ajuste polinomial para materia orgánica en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	0.728522	0.728522	6.184290 *	0.021
Cuadrático	1	0.030104	0.030104	0.255550	0.624
Cúbico	1	0.002521	0.002521	0.021398	0.880
Error	20	2.356049	0.117802		

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A3. Análisis de varianza para pH de suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	1.168945	0.389648	21.9457 **	0.000
Error	20	0.355103	0.017755		
Total	23	1.524048			

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 1.70 por ciento

Cuadro A4. Análisis de varianza del ajuste polinomial para pH de suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	1.166240	1.166240	65.685151 **	0.000
Cuadrático	1	0.000937	0.000937	0.052800	0.815
Cúbico	1	0.002168	0.002168	0.122085	0.730
Error	20	0.355103	0.017755		

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A5. Análisis de varianza para carbonatos en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	23.981934	7.993978	0.7613	0.532
Error	20	210.021973	10.501099		
Total	23	234.003906			

CV = 31.82 por ciento

Cuadro A6. Análisis de varianza del ajuste polinomial para carbonatos.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	0.853452	0.853452	0.081273	0.775
Cuadrático	1	0.036817	0.036817	0.003506	0.952
Cúbico	1	23.091425	23.091425	2.198953	0.151
Error	20	210.021978	10.501099		

Cuadro A7. Análisis de varianza para conductividad eléctrica en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	62.179901	20.726633	5.8820 **	0.005
Error	20	70.475281	3.523764		
Total	23	132.655182			

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 56.69 por ciento

Cuadro A8. Análisis de varianza del ajuste polinomial para conductividad eléctrica en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	60.811916	60.811916	17.257659 **	0.001
Cuadrático	1	0.726278	0.726278	0.206109	0.659
Cúbico	1	0.641672	0.641672		0.677
Error	20	70.475281	3.523764		

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A9. Análisis de varianza para nitrógeno en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	0.001903	0.000634	2.1539	0.124
Error	20	0.005879	0.000295		
Total	23	0.007793			

CV = 7.68 por ciento

Cuadro A10. Análisis de varianza del ajuste polinomial para nitrógeno.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	0.001821	0.001821	6.174122 *	0.021
Cuadrático	1	0.000075	0.000075	0.255169	0.624
Cúbico	1	0.000006	0.000006	0.021369	0.88
Error	20	0.005890	0.000298		

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A11. Análisis de varianza para fósforo en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	65412.53125	21804.17773	150.1536 **	0.000
Error	20	2904.250000	145.212494		
Total	23	68316.78125			

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 12.34 por ciento

Cuadro A12. Análisis de varianza del ajuste polinomial para fósforo en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	64369.97265	64369.97265	443.281248 **	0.000
Cuadrático	1	980.735596	980.735596	6.753796 *	0.016
Cúbico	1	61.834229	61.834229	0.425819	0.528
Error	20	2904.250000	145.212494		

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A13. Análisis de varianza para potasio en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	51727344.00	17242448.00	3.3491 *	0.039
Error	20	102967936.0	5148397.000		
Total	23	154695280.0			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 71.78 por ciento

Cuadro A14. Análisis de varianza del ajuste polinomial para potasio.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	43625588.00	43625588.00	8.473625 **	0.008
Cuadrático	1	2358008.000	2358008.000	0.458008	0.513
Cúbico	1	5743777.000	5743777.000	1.115644	0.304
Error	20	102967936.0	5148397.000		

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A15. Análisis de varianza para densidad aparente de suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	0.016172	0.005391	13.8784 **	0.000
Error	20	0.007769	0.000388		
Total	23	0.023941			

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 1.75 por ciento

Cuadro A16. Análisis de varianza del ajuste polinomial para densidad aparente de suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	0.014083	0.0014083	36.297063 **	0.000
Cuadrático	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.995
Cúbico	1	0.002083	0.002083	5.369237 *	0.030
Error	20	0.007769	0.000388		

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A17. Análisis de varianza para densidad de sólidos de suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	0.078812	0.026271	0.2898	0.8333
Error	20	1.812805	0.090640		
Total	23	1.891617			

CV = 12.10 por ciento

Cuadro A18. Análisis de varianza del ajuste polinomial para densidad de sólidos de suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	0.006901	0.006901	0.076137	0.781
Cuadrático	1	0.063038	0.063038	0.695479	0.581
Cúbico	1	0.008841	0.008841	0.097539	0.0756
Error	20	1.812805	0.090640		

Cuadro A19. Análisis de varianza para población bacteriana en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	7256.125000	2418.708252	3.9072 *	0.024
Error	20	12380.83203	619.041626		
Total	23	19636.95703			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 62.66 por ciento

Cuadro A20. Análisis de varianza del ajuste polinomial para población bacteriana en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	1620.675049	1620.675049	2.618039	0.118
Cuadrático	1	2147.041504	2147.041504	3.468331	0.074
Cúbico	1	3488.408447	3488.408447	5.635176 *	0.026
Error	20	12380.83203	619.041626		

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A21. Análisis de varianza para población fúngica en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	21909831680	7303277056	4.1963 *	0.018
Error	20	34808004608	1740400256		
Total	23	56717836288			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 70.21 por ciento

Cuadro A22. Análisis de varianza del ajuste polinomial para población fúngica en suelo.

FV	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	18204033024	18204033024	10.459682 **	0.004
Cuadrático	1	1504167168	1504167168	0.864265	0.634
Cúbico	1	2201632768	2201632768	1.265015	0.274
Error	20	34808004608	1740400256		

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

Cuadro A23. Análisis de varianza para altura de planta en el primer corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	173.000000	57.666668	0.6076	0.622
Error	20	1803.406250	94.916115		
Total	23	1976.406250			

CV = 12.29 por ciento

Cuadro A24. Análisis de varianza para altura de planta en el segundo corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	916.632813	305.544281	5.7315 **	0.006
Error	20	1012.890625	53.310032		
Total	23	1929.523438			

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 13.57 por ciento

Cuadro A25. Análisis de varianza para altura de planta en el tercer corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	555.894531	185.298172	7.8255 **	0.002
Error	20	449.894531	23.678659		
Total	23	1005.789063			

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 11.59 por ciento

Cuadro A26. Análisis de varianza para peso fresco en el primer corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	1828.964844	609.654968	1.9396	0.157
Error	20	5972.140625	314.323181		
Total	23	7801.105469			

CV = 57.54 por ciento

Cuadro A27. Análisis de varianza para peso fresco en el segundo corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	796.171875	265.390625	3.2027 *	0.046
Error	20	1574.447266	82.865646		
Total	23	2370.619141			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 52.95 por ciento

Cuadro A28. Análisis de varianza para peso fresco en el tercer corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	461.678711	153.892899	5.0471 **	0.010
Error	20	579.336426	30.491390		
Total	23	1041.015137			

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 36.72 por ciento

Cuadro A29. Análisis de varianza para peso seco en el primer corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	76.847839	25.615946	4.56389 *	0.015
Error	20	107.229553	5.643661		
Total	23	184.077393			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 50.04 por ciento

Cuadro A30. Análisis de varianza para peso seco en el segundo corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	20.837601	6.945867	3.4682 *	0.036
Error	20	38.052002	2.002727		
Total	23	58.889603			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL CINCO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 67.53 por ciento

Cuadro A31. Análisis de varianza para peso seco en el tercer corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	14.431427	4.810476	6.2247	0.004
Error	20	14.683350	0.772808		
Total	23	29.114777			

CV = 35.72 por ciento

Cuadro A32. Análisis de varianza para proteína en el primer corte

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	53.013672	17.671225	7.5985 **	0.002
Error	20	44.186523	2.325607		
Total	23	97.200195			

** DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA AL UNO POR CIENTO DE NIVEL DE SIGNIFICANCIA

CV = 9.55 por ciento

Cuadro A33. Análisis de varianza para proteína en el segundo corte.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	20.102539	6.700846	0.5279	0.672
Error	20	241.172852	12.693308		
Total	23	261.275391			

CV = 15.85 por ciento

Cuadro A34. Análisis de varianza para proteína en el tercer corte.

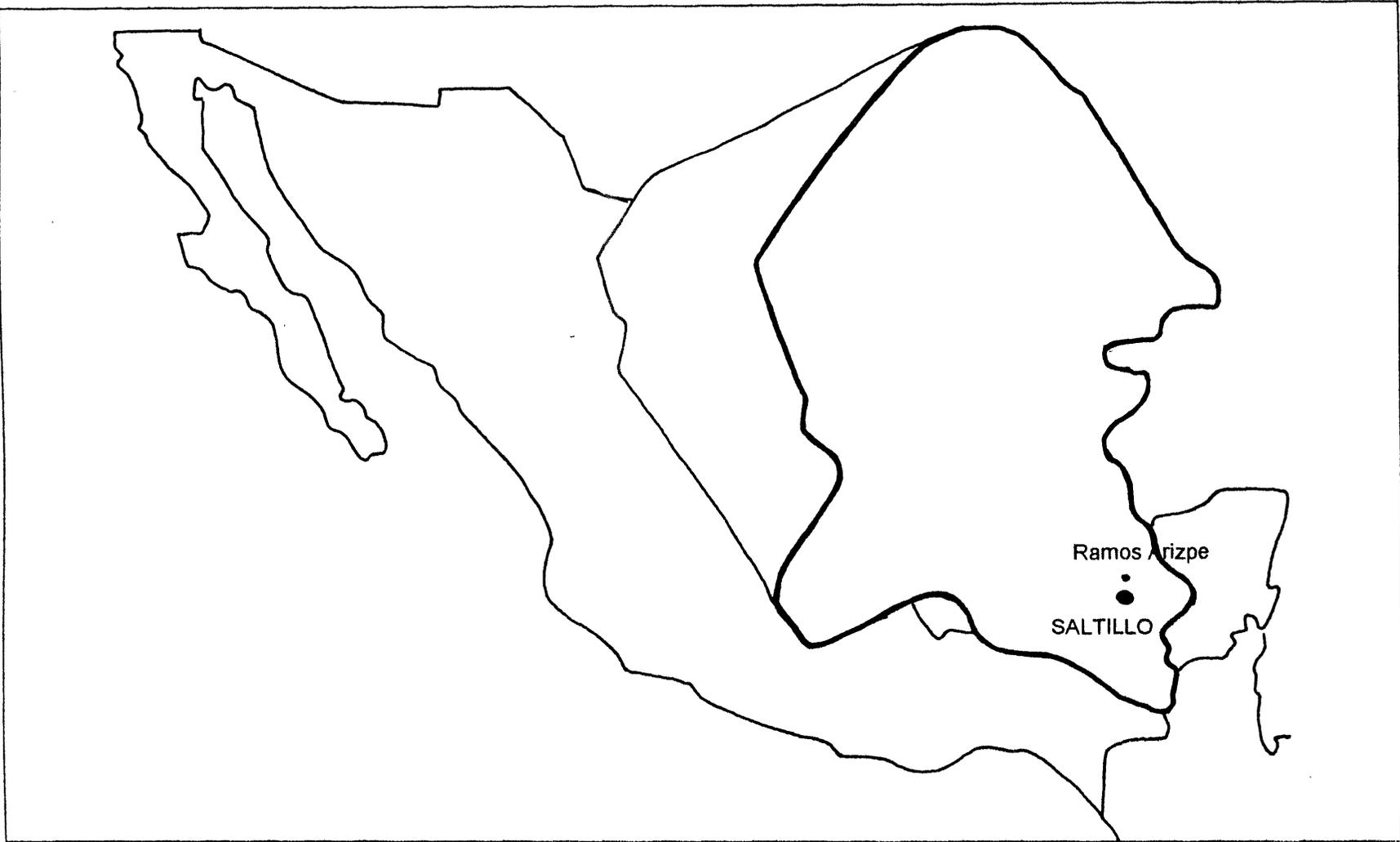
FV	GL	SC	CM	F	P > F
Tratamientos	3	65.581055	21.860352	1.0870	0.379
Error	20	382.098633	20.110455		
Total	23	447.679688			

CV = 17.91 por ciento

ANEXO



Anexo 1. Ciudades del país con graves problemas de contaminación



Anexo 2. Localización de los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe en el estado de Coahuila