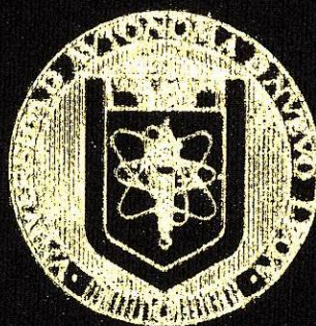


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



"Evaluación de la residualidad del abonado con compost, después del quinto ciclo de estudio, en algunas propiedades físicas y químicas del suelo y su influencia en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en Marín, N. L."

T E S I S
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA
SABINO ROBLEDO RAMIREZ

MARIN, N. L.

DICIEMBRE DE 1988

T

S663

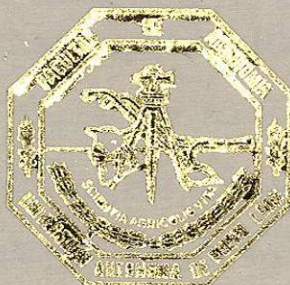
R62

c.1



1080072040

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



*Evaluación de la residualidad del abonado con compost,
después del quinto ciclo de estudio, en algunas propiedades
físicas y químicas del suelo y su influencia en el cultivo de fri-
jol (*Phaseolus vulgaris* L.), en Marín, N. L.*

T E S I S
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA
SABINO ROBLEDO RAMIREZ

MARIN, N. L.

DICIEMBRE DE 1988

09573

T
5863
R62

040.631

FA9

1988

C.5



TESI
(72040)

BU

DO
TESIS LICENCIATURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

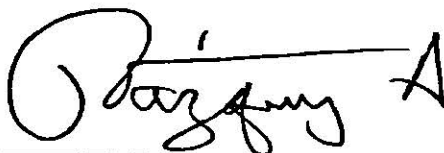
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

"Evaluación de la residualidad del abonado con compost, después del quinto ciclo de estudio, en algunas propiedades físicas y químicas del suelo y su influencia en el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.), en Marín, N. L.

Tesis que presenta SABINO ROBLEDO RAMIREZ
como requisito parcial para obtener el título de :

INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

COMISION REVISORA



Ph.D. RIGOBERTO E. VAZQUEZ ALVARADO
Asesor Principal



ING. M.C. FRANCISCO RODRIGUEZ E.
Asesor Auxiliar



ING. ARMANDO GONZALEZ ALMAGUER
Asesor Auxiliar.

DEDICATORIAS

El presente trabajo se lo dedico con cariño y respeto a.

Mis Padres:

Sr. Candelario Robledo Barbosa
Sra. Evangelina Ramírez de Robledo

Como un fruto a cosechar por su apoyo moral y económico que realizaron en mi formación como profesionista.

A mis Hermanos:

Ma. del Carmen	José Luis	Jorge
Irma	Eduardo	

Por la gran unión familiar que hemos tenido.

A mi Esposa:

Blasa Escalona, por su amor, apoyo y comprensión que me ha brindado.

A mi Hijo:

Jesús Candelario, con la esperanza que este trabajo le sirva como estímulo en su superación personal.

A mis demás familiares, que siempre me alentaron a terminar mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Al Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado, Asesor Principal, por su atinada dirección de esta tesis, gran apoyo e invaluable y permanente ayuda.

Al Ing. M.C. Francisco Rodríguez Esquivel, y al Ing. Armando González Almaguer, por su ayuda para el desarrollo y revisión del presente estudio.

Al compañero Antonio Durón Alonso por su ayuda brindada en los análisis estadísticos.

A los trabajadores del Proyecto de Fertilización Estatal por su ayuda en los trabajos de campo.

A la Srta. Josefina Tijerina Zúñiga, por su eficiente trabajo mecanográfico.

A mis compañeros y amigos, que compartimos inquietudes de estudiantes.

A Dios.

Por darme vida, salud y una familia.

I N D I C E

	Página
LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE TABLAS DEL APENDICE	iv
LISTA DE FIGURAS	v
ABREVIATURAS DEL TEXTO	vii
RESUMEN	viii
SUMMARY	xi
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos encostrados.....	
2.1.1. Propiedades físicas	4
2.1.1.1. Estructura	4
2.1.1.2. Textura	6
2.1.1.3. Color del suelo	7
2.1.1.4. Densidad aparente	8
2.1.1.5. Infiltración	8
2.1.1.6. Permeabilidad	10
2.1.1.7. Capacidad de campo	11
2.1.1.8. Punto de marchitez perma- nente.....	12
2.1.2. Propiedades químicas de los sue- los encostrados	13
2.1.2.1. Conductividad eléctrica.....	13
2.1.2.2. Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)	14
2.1.2.3. Reacción del suelo (pH).....	15
2.2. Encostramiento superficial	17
2.2.1. Generalidades del encostramiento superficial	17

2.2.2. Características morfológicas de las costras.	18
2.2.3. Mecanismo de formación de las costras.....	20
2.2.4. Factores que determinan la formación de las costras.....	21
2.2.5. Génesis de la costra superficial.	22
2.2.6. Técnicas para prevenir el encostamiento superficial del suelo..	25
2.2.7. Métodos para evaluar la resistencia de la costra	29
2.3. Materia Orgánica (M.O.)	30
2.3.1. Generalidades de la M.O. del suelo.....	30
2.3.2. Funciones de la M.O. en el suelo.	31
2.3.3. Composición de la Materia Orgánica.....	33
2.3.4. Ciclo del carbono	36
2.3.5. Microbiología del suelo	38
2.3.5.1. Clasificación de los microorganismos que intervienen en la descomposición de la M.O. del suelo.	38
2.3.5.2. Requerimientos nutricionales de la microflora que descomponen la M.O..	39
2.3.5.3. Crecimiento de las poblaciones microbianas	40
2.3.6. Descomposición de la M.O. del suelo.....	42
2.3.6.1. Proceso de descomposición	42

2.3.6.2. Composición del humus...	44
2.3.6.2.1. Características y propiedades del humus.....	45
2.3.6.3. Influencia del medio ambiente en la descomposición de la M.O.	47
2.3.6.4. Cambios durante la descomposición de la M.O. .	48
2.3.7. Mineralización anaeróbica del carbono.....	49
2.4. Actividades de los microorganismos del suelo sobre los productos de la descomposición de la M.O.	50
2.4.1. El ciclo del nitrógeno	50
2.4.2. Mineralización del nitrógeno	50
2.4.2.1. Aminización	52
2.4.2.2. Amonificación	52
2.4.3. Nitrificación	52
2.4.4. Desnitrificación	54
2.4.5. Pérdidas de nitrógeno en forma gaseosa del suelo.....	55
2.4.6. Inmovilización del nitrógeno	56.
2.4.7. Conservación de la M.O. en regiones áridas y semiáridas	57
2.5. Compost	58
2.5.1. Generalidades sobre el compost ..	58
2.5.2. Preparación del compost	60
2.5.3. Composición química del compost..	64
2.5.4. Efecto residual del compost	66
2.5.5. Efecto de la aplicación del compost en el mejoramiento de las	

	Página
prop, físicas y químicas del suelo.....	68
2.5.5.1. Efecto sobre la estructura del suelo.....	68
2.5.5.2. Efecto de la aplicación del compost en el contenido y disponibilidad de nutrientes.....	70
2.5.5.3. Efecto de la aplicación del compost sobre la disponibilidad de nutrientes del suelo y la C,I.C.....	73
2.5.5.4. Efecto de la aplicación del compost sobre la densidad aparente.....	74
2.5.5.5. Efecto sobre el contenido de materia orgánica	75
2.5.5.6. Efecto de la aplicación del compost sobre la infiltración y captación de humedad del suelo.....	76
2.5.5.7. Otra forma de utilización del compost.....	76
3. MATERIALES Y METODOS.....	78
3.1. Localización del experimento	78
3.2. Clima y suelo	78
3.3. Materiales y aparatos	79
3.4. Descripción del método	82
3.4.1. Descripción del método usado	82
3.4.2. Diseño experimental	85
3.5. Procedimiento de recolección de datos	90
3.5.1. Variables consideradas con respecto al suelo.....	90

3.5.2. Variables consideradas con respecto a la planta.	98
4. RESULTADOS Y DISCUSION	100
5. CONCLUSIONES :.....	126
6. BIBLIOGRAFIA CITADA	129
7. APENDICE	137

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Características físico-químicas del compost.	65
2	Resumen de las fechas de siembra, cultivo y variedad durante los cinco ciclos de estudio.	84
3	Actividades realizadas durante el quinto ciclo de experimentación. ..	85
4	Dosis de compost, nitrógeno y fósforo aplicadas a cada tratamiento....	87
5	Dosis de compost aplicadas el verano de 1983 en cada parcela experimental de 32 M ² de superficie, correspondientes a los niveles de compost de cada tratamiento en ton/ha.	87
6	Resumen de los análisis de varianza de las variables estudiadas.	100
7	Comparación de medias por el método Duncan, para la variable D.A., que resultó significativa.	102
8	Comparación de medias por el método Duncan para la variable pH 0-15 cm (pH ₁), que resultó significativa entre tratamientos.	103
9	Comparación de medias por el método	

Tabla	Página	
	Duncan, para la variable pH 15-30 (pH ₂), que resultó significativa....	104
10	Resumen de los principales parámetros estadísticos en el presente experimento,	105
11	Densidad aparente del suelo (0-15 cm) y subsuelo (15-30 cm), antes y hasta este experimento. Estos valores están expresados en gr/cm ³	106
12	Valores obtenidos mediante el penetrómetro antes y hasta el presente experimento, con los resultados expresados en bares.	108
13	Nos presenta resultados obtenidos, en el 5º ciclo del % de materia orgánica en el suelo y subsuelo,	109
14	Contenido de M.O. existente en el suelo, de los ciclos anteriores y hasta este experimento,	110
15	Resultados obtenidos para la variable módulo de ruptura para suelo (0-15 cm) y subsuelo (15-30 cm) antes y después de éste experimento. Los valores están expresados en bares,	111
16	Nos muestra los valores de la concentración en P.P.M. de calcio y potasio.	112

Tabla		Página
17	Rendimiento obtenido en los cinco <u>ci</u> clos consecutivos que comprenden és- te experimento.	113
18	Análisis de varianza de la regresión para la variable densidad aparente 0-15 cm.	118
19	Análisis de varianza de la regresión para la variable pH 0-15 cms.....	118
20	Análisis de varianza de la regresión para la variable pH 15-30 cms.....	119
21	Concentración de modelos probados con las variables mas altamente correla- cionadas.	119

LISTA DE TABLAS DEL APENDICE

Tabla		Página
1	Observaciones climáticas, temperatura (T°C) precipitación pluvial (ppmm) y humedad relativa (%), registrada durante el ciclo del cultivo	138
2	Resultados del análisis de la correlación de las variables en estudio. De las variables con un 40% de correlación se escogieron las de mayor interés	139
3	Listado de los modelos codificados de las variables significativas en el 5º ciclo ...	142
4	Dosis óptimas fisiológicas obtenidas para las variables que resultaron significativas.	142

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Representación en diagrama del ciclo del carbono, según Buckman	37
2.-	Cambios en los niveles del nitrato del suelo, durante la descomposición de los residuos de las cosechas pobres en nitrógeno	41
3.-	Parte principal del ciclo del nitrógeno.	51
4.-	Penetrómetro de cono, tipo militar, modelo CN-970.	80
5.-	Vista lateral y anterior del aparato ideado para hacer las determinaciones de módulo de ruptura.	83
6.-	Croquis de la distribución de parcelas en el campo, con sus tratamientos correspondientes,	88
7.-	Distribución de los tratamientos según el cuadrado doble,	89
8.-	a) Martillo para la barrena de densidad aparente. b) Barrena para densidad aparente c) Barrena de caja para texturas.	91
9.-	Respuesta estimada de la densidad aparente a 0-15 cms del suelo, cuando el nitrógeno y compost se presen-	

Figura		Página
	tan a diferentes niveles, con el modelo codificado.	120
10.-	Respuesta estimada del pH a 0-15 cms del suelo, cuando el nitrógeno y compost se presentan a diferentes niveles, con el modelo codificado.	121
11.-	Respuesta estimada del pH a 15-30 cms cuando el nitrógeno y compost se presentan a diferentes niveles, con el modelo codificado.	122

ABREVIATURAS DEL TEXTO

C	=	Compost
N	=	Nitrógeno
HS ₁	=	Humedad del suelo
HS ₂	=	Humedad del subsuelo
DA ₁	=	Densidad aparente del suelo
DA ₂	=	Densidad aparente del subsuelo
MO ₁	=	Materia orgánica del suelo
MO ₂	=	Materia orgánica del subsuelo
P.E.	=	Penetrómetro de bares
pH ₁	=	pH del suelo
pH ₂	=	pH del subsuelo
C.E. ₁	=	Conductividad eléctrica del suelo
C.E. ₂	=	Conductividad eléctrica del subsuelo
M.R. ₁	=	Módulo de ruptura del suelo
M.R. ₂	=	Módulo de ruptura del subsuelo
Ca ₁	=	Calcio del suelo
Ca ₂	=	Calcio del subsuelo
K ₁	=	Potasio del suelo
K ₂	=	Potasio del subsuelo
P.E.	=	Plantas emergidas
M.S.	=	Materia seca por planta
R.	=	Rendimiento
S.S.	=	Suelo seco
S.H.	=	Suelo húmedo

RESUMEN

Tesista: Sabino Robledo Ramírez

Carrera: Ingeniero Agrónomo Fitotecnista

Título de la Tesis: Evaluación de la residualidad del abonado con compost, después del quinto ciclo de estudio, en algunas propiedades físicas y químicas del suelo, y su influencia en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.), en Marín, N.L.

Asesorado por: Doctor Rigoberto Vázquez Alvarado

El presente experimento se llevó a cabo en un suelo arcilloso, calcáreo, sedimentario, en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L. ubicada en el municipio de Marín, N.L.

Este experimento es el quinto ciclo de estudio de una serie que se inició en el año de 1983, con frijol - trigo en cada ciclo, el lote experimental se delimitó el 20 de julio del mismo año.

Los objetivos del quinto ciclo fueron:

- 1.- Determinar si aún existe efecto residual de la aplicación del compost, después de cinco ciclos de aplicado.
- 2.- Observar y registrar, el efecto que producirán estos cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, y en el cultivo del frijol.
- 3.- Determinar las dosis que han producido un mayor efecto re-

sidual.

4.- De acuerdo a los resultados obtenidos hacer sugerencias a los agricultores aledaños.

La siembra del frijol se realizó el 15 de agosto de 1985 y se cosechó el 13 de noviembre de 1985.

Las variables estudiadas fueron; en los estratos 0-15 cm y 15 - 30 cm, humedad del suelo, densidad aparente, materia orgánica, pH del suelo, conductividad eléctrica, módulo de ruptura calcio y potasio del suelo. También se determinó la dureza del suelo con el penetrómetro, plantas emergidas por tratamiento, materia seca por planta, y rendimiento por hectárea.

El diseño experimental utilizado fué bloques al azar, con trece tratamientos y tres repeticiones, el arreglo de los tratamientos fue de acuerdo a un cuadrado doble, donde los niveles de compost fueron 0, 25, 50, 75 y 100 ton/ha.

En el análisis de varianza realizado resultaron significativas la variable densidad del suelo a 0-15 cm, pH del suelo y sub-suelo. A estas variables que resultaron significativas se les realizó la prueba de comparación de medias por el método Duncan, para determinar cual de los tratamientos es el mejor. Para densidad aparente resultó ser el tratamiento 7 y 8 con 50 ton/ha de compost. Los mejores tratamientos para el pH a 0-15 cm, fueron el 6 (50 ton/ha de C), 10 (75 ton/ha de C). y 13 (100 ton/ha de C). Y para el pH de 15-30 cm los mejores tratamientos fueron el 5 (25 ton/ha de C) y 10 (75 ton/ha de C).

También se realizó un análisis de correlación, entre las variables que correlacionaban con un 40% o más, se escogieron las de mayor interés.

En base a los resultados obtenidos podemos asegurar que en el quinto ciclo, 835 días después de aplicado el compost, se registró efecto residual en algunas características físicas y químicas del suelo. En el rendimiento, aunque no resultó significativa estadísticamente, se observa un incremento ciclo tras ciclo.

En general, el experimento cumplió con los objetivos planteados al inicio del mismo. Sin embargo es recomendable la aplicación de dosis mayores de compost, para obtener resultados mas notorios en las características físicas y químicas del suelo, después de los 835 de su aplicación.

The studied variables were depth of soil at 0-15 cm and 15-30 cm, soil moisture bulk density, organic matter, pH, electric conductivity modulation of rupture, calcium and potassium of the soil, hardness of the soil, number of emerged plants, dry matter and yield per hectare.

A random block design was used with thirteen treatments and three replications, with a double square matrix, where the levels of compost were 0, 25, 50, 75 and 100 ton/ha.

The variables that did result significant were soil density at 0-15 cm and pH of soil, and sub soil. To determine which of the treatments were the best, the variable means were compared by the Duncan Method.

For bulk density the treatments 7 and 8 were the best with 50 ton/ha of compost. For pH at 0-15 cm, the treatment 6 (50 ton/ha of compost), 10 (75 ton/ha of compost) and 13 (100 ton/ha of compost) And for the pH at 15-30 cm the treatment 5 (25 ton/ha of compost) and 10 (75 ton/ha of compost).

A correlation analysis was made between all the studied variables. All the correlations with 40% or more were chosen to provide different statistical models.

The regression models for the variables calcium (1) Vs pH_2 , presented the greatest value of R^2 (0.2835) and the logarithmic models for the variables potassium vs calcium (2) presented the highest value of R^2 (0.41471).

The studied variables were depth of soil at 0-15 cm and 15-30 cm, soil moisture bulk density, organic matter, pH, electric conductivity modulation of rupture, calcium and potassium of the soil, hardness of the soil, number of emerged plants, dry matter and yield per hectare.

A random block design was used with thirteen treatments and three replications, with a double square matrix, where the levels of compost were 0, 25, 50, 75 and 100 ton/ha.

The variables that did result significant were soil density at 0-15 cm and pH of soil, and sub soil. To determine which of the treatments were the best, the variable means were compared by the Duncan Method.

For bulk density the treatments 7 and 8 were the best with 50 ton/ha of compost. For pH at 0-15 cm, the treatment 6 (50 ton/ha of compost), 10 (75 ton/ha of compost) and 13 (100 ton/ha of compost) And for the pH at 15-30 cm the treatment 5 (25 ton/ha of compost) and 10 (75 ton/ha of compost).

A correlation analysis was made between all the studied variables. All the correlations with 40% or more were chosen to provide different statistical models.

The regression models for the variables calcium (1) Vs pH_2 , presented the greatest value of R^2 (0.2835) and the logarithmic models for the variables potassium vs calcium (2) presented the highest value of R^2 (0.41471).

Based on the obtained results, we can assure that in the fifth cycle (835 days after the compost application), residual effects exist in some physical and chemical characteristics of the soil. Even though the yield was not significant at this fifth cycle, a yield increment was noticed cycle by cycle.

In general, the experiment achieved the objectives that were established at the beginning of this work. However it was observed, that it is advantageous to apply higher doses of compost, in order to get results more noticeable in the physical and chemical characteristics of the soil.

1. INTRODUCCION

La alternativa más viable, en la época actual, para lograr aumentar la producción de alimentos en México, es incrementar el rendimiento por unidad de superficie cultivada.

Para solucionar la crisis de producción de alimentos es necesario controlar, los factores que entran en juego en la producción de cosechas, de tal forma que se logre un uso más eficiente y racional de cada uno para tratar de hacer más eficiente el uso del suelo. Uno de estos factores es la fertilidad del suelo, y se puede mantener en un nivel óptimo con la aplicación de fertilizantes orgánicos o inorgánicos.

Con la incorporación de fertilizantes orgánicos, además de devolver al suelo algo de lo que el mismo produce, se logra aumentar la materia orgánica del suelo, que mejora las condiciones físicas y químicas, además juega un papel importante en la asimilación de fertilizantes químicos.

La fertilización se puede realizar con la incorporación de abonos verdes, residuos de cosechas, estiércoles, aguas negras, compost, etc.

En el Noreste de México, predominan los suelos con las siguientes características; calcáreos, arcillosos, pobres en M.O y pH alcalinos; en estas condiciones, aunada a lo seco y caluroso del clima, la asimilabilidad de algunos nutrientes y su movilidad en el suelo es muy baja, además la aplicación de fertilizantes químicos es baja. (37).

El bajo contenido de materia orgánica ocasiona que exista una mala agregación del suelo y cuando ocurren lluvias provoca una disgregación de las partículas del suelo ocasionando un encostramiento, este fenómeno se presenta también después del riego rodado, siendo directamente proporcional, el grado de compactación con la lámina de riego usada.

El fenómeno de encostramiento es de gran importancia económica y ecológica, ya que es un factor que afecta la emergencia de las plántulas, haciéndose necesarias las resiembras que aumentan los costos.

El efecto del encostramiento predispone a la superficie del suelo a la erosión, aumenta progresivamente la pérdida del suelo afecta el balance hídrico y térmico del suelo reduciendo consecuentemente su potencial agrícola.

Debido a estos problemas, se realizó la incorporación de compost como un mejorador de las características físicas y químicas del suelo, además de tener un efecto residual.

La producción del compost representa un método para la eliminación de basuras urbanas y agrícolas. Además incorpora al suelo materia orgánica que mejora sus propiedades.

El presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

- 1.- Determinar si existe efecto residual de la aplicación de compost, realizada en verano de 1983, evaluando las características físicas y químicas del suelo.

- 2.- Observar y registrar la magnitud y dirección del cambio de las propiedades físicas y químicas del suelo estudiadas, así como el efecto que se produce en el cultivo.
- 3.- Evaluar las dosis aplicadas que han tenido un mayor efecto residual en el suelo, que se reflejen en una mayor producción del cultivo.
- 4.- De acuerdo a los resultados obtenidos hacer sugerencias a los agricultores aledaños.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos encostrados

2.1.1. Propiedades físicas de los suelos encostrados

2.1.1.1 Estructura del suelo.

La estructura del suelo implica un arreglo u ordenación de las partículas primarias, arena, limo o arcilla y secundarias, grumos, gránulas, agregados, en ciertos modelos o patrones estructurales. (9)

La estabilidad de la estructura se refiere a la resistencia que los agregados del suelo presentan a la influencia desintegrante del agua y del manipuleo mecánico. El agua puede causar, de dos maneras, que la agregación se deteriore:

a) Por el efecto hidratante del agua, que causa la rotura del agregado a través de los procesos de hinchamiento y la explosión del aire atrapado.

b) El agua destruye la agregación y deteriora la estructura del suelo a través de la caída de la lluvia. El impacto de la caída de las gotas de agua en suelos expuestos ejerce una significativa acción dispersante en los agregados. Luego, las partículas dispersas son arrastradas al interior de los poros, causando que la compactación aumente y disminuya la porosidad (27).

El tipo de estructura del suelo se determina por la forma general de los agregados. La clase de estructura se determina por el tamaño de los agregados y el grado de la estructura es

dependiente de la estabilidad o cohesividad de los agregados. En los suelos con problemas de encostramiento, las partículas de arcilla son generalmente predominantes sobre las de arena limo y se arreglan preferencialmente, en estructura laminar.

El secado de las arcillas humedecidas produce efectos de cementación suficientemente fuertes para mantener la agregación, aún si el suelo es rehumedecido. La estabilización de los agregados, después de la deshidratación, es el resultado de la floculación debida a la concentración mayor de sales, al secado irreversible de materiales orgánicos mucilaginosos, a la precipitación del carbonato de calcio (CaCO_3) o a la deshidratación irreversible de los hidróxidos de Fe y AL.

Las labores de preparación y de cultivo se dificultan debido a lo terronoso y a la condición dura del suelo, en suelos que han sufrido apelmazamiento de los agregados del suelo ya que disminuyen los macroporos, la permeabilidad y la aereación.

(39)

De todos los factores (iones, absorbidos, humedecimiento y secado, heladas y deshielos, actividad física de las raíces y animales del suelo, influencia de la degradación de la M.O. y las excreciones de los microorganismos y de otras formas de vida y el laboreo del suelo) el de mayor importancia es la M.O, ya que ejerce una influencia estabilizadora de los agregados.

El enlace físico de las partículas se realiza a través del micelio a manera de hilos o filamentos de los hongos y ac-

tinomicetos. Cuando esta fuerza de unión es fuerte, mayor será el esfuerzo aportado por la lluvia u otros agentes necesarios para producir la dispersión que determina el posterior encostramiento. Cuando el suelo presenta una alta estructuración y estabilidad estructural, solamente lluvias muy intensas pueden producir encostramiento muy severo. (39)

2.1.1.2 Textura

La textura del suelo se refiere al porcentaje relativo de arena, limo y arcilla de un suelo. Específicamente la clasificación de texturas se basa en la cantidad de partículas menores de 2 mm en tamaño (27, 39, 47).

Los suelos de textura arcillosa presentan serios problemas de encostramiento. Las fuerzas de cohesión entre las partículas de arcilla son fuertes provocándose la formación de costras en condiciones de bajo porcentaje de M.O., así como el clima seco existente (4)

En suelos encontrados se ha observado que la textura de las costras es diferente del material que se originaron. En general hay un enriquecimiento de partículas menores de 100 μ en detrimento de las fracciones más gruesas. Lemas y Lutz (1957), en un estudio de costras formadas sobre suelos de muy diversa textura, demostraron que esto ocurría a pesar de las diferencias existentes en las composiciones granulométricas de los mismos. También se señala que el enriquecimiento en limo se

presenta invariablemente en todos los casos y es más importante que los de arena muy fina y arcilla. (21)

2.1.1.3. Color del suelo

El color del suelo es la propiedad física del suelo mas simple de determinar, ya que es fácil de observar y medido mas convenientemente por comparación con la carta de colores de suelos de Munsell.

El color de los horizontes del suelo puede ser uniforme o estar moteado, manchado, matizado. El moteado generalmente se debe al mal drenaje; las manchas a acumulaciones de cal, materia orgánica y al estado de oxidación de hierro; el matizado a infiltraciones de los coloides orgánicos y óxidos de hierro procedentes de las capas superiores; pero frecuentemente ocurre cuando el material madre esta completamente intemperizado. (39)

En regiones áridas y semiáridas donde se encuentran suelos con problemas de encostramiento, predominan las coloraciones claras en muchas regiones, debido a la pobreza en materia orgánica, a pesar que estos suelos puedan ser ricos en arcilla, la cual produce también coloraciones oscuras, éstas a veces no se presentan, debido a la naturaleza calcárea del material parental y a la acumulación de CaCO_3 y otras sales, que se observan en éstos suelos debido al clima seco y mal drenaje. (47)

2.1.1.4 Densidad Aparente

Es la masa (peso) por unidad de volumen de suelo seco. El volumen considerado incluye las partículas sólidas del suelo y el espacio poroso.

Las densidades aparentes aumentan con la profundidad en el perfil del suelo. Esto se debe a más bajos niveles de M.O., menor agregación y más compactación. (39)

Según Figueroa, (21) la densidad aparente de las costras está sensiblemente aumentada. Esto ocurre como consecuencia de la existencia de un arreglo más cerrado entre partículas por falta de agregación. Dentro de la misma, es posible distinguir una capa muy fina de pocas décimas de mm, en contacto con la atmósfera, con un ordenamiento interparticular aún más cerrado. Dudley citado por Figueroa, muestra una serie de microfotografías tomadas de costras desarrolladas sobre suelos franco - limosos, donde se nota la presencia de ésta capa que actúa "Sellando" la superficie del suelo y que tiene particular importancia en el movimiento del agua y la resistencia mecánica.

2.1.1.5 Infiltración

Infiltración es la penetración del agua en el suelo. Percolación es el movimiento del agua a través del suelo hacia niveles inferiores, especialmente en suelos saturados o casi saturados. (39)

Cuando la superficie del suelo es muy porosa y de una estructura muy abierta, la tasa inicial de infiltración es más grande que la de un suelo uniforme, y la tasa de infiltración permanece sin cambios, debido a su limitación de la baja conductividad de la zona de transmisión debajo de la superficie del suelo. En otras palabras, cuando la superficie del suelo es compactada o es cubierta por una costra de baja conductividad, la tasa de infiltración es más baja que la de los suelos sin costras. Las costras de la superficie del suelo actúan como una barrera hidráulica impidiendo la infiltración.

Un suelo de una estructura no estable, tiende a formar este tipo de costras durante la infiltración, especialmente con la acción del aflojamiento, debido al golpeteo de las gotas de lluvia. (28)

Como la infiltración es una característica de la superficie, es influida fundamentalmente por las condiciones de la misma. Una superficie compacta permite menos infiltración. El impacto de las gotas de lluvia reduce la infiltración, es especial en suelos dispersables con facilidad. Las superficies del suelo con capa vegetal tiene mas velocidad de infiltración que los suelos desnudos. En los suelos arcillosos, el agrietamiento producido por el secado también aumenta la infiltración en las etapas iniciales, hasta que el suelo se hincha de nuevo y la infiltración disminuye. (47)

Según Mc. Intyre (1958). La acción de las gotas de lluvia

forma una costra superficial que reduce rápidamente la infiltración. (9)

2.1.1.6 Permeabilidad

Las características que determinan la rapidez con la que el aire y el agua se mueven a través del suelo constituyen lo que se conoce como permeabilidad.

La permeabilidad depende básicamente de la distribución y tamaño de los poros en el suelo. Cuando mayor es el número de macroporos, mayor es la permeabilidad.

La permeabilidad del suelo disminuye con la profundidad, a medida que las capas del subsuelo son más compactas. Hay menos materia orgánica en los estratos del subsuelo, de allí la falta de buena agregación. (47)

En resumen, las condiciones de textura fina, pobre agregación del suelo bajo contenido de materia orgánica, y en ocasiones la presencia de capas impermeables (caliche, arcilla, material madre, etc.) a poca profundidad de los suelos encostrados, hacen que la permeabilidad sea de muy lenta a moderada. (37)

El agua es movilizada en el suelo como líquido o como vapor principalmente a través de los macroporos. Esto significa que entre más grande y numerosos sean los poros mayor será la permeabilidad.

Las clases propuestas para indicar la permeabilidad consi

deran las siguientes láminas de agua:

1. Muy lenta ---- menos de 0.15 cm/hora
2. Lenta ---- de 0.15 a 0.15 cm/hora
3. Moderada ---- de 0.5 a 15 cm/hora
4. Rápida ---- de 15 a 25 cm/hora
5. Muy rápida --- más de 25 cm/hora.

Según Ortiz V. (39)

2.1.1.7. Capacidad de campo

La capacidad de campo, representa el contenido de agua del suelo en el campo después que se ha regado y el agua gravitacional se ha drenado. La fuerza con que el agua es retenida en éste punto es de $1/3$ de atmósfera.

El agua entre la saturación y la capacidad de campo (agua gravitacional) tiene una baja tensión y es absorbida fácilmente por las raíces de las plantas. No obstante, el agua gravitacional es de poco valor en la mayor parte de los suelos porque se drena con bastante rapidez. A capacidad de campo el espacio poroso está la mitad lleno de aire y la mitad lleno de agua.

(35)

La capacidad de campo de un suelo con buen drenaje puede determinarse con facilidad. Después de una lluvia que empape o un riego intenso, cúbrase la superficie de un suelo bien drenado para reducir las pérdidas por evaporación y espérese dos o tres días. En ese momento, la humedad del suelo superficial se

encuentra en su capacidad de campo. (47)

2.1.1.8. Punto de marchitez permanente

Indica el porcentaje de contenido de humedad de un suelo en el que la planta se marchita y es incapaz de recobrase. Los valores del porcentaje de marchitamiento aumentan notoriamente por el contenido coloidal. (47).

El punto de marchitez permanente es el contenido de humedad del suelo por debajo del cual las raíces no pueden obtener agua con la rapidez suficiente para satisfacer sus necesidades de transpiración. (4)

Cuando la tensión de humedad del suelo a través de la zona radicular es baja o cercana a la capacidad de campo, las raíces absorberán más rápidamente de la parte superior del suelo, donde el oxígeno es más abundante y cerca de la planta debido a la menor resistencia que se encontrara en mover el agua a través de las grandes raíces al tallo. A medida que el suelo se seca la tensión de humedad del suelo aumenta y el movimiento del agua llega a ser más lento. Por otra parte a medida que la tensión de humedad del suelo aumenta, la capacidad de las células para absorber humedad del suelo disminuye, y si no se agrega agua al suelo, la planta absorberá agua más lentamente que la que se pierde por la transpiración.

Se ha encontrado que una tensión de humedad del suelo de 15 atmósferas corresponde generalmente con el punto de marchi-

tamiento. (35).

Factores que afectan al P.M.P.

1.- Textura.- A mayor contenido de arcillas, será mayor el valor de P.M.P. y para suelos arenosos éste valor será más bajo.

2.- Materia Orgánica.- Los suelos con alto contenido de materia orgánica, son más suaves y las plantas pueden absorber el agua más fácilmente, y el P.M.P. es más bajo ya que aumenta la cantidad de agua disponible. (23)

2.1.2. Propiedades químicas de los suelos encostrados.

2.1.2.1. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se usa comúnmente para indicar la concentración total de componentes ionizados en las soluciones. Las sales en solución tienen propiedades electrolíticas y conducen una corriente eléctrica.

La conductividad eléctrica es el recíproco de la resistencia específica. La resistencia específica es la resistencia medida en ohmios al paso de una corriente eléctrica de un conductor metálico o electrólito de un centímetro de largo y con área seccional de un centímetro cuadrado. La conductividad eléctrica también se mide en milimhos por centímetro a una temperatura de 25°C y el valor aumenta con el contenido de sales.

(4).

En las regiones áridas con suelos encostrados, donde hay poca lluvia y temperaturas elevadas, existe siempre una tendencia a la acumulación de sales solubles cerca de la superficie. Durante la temporada lluviosa, estas sales pueden moverse hacia abajo hasta las capas inferiores del suelo, pero después de la estación de lluvias, la evaporación intensa lleva de nuevo las sales a la superficie. En los suelos en donde las sales solubles contienen una cantidad de calcio y de magnesio, el sodio no influye sobre los coloides. Estos suelos tienen una buena reserva de carbonatos de calcio. En suelos donde hay poca o ninguna reserva de carbonatos de calcio, el sodio perjudica el complejo coloidal y tiende a aumentar el sodio intercambiable. (48)

2.1.2.2. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio de cationes es la absorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación subsecuente de uno o más iones retenidos por el núcleo.

En general, en cuanto más arcilla haya en un suelo tanto más elevada es la C.I.C.. Los suelos arenosos, tienen en promedio, de 0 a 5 m.e. de C.I.C. por 100 gr. de suelo. En suelos margo-arenoso fino el valor oscila aproximadamente de 5 a 10 m.e. por 100 gr de suelo. En las margas arcillosas es más o menos de 15 a 20 m.e., mientras, que en los suelos de arcilla excede por lo general de 30 miliequivalentes. (4)

Los más numerosos cationes en los lugares de intercambio son calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), hidrógeno (H^+), sodio (Na^+), potasio (K^+) y aluminio (Al^{+++}).

El intercambio catiónico es una reacción importante en la fertilidad del suelo, para corregir acidez y salinidad, en cambios que alteren las propiedades físicas del suelo y como un mecanismo de purificación o alteración de aguas percoladas.

(15)

Los suelos con problemas de encostramiento, teóricamente tendrían un C.I.C. alto porque son ricos en arcilla, sin embargo, cuando la arcilla dominante es la montmorillonita de tipo expansivo, lo cual es común en suelos encostrados, el C.I.C disminuye. Esto se explica, debido a que los iones se movilizan al interior entre los cristales de arcilla cuando ésta se encuentra húmeda (expandida), al deshidratarse y venir la contracción los iones quedan atrapados e inaprovechables para las plantas. La escasez de M.O., la cual actúa como regulador de la humedad, hace que la contracción de la arcilla sea mas abrupta. (37)

2.1.2.3. Reacción del suelo (pH)

El pH del suelo es definida como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno (H^+). La reacción del suelo es una indicación de la acidez o alcalinidad del suelo.

Las bacterias que descomponen la M.O. del suelo y que

00573

suelta nitrógeno y otros nutrientes para la planta son obstaculizados por fuerte acidez. Suelos fuertemente ácidos, generalmente tienen alta y tóxicas concentraciones de aluminio soluble y manganeso. El mayor efecto de un pH alcalino es reducir la solubilidad de todos los micronutrientes (excepto molibdeno) especialmente hierro, zinc y manganeso. (15)

Los suelos encostrados calcáreos del noroste de México presentan pH elevados, debido a que son pobres en M.O. y a la escasez de lluvias, por lo que no se drenan las sales disueltas, principalmente las de Ca, que abundan por la naturaleza calcárea del suelo; además la actividad microbiana productora de compuestos ácidos es menor. La baja conductividad hidráulica de estos suelos, es también un obstáculo para el movimiento de sales a las capas profundas del suelo, por lo que el pH será básico. (47)

El pH depende de la composición del material de origen y de las condiciones topográficas y climatológicas. Por lo general, el pH aumenta con la profundidad, al aumentar el carbonato cálcico y otras sales. (15)

Los suelos muy ácidos generalmente están muy lixiviados, lo cual los convierte en escasos en nutrientes minerales (calcio, magnesio y fósforo). Los suelos no lixiviados de las zonas áridas tienen gran cantidad de calcio (CaCO_3) y bases (17)

2.2. Encostramiento superficial

2.2.1. Generalidades del encostramiento superficial

Las costras en las superficies de los suelos son comunes, particularmente en zonas áridas y semiáridas en donde se tienen pocas cantidades de M.O. en el suelo y la cubierta vegetal es escasa. En estas condiciones, los suelos tienden a formar capas superficiales compactas bajo la acción impactante y aflojante de las gotas de lluvia, seguido de días soleados que resecan la superficie del suelo formándose las costras. El espesor de ésta puede variar de 0.1 mm a 5 cm o aún más y son más compactas, duras y quebradizas cuando están secas, que el suelo que está debajo de ellas. (32, 37)

El encostramiento tiene efectos directos en el crecimiento de la planta y un efecto indirecto en los procesos del suelo. El efecto directo es la obstrucción mecánica a la emergencia, de la plántula que está germinando y daño a las raíces mediante la formación de torceduras, debido a la baja penetrabilidad de las mismas. El efecto indirecto de la costra en el suelo, incluye una disminución en la tasa de percolación del agua, aumento en el escurrimiento y la inhibición de la actividad microbial. (28)

Otro efecto negativo del encostramiento, es que aumenta los costos, ya que debido a una mala o poca emergencia, es necesario replantar, ocasionando un desarrollo desuniforme de los cultivos.

La presencia de la costra afecta al balance hídrico y térmico del suelo, su fertilidad física y susceptibilidad a la erosión. (21)

Hillel (1960) mencionado por Ruiz (41), ha clasificado los efectos nefastos de la costra superficial en dos tipos:

a) Efectos directos, son los que impiden el crecimiento de las plantas por constituir una obstrucción mecánica a la germinación y a la emergencia de las plantas y por reducir el desarrollo de las raíces.

b) Efectos indirectos, son los que influyen en los procesos desfavorables del suelo como es la disminución de la tasa de infiltración, aumento del escurrimiento, la erosión y la disminución de la actividad microbiológica.

2.2.2. Características morfológicas de las costras

La morfología y constitución de las costras dependen, en gran medida de los respectivos suelos subyacentes; sin embargo hay propiedades y características independientes de estos últimos que son comunes a todas ellas. (21)

La costra esta constituida por dos partes:

La primera parte es una capa delgada de aproximadamente 0.1 m de espesor, que se forma en la superficie debido al impacto de las gotas de lluvia y cuya permeabilidad ha sido reducida en dos mil veces aproximadamente.

La segunda capa se forma inmediatamente debajo de la superfi-

cie, las partículas dispersas que surgen del choque son arrastradas por el agua que se filtra, obstruyendo los poros y formando una capa de porosidad disminuída , con lo que la permeabilidad queda reducida unas docientas veces en comparación a la que tendría un suelo sin disturbio. Según Mc.Intyre mencionado por Evans (20), Figueroa (21), Ruiz (41) y Baver (9).

La textura de las costras es diferente del material en que se originaron. En general, hay un enriquecimiento de partículas menores de 100~~µ~~ en detrimento de las fracciones más gruesas. (21)

La densidad aparente de las costras está sensiblemente aumentada. Esto ocurre como consecuencia de la existencia de un arreglo más cerrado entre partículas por la falta de agregación, según Hillel D., 1960; Lemas y Lutz, 1957; citados por Figueroa (21).

Evans y Buol, muestran microfotografías tomadas a través de nicoles cruzados de costras formadas por aplicaciones de riego en suelos franco limosos y franco arcillo limosos de muy baja estabilidad estructural. Puede observarse en ellos la orientación de partículas de arcilla y limo en dirección paralela a la superficie del suelo.

Arndt, mencionado por Baver (9), en su estudio de la morfología de las costras del suelo en relación con el agrietamiento y la salida de las plantas, observó que el patrón natural de agrietamiento y el tamaño de los tallos pueden ser para

la afloración factores más importantes que la resistencia de la costra. Para tallos delgados, las grietas deben ser frecuentes para la salida libre. En el caso de tallos gruesos, las grietas deben ser bastante anchas para que no se atasquen las placas de tierra que el tallo levanta durante la salida.

2.2.3. Mecanismos de formación de las costras.

De acuerdo al mecanismo de formación, Chen et al (1980) Elshamber (1985), citados por Ruiz (41), distinguen dos tipos de costras. 1) La costra de estructura, que es la que se forma por la acción de las gotas de lluvia. 2) La costra de deposición, es la que se forma por el traslado de partículas finas y su depósito a una cierta distancia de su punto de origen

La formación de costras en suelos expuestos a la acción directa del impacto de las gotas de lluvia se debe a dos mecanismos.

1).- Fragmentación de los agregados del suelo por el impacto de la gota de lluvia sobre la superficie del suelo. La destrucción de los agregados reduce el tamaño promedio de los poros de la capa superficial, además el choque de las gotas causa la compactación de la capa más superficial del suelo.

2).- Una dispersión físico-química de las arcillas del suelo las cuales pueden emigrar dentro del suelo con el agua de infiltración, causando la obstrucción de los poros inmediatamente abajo de la superficie. De acuerdo a Evans (1968) y otros autores Mc.Intyre, Paliarl y Shaingers mencionados por Ruiz.

2.2.4. Factores que determinan la formación de las costras

Los factores principales que favorecen la formación de las costras superficiales son, las características intrínsecas del suelo (físicas, químicas, bioquímicas y microbiológicas), y los factores externos, son los que tienen una acción directa sobre la superficie del suelo y pueden dividirse en dos categorías: a) Factores naturales (lluvia, hielo, viento. etc.) y b) Factores antrópicos. (41)

El grado de estructuración y estabilidad de los agregados son los factores determinantes de la resistencia de los suelos al encostramiento superficial. Cuanto mayores son las fuerzas que mantienen unidas a las partículas individuales en agregados, mayor es el esfuerzo necesario para producir la dispersión que determina el posterior encostramiento. (21)

Entre los factores externos, el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo desnudo es el factor natural que determina el encostramiento superficial de los suelos. La energía cinética de las gotas de lluvia en el momento del choque posibilita la disgregación de la estructura superficial en particular individuales o agregados de menor tamaño. La energía cinética de la gota, tomada en forma individual, es igual al producto de la mitad de su masa por la velocidad al cuadrado.

Otro factor de importancia en el encostramiento de los

suelos que presentan baja estabilidad estructural, es el anegamiento que ocurre cuando la intensidad de la lluvia supera a la velocidad de infiltración o durante el riego. El colapso de los agregados se produce por la baja cohesión entre las partículas que integran los mismos la cual se ve sensiblemente disminuida cuando el suelo se encuentra saturado. (21)

Los parámetros físicos mas importantes para explicar la acción de la lluvia en la superficie de los suelos son: la intensidad (mm/h), su energía cinética y su distribución estacional (41)

Dentro de los factores antrópicos, el hombre interviene considerablemente sobre la evolución de la superficie del suelo, mediante urbanismo, técnicas agrícolas (desmontes, máquinas agrícolas pesadas) y prácticas ganaderas (sobre pastoreo, pisoteo de ganado, etc). (41)

2.2.5. Génesis de la costra superficial

Se puede considerar, de acuerdo a varios autores, que existen cuatro fenómenos involucrados en su formación y estabilización.

1.- Destrucción de Agregados.

Es causado por la energía aportada por las gotas de lluvia, que desintegra la estructura de la superficie del suelo por efecto de percusión, tendiendo a disgregarla en partículas individuales. (21)

El impacto de una gota de agua ejerce tres influencias importantes; a) separa el suelo; b) su golpeo tiende a destruir la granulaci3n, y c) su chapoteo, bajo ciertas condiciones, efectua un apreciable transporte del suelo. (10)

Baver (1932), mencionado por Gavande (27) mostr3 que la velocidad del agua necesaria para transportar diferentes partículas del suelo es la siguiente.

0.25 pies x seg. para limos
 1.00 pies x seg. para arenas
 2.00 pies x seg. para gravas.

El máximo efecto de destrucci3n y salpicado se produce cuando la superficie del suelo está saturado y existe una pequeña película de agua sobre la misma. En este estado, la cohesi3n entre partículas está muy disminuida. (21)

2.- Reordenamiento de partículas por sedimentaci3n diferencial.

Las proyecciones de partículas por salpicado, condicionado a la presencia de una película de agua sobre el suelo, da lugar a la sedimentaci3n lentamente, se depositan sobre la superficie de la costra sellando los espacios entre los más grandes.

El escurrimiento superficial también ocasiona el desprendimiento y arrastre de partículas de distinto tamaño que luego van a sedimentar de igual manera.

3.- Efecto de reordenamiento de partículas durante el secado de la costra.

Durante el proceso de secado del suelo la tensión superficial del agua produce el acercamiento de las partículas individuales entre si, que se disponen en un arreglo más cerrado a medida que la desecación avanza. Al no existir agregados grandes la macroporosidad en esta capa superficial desaparece dando lugar a una costra dura y densa. Lemas y Lutz (1957) y Hillel (1960) han comprobado que la resistencia mecánica aumenta cuando más lenta es la velocidad de secado. Dichos autores atribuyen este hecho a que se logra un mayor reacomodo de partículas y un arreglo más cerrado de las mismas cuando el secado se produce lentamente.

4.- Cementación de partículas por precipitación de sustancias solubles.

Existen agentes cementantes en el suelo cuyo papel en la estabilización de las costras es muy importante. La silicie en solución, es el de mayor significación en regiones áridas y semiáridas donde el problema del encostramiento de los suelos es más severo. (21)

El silicio en la solución del suelo se encuentra en forma de H_4SiO_4 a una concentración que puede variar de 10 a 25 ppm de SiO_2 , en zonas áridas puede llegar a 120 ppm, esto es a un pH menores de 9.5.

Al concentrarse la solución del suelo se produce la precipitación de la sílice, que sufre una deshidratación paulatina por efecto del secado, pasando de un gel de consistencia elástica a tener consistencia dura. Se supone que en el suelo estos precipitados de sílice amorfa se producen como puentes entre las partículas.

2.2.6. Técnicas para prevenir el encostramiento superficial del suelo

Los precedimientos mas comunes para evitar la formación de costras del suelo son, incorporación de materia orgánica (compost, estiércol, paja etc), uso de cubiertas, labranza, manejo adecuado del subsuelo, drenaje, irrigación, métodos específicos de conservación, rotación de cultivos, sustancias químicas.

El encostramiento de los suelos puede ser controlado con una cobertura de M.O., ya que lo protege de la acción de las gotas de lluvia, al promover la formación de agregados estables que resisten la dispersión (9)

Benett, et al (1964), citado por González (28), probando diferentes materiales como cobertura para mejorar la emergencia del algodón, comprobó que estos disminuyeron la tendencia del suelo al encostramiento, consiguiendo un 10% de emergencia en suelos desnudos, 78% con coberturas de plástico negro y 50% con coberturas de emulsión de asfalto o resina vinil.

Wills (55), encontró diferencias altamente significativas, en la formación de costras, utilizando diferentes métodos de labranza y diferencias significativas al 5% para los tratamientos con cobertura. El método de labranza mínima con adiciones de estiércol y cobertura de paja, provocó en general, mejores condiciones físicas del suelo, ya que redujo la compactación y la tendencia al encostramiento.

Dentro de los métodos mecánicos se pueden diferenciar los preventivos y los correctivos. Los primeros consisten en una buena preparación del terreno, lo que aumenta la tasa de infiltración y conserva la estructura del suelo, dejando en la superficie del suelo terrones grandes que disipan en parte la energía cinética de las gotas de lluvia. En los últimos años la labranza mínima, cero labranza y/o labranza de conservación, han sido utilizadas. Estos sistemas reducen el número de operaciones evitando así el movimiento excesivo del suelo u el paso de máquinas agrícolas pesadas sobre la superficie del suelo. Estos métodos son muy eficientes para los suelos altamente sensibles a la formación de costras superficiales a la compactación.

Los métodos correctivos son usados cuando ya se ha formado la costra, y consisten en la utilización de implementos agrícolas como el azadón, el arado y de cinceles comúnmente utilizados para la ruptura de costras superficiales. (2)

El laboreo excesivo o realizado cuando el suelo tiene muy

bajo contenido hídrico conducen a la pulverización de los agregados, por lo tanto, lluvias de menor intensidad y duración son suficientes para provocar la formación de la costra. (21)

La rotación de cultivos y su influencia en la agregación de y estabilidad de los agregados ha sido demostrada por distintos autores.

Mc. Intyre (1958) citado por Figueroa. (21) provocó encostramientos mediante lluvias artificiales en muestras de un mismo suelo sometido a distintas rotaciones, entre las cuales se incluía suelo virgen, rotación 1 (barbecho - trigo - arvejas - pastura) y rotación 2 (barbecho - trigo). La velocidad de infiltración, que resulta una buena medida de la severidad del encostramiento, fue superior en el suelo virgen y luego en rotación 1. Se pone en evidencia la importancia de aumentar la agregación y estabilidad de los agregados mediante rotaciones adecuadas.

Miller (1974) citado por Wills (55) menciona que el empleo de carbón mineral como forma de reducir el encostramiento del suelo, es efectivo, al haber encontrado que al adicionar este material al suelo, después de 2 ó 3 semanas, la humedad se mantenía adecuadamente, además no se encostró el suelo, en relación al suelo desnudo que se secó al segundo o tercer día y se encostró.

Para disminuir los problemas que causa el encostramiento a la germinación de las semillas, es aconsejable sembrar en hú

medo, ya que mediante este sistema la semilla emerge bajo buenas condiciones de estructura y humedad del suelo, aunque posteriormente se presente el encostramiento.

La aplicación de estabilizadores sintéticos de la estructura no ha tenido un uso muy generalizado debido a sus altos costos.

El acondicionador del suelo, AVAM (copolímero de acetato de vinilo con ácido maleico) disminuyó la resistencia a la ruptura de los suelos con baja densidad en masa. El encostramiento de los suelos fuertemente sódicos ha sido evitado mediante la mezcla íntima de AVAM o PANH (poliachlonitrilo hidrolizado) con el suelo en el momento de aplicación.

Otros acondicionadores de suelos son el alcohol polivinílico (APV), que forma complejos interlaminares con arcillas de retícula estratificada, el Kirilium ayuda también a estabilizar los agregados del suelo contra la acción de la fuerza dispersante de las gotas de lluvia el poli-acrílico-nitriloñidrolizado en forma de copolímeros comúnmente Super Slurper, el cual reduce la fuerza de las costras y el rango de infiltración y aumenta la retención del agua, el hedadecanol a sido usado en los suelos para probar su estabilidad ocasional e influencia en el módulo de ruptura (9,28).

Los acondicionadores son sustancias activas aplicadas en solución aproximadamente de 10 a 20 kg/ha del producto en solución con 1,000 lts. de agua. Estos producen un efecto suficiente

te para permitir la germinación. (28).

2.2.7. Métodos para evaluar la resistencia de la costra.

La resistencia de la costra puede evaluarse por varios métodos. El más usado es la prueba del módulo de ruptura para simular el encostramiento. Otro método es la resistencia a la penetración de una sonda en el suelo y también puede ser medida con referencia a la plántula naciente.

El método del módulo de ruptura se explica detalladamente en el punto 3.5.1. ya que fue el método utilizado en el presente experimento.

El empleo del módulo de ruptura como índice de encostramiento del suelo se basa en que las propiedades físicas del bloquesito simulan las de las costras naturales y en que el módulo de ruptura representa la fuerza de las plantitas recién nacidas para romper la costra.

El módulo de ruptura es mayor para las arcillas montmorilloníticas que para las caoliníticas en igualdad de composición por tamaños de partículas.

La resistencia de la costra, medida por la técnica del módulo de ruptura, aumenta a medida que el índice de desecación disminuye. La resistencia es mayor cuando la lluvia cae sobre el suelo secado al aire que cuando cae sobre suelo ya mojado. Existe una relación directa entre el contenido de arcilla y la resis-

tencia de la costra cuando el suelo no contiene M.O. (9).

2.3. Materia Orgánica (M.O.)

2.3.1. Generalidades de la M.O. del suelo

La materia orgánica representa una etapa determinada en un movimiento interminable de los elementos carbono, hidrógeno oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre entre los organismos vivos y el reino mineral. A medida que se forma materia orgánica nueva, una parte de la vieja pasa a mineralizarse. La M.O. es uno de los factores que más contribuye a la fertilidad de los suelos, además de ser una fuente de nutrientes para la planta, proporciona alimentos para los microorganismos del suelo (47)

La materia orgánica del suelo puede distinguirse del humus, ya que la M.O. consiste en cualquier sustancia de origen orgánico, vivo o muerto, mientras que el humus es bastante estable y amorfo, de un material coloreado de pardo o negro que se forma como resultado de la descomposición de los residuos de las plantas y animales, sin vestigios de la estructura del material del cual se deriva.

Según Arreola (8) el uso de los abonos orgánicos disminuye debido al incremento del uso de los fertilizantes químicos (1940 - 1970). En la actualidad vuelven a cobrar gran importancia, ya que los fertilizantes orgánicos presentan ventajas sobre los fertilizantes químicos,

La materia orgánica ejerce gran influencia sobre las pro-

propiedades físicas del suelo tales como: la estructura, la penetración y retención del agua y la composición. La M.O., junto con la arcilla, tienen muchas propiedades coloides, valiosas para el suelo. (27)

Robinson, (40) indica que la materia orgánica asociada con la arcilla y presumiblemente adsorvida a ésta, forma la fracción más efectiva en la estabilización de los agregados. Esta materia orgánica afecta las propiedades de las arcillas impartiendoles mayor estabilidad que cuando actúan solas ya que les reduce su capacidad de hinchamiento, elimina las fuerzas del aire atrapada y disminuye su poder de humedecimiento.

2.3.2. Funciones de la M.O. en el suelo.

1.- En la fertilidad del suelo, las sustancias orgánicas tienen un papel importante en la producción de nutrientes para la planta, los cuales quedan liberados en forma disponible durante la mineralización de la M.O. (6, 25, 39, 47).

2.- La M.O. incrementa la capacidad de retención de agua, al reducir escurrimiento superficial y la erosión hídrica.

3.- La agregación que provoca la M.O., al descomponerse, le facilita la entrada y filtrado al agua a través del suelo, la condición granular del suelo favorece una buena aereación y permeabilidad. Los poros grandes facilitan que el suelo absorba oxígeno de la atmósfera y que expulse bióxido de carbono. (47).

Bayer (1935) observó una correlación muy alta entre la materia orgánica y la agregación en suelos que contienen menos del 25% de arcilla. El grano en que las partículas más finas están agregadas guarda notable correlación con el porcentaje de carbono orgánico en el suelo.

La arcilla y los coloides orgánicos causan la mayor parte de la agregación del suelo. Es importante notar que aún en los suelos desérticos, pobres en agregados, la cantidad de éstos está correlacionada con las pequeñas cantidades de M.O. (9)

4.- La M.O. sirve como un depósito de elementos químicos que son esenciales para el desarrollo de las plantas, contiene la mayor parte del N del suelo y cantidades considerables de fósforo y azufre en formas orgánicas. Al descomponerse, la M.O. proporciona los nutrientes necesarios para las plantas en desarrollo, así como muchas hormonas y antibióticos. (9).

5.- Una adecuada estructura por medio de la incorporación de M.O., permite un adecuado suministro de oxígeno para las raíces de las plantas así como para los microorganismos del suelo (9, 39).

6.- La M.O. al descomponerse produce ácidos orgánicos y bióxido de carbono que ayudan a disolver minerales como el potasio.

7.- La M.O. ayuda a compensar los suelos contra cambios químicos rápidos en el pH, a causa de la agregación de sal y fertilizantes. (9, 13).

8.- La M.O. sirve como una fuente de energía para el desarrollo de los microorganismos del suelo, por ejemplo, los organismos fijadores (Azotobacter y Clostridium) necesitan M.O. que se descomponga con facilidad de la cual poder obtener el carbono.

9.- La M.O. reciente proporciona alimento para seres como lombrices, hormigas, y roedores, los cuales perforan en el suelo canales y galerías, que sirven para aflojar el suelo, mejorar su aireación y permeabilidad.

10.- Las pérdidas de agua por evaporación se reducen mediante capas protectoras orgánicas.

11.- La M.O. fresca tiene una función especial, porque facilita la obtención del fósforo del suelo en los suelos ácidos, ya que al descomponerse libera oxalatos, citratos, tetratos y lactatos que se combinan con el Fe y Al con mayor rapidez que el fósforo.

12.- Los ácidos orgánicos liberados de la M.O. en descomposición ayudan a reducir la alcalinidad de los suelos.

13.-El humus proporciona un almacén para los cationes, potasio, calcio y magnesio, intercambiables y disponibles. También impide la lixiviación de los fertilizantes amoniacales, porque el humus retiene el amonio en forma intercambiable y obtenible. (9)

2.3.3. Composición de la M.O.

En los suelos en que se desarrollan plantas, una parte de

éstas vuelve luego al suelo. En condiciones naturales, una vez muertas las plantas todo el follaje cae al suelo y se descompone. En los lugares donde hay agricultura y ganadería una pequeña proporción de todo el conjunto de la planta vuelve directamente al suelo y el resto se cosecha por los agricultores o sirve de alimento al ganado. En los suelos cultivados, la descomposición de la materia orgánica suministra cantidades considerables de nutrientes indispensables para el desarrollo de los cultivos y es especialmente importante en el abastecimiento de nitrógeno, azufre y fósforo. (12).

La M.O. del suelo es una sustancia muy compleja. Contiene varios materiales, cuyos porcentajes varían de acuerdo con la clase de residuos de plantas o animales y de su estado de descomposición. Dichos materiales son los siguientes.

- 1.- Carbohidratos, que incluyen azúcares, almidones y celulosa.
- 2.- Lignina
- 3.- Tanino
- 4.- Grasas, aceites y ceras.
- 5.- Resinas
- 6.- Proteínas
- 7.- Pigmentos
- 8.- Minerales como calcio, fósforo, azufre, hierro, magnesio y potasio.

En gran parte, el porcentaje mayor de M.O. del suelo es de lignina y proteínas (47).

Según Collins (12) la M.O. de los suelos se puede dividir

en diferentes fracciones. Una de esta es la M.O. no descompuesta, gran parte de esta fracción esta concentrada cerca o en la misma superficie del terreno, pero alguna pasa hacia la zona radicular.

La segunda fracción principal de M.O. es la coloidal y se forma por descomposición de la fracción visible. Esta fracción es el humus y se encuentra en todas las profundidades del perfil del suelo, aunque la mayor concentración esta cerca de la superficie del terreno.

Los constituyentes orgánicos de las plantas se dividen generalmente en seis amplios grupos:

a) Celulosa, es el constituyente entre químico más abundante cuya cantidad varía del 15 al 60% de peso seco.

b) hemicelulosas, forman el 10 al 30% de peso.

c) Lignina, constituye del 5 al 30% de la planta.

d) La fracción soluble en agua, que incluye azúcares simples aminoácidos y ácidos alifáticos, 5 al 30%.

e) Constituyentes solubles en alcohol y éter, fracción que contiene grasas, aceites, ceras, resinas, 1 - 8 y peso seco.

f) Proteínas, que tiene en su estructura la mayor parte del nitrógeno o azufre vegetal, constituyen del 1 al 15% del peso seco de la planta. (5)

2.3.4. El Ciclo del Carbono

El carbono es el constituyente común en toda la materia orgánica. Mucha de la energía adquirida por la fauna y flora en el suelo viene de la oxidación del carbono (10)

El dióxido de carbono es convertido a carbono orgánico, principalmente por la acción de organismos fotoautotróficos, estos organismos suministran los nutrientes orgánicos necesarios para los animales heterótrofos y para los organismos microscópicos que no contienen clorofila.

Los organismos fotosintéticos fijan constantemente el carbono formando compuestos orgánicos con la ayuda de la luz solar y una vez que el elemento se ha fijado, no puede utilizarse para generar nuevas plantas. Para que los organismos superiores sigan proliferando, es necesario que los materiales carbonados sean descompuestos y regresados a la atmósfera.

El metabolismo microbiano ocupa el papel principal en la secuencia cíclica después de la muerte de las plantas o animales. Mediante los procesos de putrefacción y fermentación, desdoblan los compuestos de carbono de plantas y animales muertos y los transforman en bióxido de carbono (5, 53).

Al ser digeridos los compuestos de los residuos vegetales el anhídrico carbónico es expulsado. Esta es la principal fuente de este gas, a pesar de que pequeñas cantidades de él sean excretadas por las raíces de las plantas y sean incorporadas

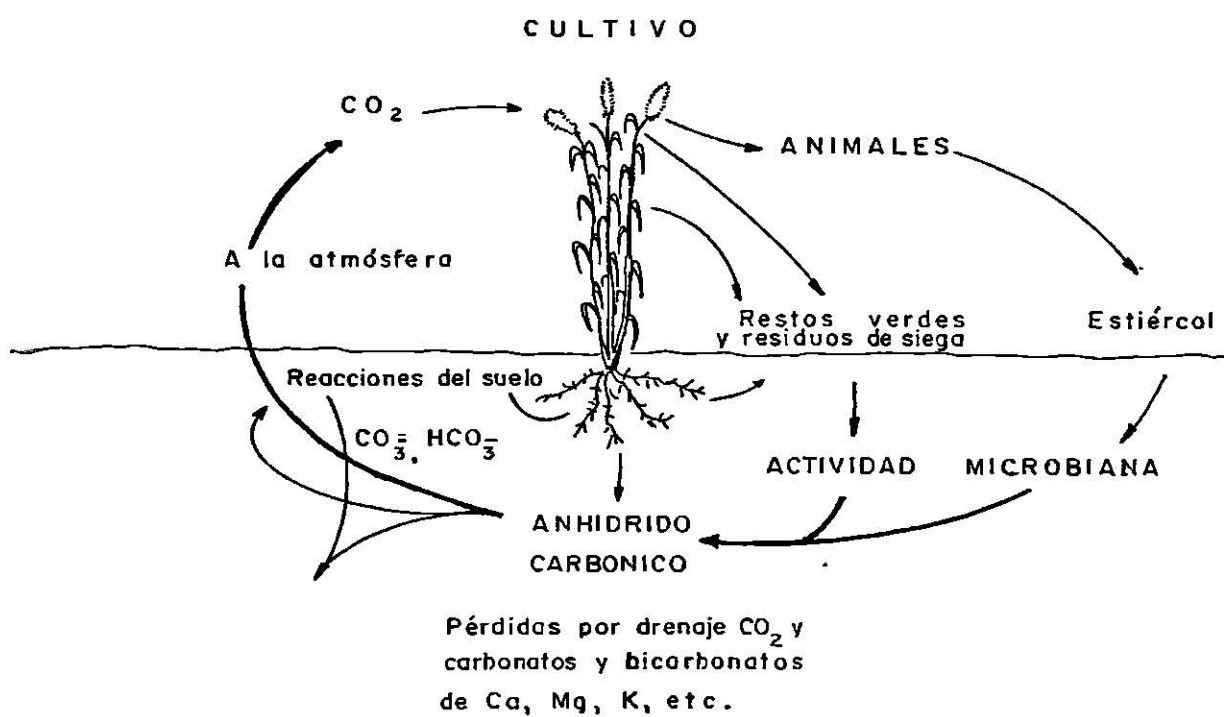


Figura 1. Representación en diagrama del ciclo del carbono según Buckman.

al agua de lluvia. (10)

2.3.5. Microbiología del suelo

2.3.5.1. Clasificación de los microorganismos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica

Las mas importantes por su número y actividad, desde el punto de vista agrícola son:

a) Bacterias. Son las formas más simples de la vida vegetal. Este grupo es muy importante, que incluye los organismos que fijan el nitrógeno y los que transforman el nitrógeno amoniacal en nitrógeno nitrato. Existen dos clases de organismos que pueden fijar nitrógeno. Una es la bacteria simbiótica que fija el nitrógeno sobre los nódulos de las raíces de las leguminosas. El otro grupo posee vida libre y fija nitrógeno. La bacteria de vida aislada (no simbiótica) absorbe el nitrógeno del aire y la energía de la descomposición de los tejidos de las plantas. La bacteria simbiótica toma nitrógeno del aire y la energía la absorbe de la leguminosa en la que se hospeda.

Las bacterias se dividen en dos grupos llamados aerobias y anaerobias. Las bacterias aerobias absorben el oxígeno del aire. Las anaerobias no requieren, y a algunos les perjudica, la presencia del oxígeno gaseoso.

b) Hongos. Son de tamaño muy variable. Crecen mejor en un suelo ácido, ya que soportan una deficiencia en calcio y toleran la acidez. Aunque su número es mucho menor contribuyen en

mayor peso a la materia orgánica del suelo, debido a su mayor tamaño.

c) Actinomicetales. Son los intermedios entre las bacterias y los hongos. Son organismos unicelulares, pero con una forma superior de vida. Se encuentran en grandes cantidades, particularmente en suelos sembrados de gramíneas y con elevado contenido de calcio. El olor característico de la tierra recién labrada se debe a los actinomicetos. (49)

2.3.5.2. Requerimientos nutricionales de la microflora que descomponen la M.O.

Los organismos del suelo tienen en general, las mismas necesidades de elementos nutricionales que las formas superiores de vida. Para su crecimiento y desarrollo todos ellos requieren suministro de energía además de algunos elementos esenciales incluyendo, carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio y azufre. Con excepción de algas, todos los microorganismos importantes del suelo están desprovistos de clorofila y deben obtener su energía de la oxidación de sustancias inorgánicas simples, como lo hacen las bacterias autotróficas; o de sustancias inorgánicas complejas como lo verifica la mayor parte de las bacterias (organismos heterotróficos), todos los hongos y todos los actinomicetos. De ésta manera, para la gran mayoría de los organismos, la materia orgánica del suelo es la fuente de energía y nutrientes. (35)

2.3.5.3. Crecimiento de las poblaciones microbianas

El nitrógeno es necesario en alguna forma para la descomposición de la M.O. por los microorganismos heterótrofos del terreno. Si el material orgánico que se descompone tiene una cantidad de nitrógeno pequeña en relación al carbono presente, los microorganismos utilizan algún NH_4^+ o NO_3 presentes en terreno ulteriores a la descomposición. Este nitrógeno es necesario para permitir el rápido crecimiento de la población microbiana que acompaña a la adición al terreno de una gran proporción de material carbonado.

Durante las etapas iniciales de la descomposición de los materiales orgánicos recientes hay un rápido aumento en el número de organismos heterótrofos, acompañado por la evolución de grandes cantidades de dióxido de carbono. Si la relación C : N del material reciente es amplia, habrá una inmovilización neta del nitrógeno. Cuando se produce la disminución, la relación C : N se hace mas pequeña y el suministro de energía (carbono) disminuye. Una proporción de la población microbiana muere a causa del decrecimiento del alimento disponible, y se alcanza por último un nuevo equilibrio. El logro de este nuevo equilibrio se acompaña de la liberación de nitrógeno mineral. El resultado es que el nivel final de esta forma de nitrógeno en el suelo puede ser mayor que el nivel original.

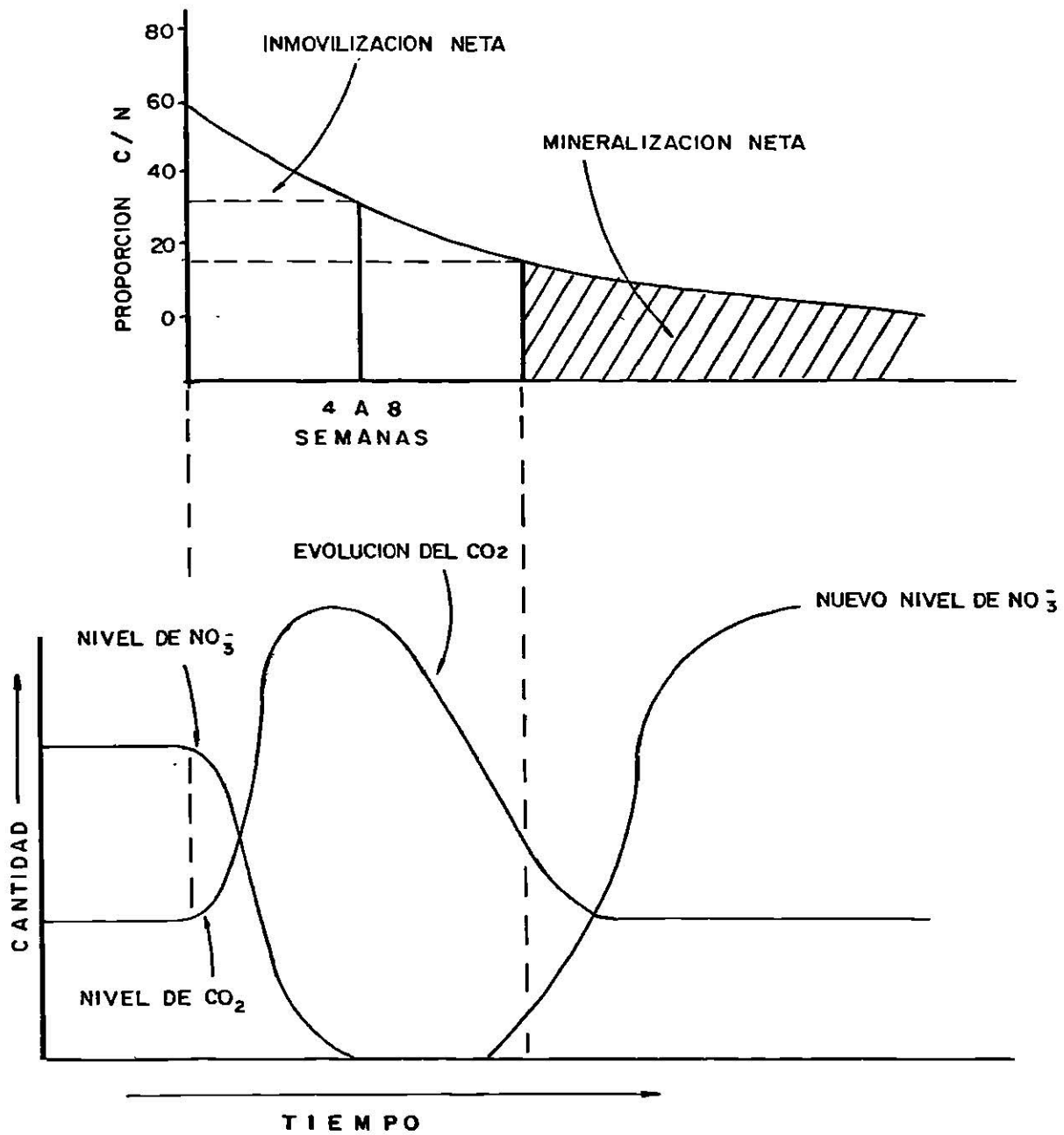


Figura 2. Cambios en los niveles del nitrato del suelo, durante la descomposición de los residuos de las cosechas pobres en nitrógeno.

2.3.6. Descomposición de la M.O. del suelo

2.3.6.1. Proceso de descomposición

Cuando el tejido de la planta queda en el suelo los microorganismos inician la descomposición del material (si la humedad, temperatura y ventilación son las apropiadas). Los microorganismos van incrementando su número. Además de otros elementos esenciales, precisan nitrógeno para las proteínas, carbono para sus estructuras orgánicas y para su oxidación como fuente de energía. Si la relación C : N del tejido de la planta es elevada, los microorganismos tienen el carbono necesario para sus diversas síntesis, y como material energético, pero carecen del nitrógeno necesario para la formación de las proteínas, en consecuencia la descomposición será lenta.

La adición de nitrógeno asimilable acelera este proceso, los microorganismos emplean inmediatamente este nitrógeno y rápidamente aumenta su número. Al efectuarse este aumento se va asimilando más carbono junto con el nitrógeno y simultáneamente se oxida mayor cantidad de carbono en el proceso respiratorio, desprendiéndose CO_2 . Al morir parte de los microorganismos sus cuerpos se descomponen, parte del C procedente de los mismos es reasimilado y otra parte oxidado. El proceso va continuando con pérdida de carbono, y por lo tanto la relación C: N se va reduciendo. Progresivamente, llega a ser de 17:1, y entonces hay más nitrógeno del necesario, ya que a los microorganismos les falta carbono. Parte del nitrógeno se pierde enton-

ces en forma de NH_3 . Sin embargo, esto no supone que la descomposición se detenga, sino que prosigue desprendiendo ahora CO_2 y NH_3 .

La descomposición es más fácil si el material inicial contiene mucho nitrógeno (49)

La mayoría de los productos intermediarios en la descomposición de la fracción orgánica del suelo probablemente se metaboliza tan pronto como se producen. En suelos con buen drenaje se forman ácidos y alcoholes, pero raramente se acumulan en cantidades apreciables debido a que son fácilmente metabolizados por bacterias, actinomicetos y hongos.

Cierto número de investigadores han reportado que la tasa de descomposición de los materiales vegetales depende del contenido de nitrógeno de los tejidos siendo metabolizados más rápidamente los sustratos ricos en proteínas. (5)

La descomposición, tanto de los residuos vegetales como de la materia orgánica del suelo, no es más que un proceso de digestión enzimática.

Escencialmente la descomposición de la M.O. se efectúa por dos procesos.

1.- Humificación

2.- Mineralización

(26)

Según Buckman (10) a medida que los cambios enzimáticos

de la materia orgánica del suelo se producen, los productos comienzan a manifestarse libremente.

Algunos de ellos especialmente CO_2 y H_2O aparecen inmediatamente. Otros, como el nitrógeno en forma de nitrato se acumulan sólo después que se haya alcanzado el máximo de la vigorosa descomposición y los organismos del plan general de degeneración han disminuido en su número.

Los productos simples más comunes que resultan de la actividad de los microorganismos del suelo pueden ser ordenados como sigue:

C	CO_2 ,	CO_3 ,	CO_3^-	H,	CH_4 ,	Carbón elemental
N	NH_4^+	NO_2 ,	NO_3			Nitrógeno gaseoso
S	S,	SH_2 ,	SO_3 ,	SO_4^- ,	S_2C	
P	PO_4H_2^-	PO_4H^-				
Otros	H_2O ,	O_2 ,	H_2 ,	H^+ ,	OH^- ,	K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , etc.

2.3.6.2. Composición del Humus

El humus es un producto de las actividades de síntesis y descomposición de la microflora. Es reserva alimenticia predominante debido a que contiene el carbono orgánico y el nitrógeno que se requiere para el desarrollo microbiano.

La fracción orgánica nativa se origina de dos fuentes.

- Los restos vegetales que son modificados por la microflora
- de los componentes de células microbianas y productos de

su metabolismo que son relativamente resistentes a la descomposición y consecuentemente permanecen durante algún tiempo después de la muerte del organismo. En cuanto a elementos específicos la fracción orgánica contiene compuestos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre y pequeñas cantidades de otros elementos. Solo una pequeña porción del total es soluble en agua, pero gran parte puede solubilizarse con álcalis. Respecto al tipo de compuestos, el humus contiene cierto número de sustancias polimerizadas; moléculas aromáticas, polisacáridos de diferentes clases, cadenas de aminoácidos, polimeras de ácido urónico y pueden encontrarse también compuestos que contienen fósforo. El humus debe considerarse como una porción del suelo compuesta por un grupo heterogéneo de sustancias, la mayoría de las cuales tienen origen y estructura química desconocida (5).

En la formación de humus a partir de los residuos vegetales, hay una rápida reducción de los constituyentes solubles en agua, de las celulosas, y de las hemicelulosas; un aumento relativo en el porcentaje de lignina y complejos de lignina y un incremento en el contenido de proteínas.

2.3.6.2.1. Características y propiedades del humus.

El humus es la M.O que ha sufrido una descomposición extensiva, y que es bastante resistente a cualquier alteración posterior. El humus es prácticamente insoluble en agua, aunque

una parte puede formar una suspensión coloidal en agua pura. Contiene un 3 a 6% de nitrógeno. El contenido de carbono es por lo general de 55 a 58%.

Otra propiedad importante del humus es su alta capacidad de intercambio catiónico, el cual está asociado con algunos grupos químicos activos como el carboxilo (-COOH). El humus mejora las condiciones físico-químicas del suelo, como estructura, humedad, porosidad, almacén de nutrientes, aereación, pH, neutralización de sustancias tóxicas, retiene los fertilizantes etc.

El humus adsorbe grandes cantidades de agua y presenta propiedades de expansión y contracción. No presenta propiedades de adhesión y cohesión tan marcadas como las de los coloides minerales y es menos estable debido a que está sujeto a descomposición microbiana (35).

Se puede considerar a la basura de áreas metropolitanas como un sustrato fermentecible, capaz de humificarse, en distintas etapas, presentándose en las primeras tres, una fuerte hidrólisis con la formación de aminoácidos y monosacáridos, moléculas que más fácilmente forman parte de partículas humicas (13).

Aguilera H. et al (1974), en su experimento concluye que la fibra de Agave tequilana es favorable para la obtención de material humificante, y se obtienen productos de humificación más fácilmente mineralizable en el suelo. El suelo de composta

se encuentra enriquecido con mayores % de materia orgánica y una mayor agregación y el crecimiento vegetal es óptimo.

2.3.6.3. Influencia del medio ambiente en la descomposición de M.O.

Los factores principales que rigen la descomposición del humus son el nivel de M.O. del suelo, cultivos, temperatura, humedad, pH, profundidad y aereación.

La descomposición del humus se puede llevar a cabo a temperaturas por debajo del punto de congelación y se acelera con el aumento de la temperatura, siendo el óptimo de 30 - 40°C.

La humedad afecta también la respiración en el suelo, por lo que el medio ambiente debe contener agua suficiente para que se efectúe la máxima acción de los microorganismos. La tasa de liberación de CO₂ aumenta cuando el suelo está expuesto a un ciclo de sequía y humedad; tales ciclos estimulan la actividad de los organismos..

La mineralización del carbono es más rápida en suelos que van de un pH neutro a uno ligeramente alcalino.

La degradación de los principales constituyentes vegetales disminuye con el descenso del suministro de O₂. Los microorganismos crecen fácilmente en medios líquidos provistos de un abasto amplio de O₂; en el suelo, los niveles altos de humedad reducen las actividades microbianas, no como resultado directo del agua misma, sino indirectamente por la obstacula-

ción del movimiento del aire, reduciendo así el suministro de O_2 .

El contenido de lignina, relacionado con la edad de la planta, también influye en la velocidad de descomposición, los tejidos jóvenes, se descomponen más rápidamente.

El grado de desintegración del sustrato también afecta la velocidad de descomposición, descomponiéndose más rápidamente los materiales formados de partículas pequeñas. (5)

2.3.6.4. Cambios durante la descomposición de la M.O.

En los tejidos en los que el 20 al 30% de la materia seca es soluble en agua sufre primeramente los cambios. Las ligninas son altamente resistentes y empiezan a ser de manera relativa más abundantes.

En tejidos suculentos el grueso de la M.O. perdida durante la descomposición se deriva de los constituyentes celulósicos, hemicelulósicos y los solubles en agua. Por el contrario la mayor parte del peso perdido en materiales leñosos es resultado de la desaparición de celulosa.

Al agregar M.O. al suelo hay una caída inmediata y marcada en el O_2 y un incremento en el contenido de CO_2 del aire del suelo; al mismo tiempo, el potencial de óxido-reducción es cambiado a una condición más reducida.

El contenido de hidróxilo de los residuos desciende, mien-

tras el contenido carboxílico y la capacidad de intercambio catiónico se eleva, conforme progresa la putrefacción.

La cantidad y tipo de arcilla en el suelo tienen relación con la mineralización del carbono, debido a que las arcillas adsorben muchos sustratos orgánicos, enzimas extracelulares que fraccionan carbohidratos, producidos por los microorganismos, y aun células bacterianas. Las arcillas tienen una marcada capacidad de retención de carbono, suprimiéndose la descomposición en su presencia. (5)

2.3.7. Mineralización anaeróbica del carbono

La mineralización es un término usado para definir la conversión de compuestos orgánicos de un elemento al estado inorgánico.

Una porción importante de la M.O. es mineralizada cada año, pero la cantidad que se pierde es compensada por el retorno de M.O. proveniente de la vegetación.

Los principales productos de la mineralización aeróbica del carbono son CO_2 , agua, células y componentes del humus. En ausencia de O_2 el carbono orgánico no es metabolizado totalmente, se acumulan sustancias intermedias y se liberan abundantes cantidades de CH_4 y pequeñas cantidades de H_2

Las transformaciones anaeróbicas del carbono están caracterizadas por la formación de ácidos orgánicos, alcoholes, CH_4

y CO₂ como productos finales principales.

2.4. Actividades de los microorganismos del suelo sobre los productos de la descomposición de la M.O.

2.4.1. El ciclo del nitrógeno

El nitrógeno es la unidad estructural clave de la molécula de proteína sobre la cual se basa toda la vida.

Una pequeña parte del gran reservorio de N₂ en la atmósfera es convertido en compuestos orgánicos por algunos microorganismos de vida libre o por una asociación planta-microorganismo que toma al elemento directamente aprovechable por la planta. El nitrógeno presente en las proteínas o ácidos nucleicos de los tejidos vegetales es usado por los animales. En el cuerpo animal el nitrógeno se convierte a otros compuestos simples y complejos. Cuando los animales y las plantas son sujetos a la degradación microbiológica, el nitrógeno orgánico es liberado como amonio que a su vez es utilizado por la vegetación o es oxidado a nitrato. Este último ion puede perderse por lixiviación, servir como nutriente vegetal o puede ser reducido alternativamente a amonio o a N₂ gaseoso, que escapa a la atmósfera, completando así el ciclo. (5, 53).

2.4.2. Mineralización del Nitrógeno

La mineralización del nitrógeno es la conversión de nitrógeno orgánico al estado inorgánico, mas móvil. Se lleva a cabo

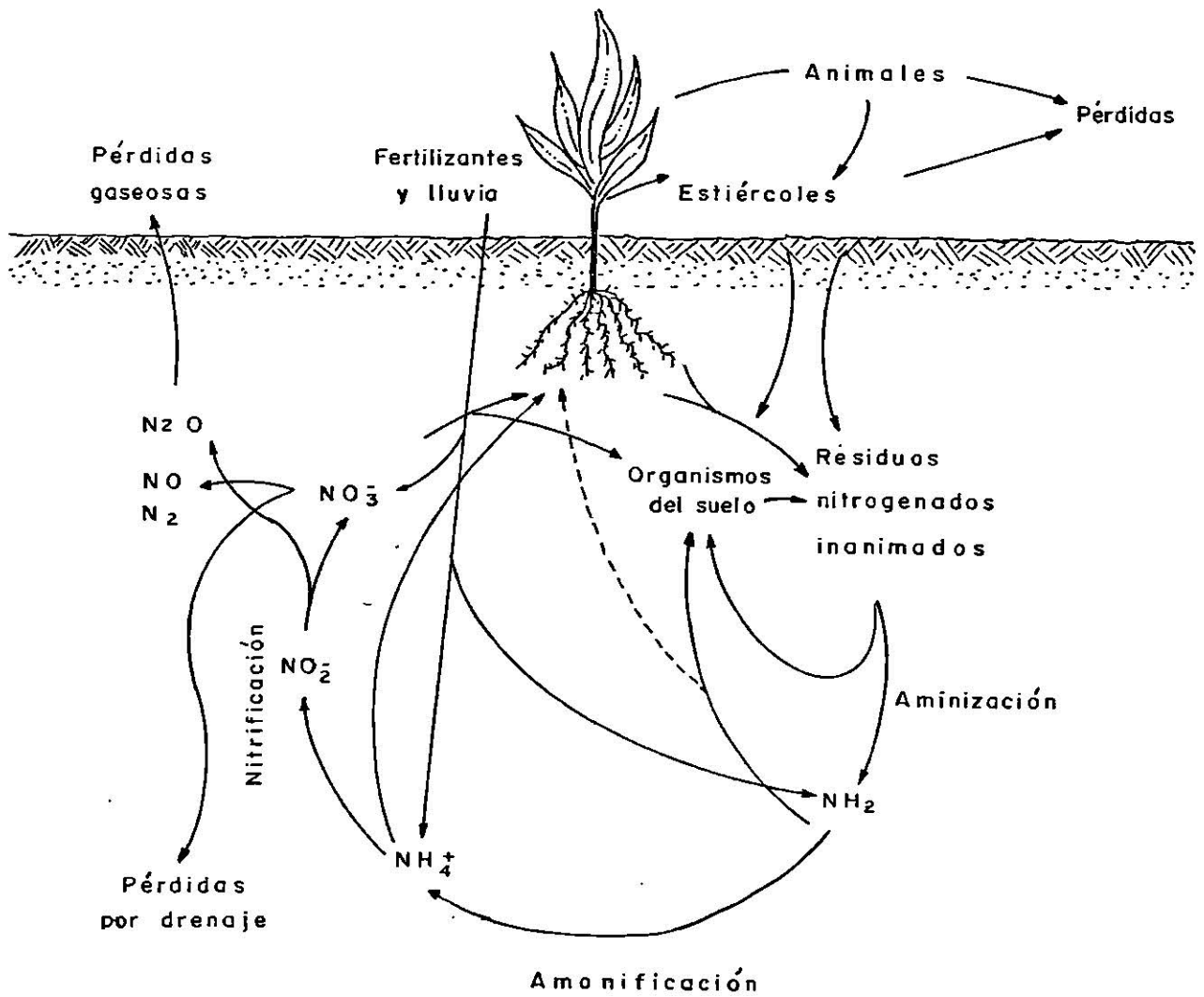


Figura 3. Parte principal del ciclo del nitrógeno.

por los procedimientos siguientes.

2.4.2.1. Aminización:

Es la descomposición hidrolítica de las proteínas y la liberación de a m inas y aminoácidos por algunos organismos heterotrofas.

2.4.2.2. Amonificación.

A la transformación de los compuestos nitrogenados orgánicos en amoniacos se le llama amonificación. El proceso de amonificación implica una simplificación gradual de los compuestos complejos.

Proteínas— Polipéptidos— Aminoácidos— Amoniacos

La amonificación parece progresar más rápidamente en suelos bien drenados y aireados, con muchos cationes alcalinos presentes.

El NH_4 producido puede ser utilizado por los propios organismos amonificantes, por las plantas, los iones NH_4 están sujetos a la fijación por algunos minerales arcillosos y por último cuando la síntesis vegetal y animal está satisfecha temporalmente, el exceso de nitrógeno amoniacos, se oxida por ciertas formas bacterianas (10, 47).

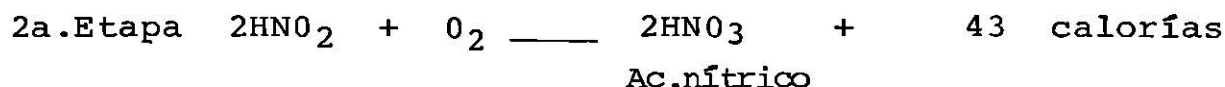
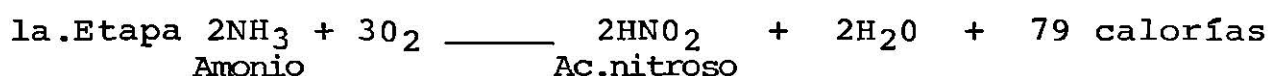
2.4.3. Nutrición

Es un proceso aeróbico que implica la producción de nitrato

tos a partir de las sales de amonio.

La nitrificación se lleva a cabo cuando menos en dos etapas: 1ª Es la producción de ácido nitroso a partir del amoniacó, 2ª A partir de la oxidación de nitrito produce nitrato.

Los cambios enzimáticos son los siguientes:



En este proceso, los organismos que lo llevan a cabo son autótrofos, en contraste con los heterótrofos relacionados con la aminización y amonificación.

Los organismos nitrificantes se llaman nitrobacterias, actúan en la conversión de los compuestos amoniacaes en nitritos. Los organismos que intervienen en la oxidación de los nitritos en nitratos se llaman generalmente nitrobacter (10, 48, 49).

Factores que determinan la nitrificación

Temperatura: La temperatura mas favorable es de 27 a 32°C, a la t° de 51°C cesa prácticamente la nitrificación.

Textura: La nitrificación es favorecida en suelos de loam o de loam arcilloso y es mas lenta en los suelos arenosos.

pH del suelo: La nitrificación es lenta en suelos alcalinos y se ve favorecida por una reacción neutra del suelo.

Humedad: Se ha encontrado que el cincuenta por ciento de la capacidad de retención de agua es, en general, favorable para la nitrificación.

Fertilizantes: Pequeñas cantidades de toda clase de sales aun las de las oligoelementos, estimulan la nitrificación. (10,47)

2.4.4. Desnitrificación

Es el proceso que origina la conversión del nitrato del suelo en nitrato gaseoso y/u óxido nitroso. (47)

Esta pérdida de nitrógeno puede atribuirse a la reducción de los nitratos hasta nitritos y nitrógeno libre o amoniaco, todo lo cual es realizado en el suelo por bacterias aerobias y anaerobias en condiciones de anaerobiosis. Para utilizar los compuestos de carbono como fuente de energía, estas bacterias obtienen de los nitratos el oxígeno que necesitan, con lo cual éstos se reducen y el nitrógeno elemental se pierde en el aire (48)

La desnitrificación es favorecida por la compactación del suelo, por grandes cantidades de materia orgánica no descompuesta y rica en carbono, por el arrastre del agua por inundación o lluvia excesiva, por valores de pH bastante altos por temperaturas elevadas de 60 a 70°C. (47, 48)

El creciente uso de terrenos para depositar aguas negras

y desperdicios animales también ha causado un gran interés en la denitrificación, particularmente debido a que esta transformación, siguiendo a la mineralización y la nitrificación, hace que los componentes nitrogenados de los desperdicios se tornen aceptables desde un punto de vista ambiental. Si las aguas negras se aplican, en las proporciones adecuadas y el nitrato producido finalmente coexiste con el carbono disponible, puede ocurrir una considerable desnitrificación.

2.4.5. Pérdidas de nitrógeno en forma gaseosa del suelo

El mecanismo por el medio del cual ocurre la volatilización no siempre se establece con facilidad, pero son posibles tres reacciones:

- a) Pérdidas no biológicas de amoníaco
- b) descomposición química de nitrito
- c) desnitrificación microbiana que permite la liberación de N_2 , N_2O y algunas veces, NO .

Cuando se agregan al suelo nitrato y un carbohidrato fácilmente aprovechable se liberan N_2 , óxido nitroso (N_2O) y con frecuencia NO (óxido nítrico) de la reducción del nitrato aplicado. Estos productos son volátiles y se pierden hacia la atmósfera, pero si el suelo y la fase gaseosa superficial se encierran de tal manera que los metabolitos volátiles aún estén disponibles para la comunidad, los óxidos se reducen hasta N_2 .

Bajo ciertas circunstancias, la volatilización de amonio libre es considerable y aproximadamente una cuarta parte o más

del amonio suministrado en fertilizantes o formado microbiológicamente puede perderse en forma de gas.

Durante la descomposición de estiércol u otro tipo de materia orgánica rica en nitrógeno cerca de 0 en la superficie del suelo, el pH se eleva durante la amonificación y se libera amoniaco hacia la atmósfera. (5, 19)

2.4.6. Inmovilización del Nitrógeno

La desaparición de nitrógeno que sigue a la adición de resíduos deficientes en nitrógeno, proceso conocido como inmovilización del nitrógeno, da como resultado una marcada disminución en la asimilación de nitrógeno por la planta y una disminución en la producción.

La inmovilización es el resultado de la asimilación microbiana de nutrientes inorgánicos.

La inmovilización es el inverso de la mineralización; esta última regresa los elementos nutritivos de plantas y microorganismos al estado inorgánico mientras que la primera combina los iones inorgánicos a compuestos orgánicos.

La inmovilización esta correlacionada con el pH y el fosfato disponible y es estimulada por el aumento de temperatura.

La inmovilización que acompaña al tratamiento, del suelo con residuos de un cultivo pobre en nitrógeno es indeseable durante la época de crecimiento, ya que un nutriente crítico se

torna inaprovechable, además de que las plantas no son buenas competidoras frente a la microflora cuando el nivel de nitrógeno inorgánico es inadecuado para el máximo desarrollo de los macro y microorganismos (5, 19).

2.4.7. Conservación de la materia orgánica en regiones áridas y semiáridas.

El problema principal para la conservación de la M.O. en estas zonas son las continuas temperaturas elevadas.

Allison, Sherman y Pinck (1949) mencionados por Tamhane (47), concluyen que la cantidad y naturaleza de los coloides inorgánicos del suelo influyen sobre el índice de pérdidas de carbono y sobre la cantidad de humus formado de materiales vegetales que se descomponen con facilidad. La montmorillonita ejerció el mayor efecto en la retención de carbono.

La comparación de los valores de retención de carbono en un suelo de caolinita con los de un suelo de montmorillonita no mostraron diferencias extraordinarias. Esto puede deberse en parte a la mayor acidez del suelo caolinita, lo que retardaría la descomposición.

Waksman, citado por Tamhane, dice que la lignina es necesaria para conservar la M.O. del suelo; por lo tanto, deben agregarse al suelo materiales que sean ricos en lignina. Este mismo autor piensa que las legumbres son necesarias para mantener el nivel de materia orgánica. Allison, sin embargo es de

la opinión de que la cantidad de residuos orgánicos es más importante que la proporción C/N en la conservación de la M.O. (43, 47).

Para ayudar a mantener la M.O. del suelo son recomenda--das las rotaciones de cultivo, adecuado laboreo del suelo, uso de abonos verdes, uso de aguas negras, uso de estiércoles, o el uso del compost.

2.5 Compost

2.5.1. Generalidades sobre el compost

La diaria acumulación de basuras en las casas-habitación es un problema muy difícil de resolver en todas las grandes ciudades, porque tiene que ser recogida y dispuesta en un sitio especial.

Casi el 50% de las basuras está constituido por material orgánico, equivalente al humus potencial de gran valor para la agricultura si pudiera ser reservado para este fin (48).

Siendo las basuras urbanas un material residual de contenido heterogéneo en cuya composición ocupan un lugar importante los desechos de frutos, legumbres y otras sustancias fácilmente fermentables, representan un sustrato capaz de humificarse, eliminando, una buena parte de los problemas de contaminación que estos residuos ocasionan en el medio ambiente, resultando así, una vez humificado, un producto de alto valor para

la fertilidad del suelo. (13)

La utilización de las basuras para la producción de composta representa un método para la eliminación de estas, en el que el contenido de materia orgánica es incorporada al suelo como métodos de mantenimiento y de recuperación de la fertilidad del mismo.

Seurin (1970) mencionado por Cota y Lavin, define las compostas como un producto negro, homogéneo, sin restos burdos y que se presenta como un granulado grueso; lo señala al mismo tiempo como un producto húmico y cálcico, un fertilizante de valor nada despreciable por lo que aporta al suelo de oligoelementos y por la inseminación microbiana que produce.

Los horticultores en pequeño prefieren utilizar el composte por los beneficios asegurados, la simplicidad de su uso.

El composte, una vez ya preparado, representa por término medio no más de la cuarta parte del volumen original de los materiales empleados. Esta reducción en el volumen es la causa de que el composte sea mas rico por kilo, que los materiales básicos que lo formaron.

El objetivo de las aplicaciones de compost debe ser no solo alcanzar un incremento transitorio en la producción sino que también debe mejorarse y mantenerse la fertilidad de los suelos.

La variación de la cantidad, características y composi--

ción de residuos disponibles para la formación del compost varían según la localidad y forma de vida. En zonas rurales el material compostificable dependerá del clima, tipo de agricultura, costumbres dietéticas y sociales, utilización de residuos orgánicos como combustible, facilidad para recolectar los desechos y de las condiciones económicas de la región. En zonas urbanas industrializadas la cantidad y calidad del compost están afectadas, además por los productos industriales desechados, abundancia de podas en parques y jardines, cantidad de incineradores en casas y establecimientos comerciales, separación de los materiales orgánicos antes del proceso y de la fermentación de la recolección.

Los abonos obtenidos de la basura de las ciudades varían mucho en el contenido de nutrientes de las plantas que aportan.

En otros experimentos ingleses en que se compararon abonos orgánicos voluminosos, el estiércol de granja resultó mejor que los lodos de drenaje, tanto crudos como tratados, basura de las ciudades tratada y polvo de basura cribada. La basura fermentada de las ciudades y los composts de lodos de albañal y basura de ciudades, aplicadas a razón de 40 ton/ha tuvieron de 1/3 a 1/2 de los efectos de un peso similar de estiércol de granja fresco. (14)

2.5.2. Preparación del compost

Para la preparación del compost se utilizan diferentes desperdicios de la agricultura, de la industria y de las ciuda

des. Residuos de cualquier clase de campo y huerta de la trilla, paja, granazas, tamo, hojarasca desperdicios de cocinas, de matadero, materiales fecales, fango de calcificación, estiércol de ganado menor, desperdicios de lana y cuero, orujo de vid y de frutas etc. (34, 46)

Wacksman (1939) citado por Cota (13), afirma que el éxito en la preparación de compostas a partir de residuos vegetales, depende de muchos factores, entre los cuales los principales son la rapidez y el grado de descomposición del material original, su composición química, especialmente la proporción de compuestos nitrogenados y carbohidratos, la temperatura de descomposición y la población microbiana de la pila.

El compostage consiste en una técnica utilizada para procesamiento de residuos sólidos como basuras y comprende 2 fases: 1ª etapa es fermentativa, que se inicia con una fase aerobia activa que después pasa a ser muy lenta, y la 2a. se realiza bajo la acción del aire o bien en silos y aire forzado, según Saurin (1970).

En las etapas iniciales de la fermentación, los materiales residuales eran muy enteros y se observaba una clara heterogeneidad de acuerdo al origen; predominaban coloraciones claras y, de acuerdo a las etapas de la transformación, la pila mostró olores de material en descomposición.

Hacia las etapas finales disminuyó el tamaño de las partículas hasta dar el aspecto de un material homogéneo. La coloración

ción se tornó obscura y el olor de la pila apareció como el de la materia orgánica de un bosque de buen grado de transformación. (8)

Para la elaboración del compost, en la planta industrializadora de basura de la ciudad de Monterrey, N.L. se siguen los siguientes pasos.

- 1º Recepción; La basura se coloca en una banda móvil donde son separados manualmente los productos que no son fermentables (vidrios, piedras, fierros, etc) y aquellos que de alguna u otra forma son todavía aprovechables.
- 2º Se muelen los productos restantes. La M.O. es triturada, por medio de la acción de martillos contra la parrilla.
- 3º Se pasa a un cribado con el fin de obtener un material mas puro.
- 4º Se deja al aire libre, agregándole agua para que se desarrolle el proceso de fermentación. Cada quince días se mueve el producto con el fin de que exista aereación, durante dos meses, para completar la fermentación.
- 5º Se pasa a un cribado más fino.
- 6º La composta obtenida de la molienda fina se deposita en una tolva para su envasado.

Para preparar el compost en granja, es conveniente colocar los diferentes materiales en capas, con la finalidad de regular hasta donde sea posible la proporción correcta entre carbohidratos y proteínas; esto se consigue del modo siguiente:

los residuos vegetales, se colocan constituyendo una capa de 15 cm de espesor, esta será la primer capa ya que son mayormente carbohidratos; Arriba de esta se coloca una capa de estiércol de 10 - 13 cm, éste será el material proteico, sobre el estiércol se coloca una cubierta de 4-5 cm del mejor suelo laborable que se encuentre, con el fin de inocular el primero con el tipo adecuado de microorganismos necesarios para los procesos de descomposición. El suelo deberá esparcirse sobre el rímero en capas de 3-5 cm de espesor cada vez que se coloque una capa de 20-25 cm de residuos.

Cuando se añade poco o ningún estiércol a la pila de composte, se debe agregar fertilizante para estimular la rápida multiplicación de los microorganismos, se recomienda aplicar el superfosfato, ya que además de proporcionar fósforo, retiene una parte del amoníaco formado.

La humedad y el aire en la pila del compost se debe controlar para una mejor descomposición. Cada capa que se coloque en el rímero de composte debe rociarse con agua, para ayudar al proceso químico de la hidrólisis. El libre ascenso del aire es necesario para que se realizen los procesos aerobios, y no los anaerobios que provocarían pérdidas de nitrógeno.

Es conveniente voltear la pila de compost cuando menos dos veces cada cuatro semanas para acelerar la descomposición.

(48)

Cuando se va a realizar compost con material verde, p .

acelerar el proceso y a la vez mejorar el contenido nutritivo del compost, se recomienda usar la siguiente mezcla por cada 4 toneladas de material.

Sulfato de amonio 40 kilos
Sulfato de calcio 50 kilos
Cloruro de potasio 25 kilos.

Si el compost va a ser utilizado en suelos alcalinos, se puede adicionar a la mezcla anterior 20 kilos de azufre (36).

2.5.3. Composición química del compost

La composición química del compost varía según las costumbres de la gente de donde se recolecta el material, el clima y el nivel de vida.

El estiércol y la composta resultan ser en muchas regiones los abonos orgánicos más usuales. Su contenido de nutrientes suele fluctuar ampliamente, según sea el tipo de animal de procedencia, el forraje que reciba y el mantenimiento que se le brinde. En forma promedio puede contarse con un contenido de 0.3 - 0.6% de N, 0.1 - 0.3% de P_2O_5 y 0.3 - 0.5% de K_2O . La composta, desempeña un papel muy importante en aquellas regiones donde no se cuenta con animales domésticos. (30)

En la fuente original de residuos en forma de basura, existen compuestos de alto peso molecular, polímeros de ácidos aminados y de carbohidratos, como predominantes. (31)

Tabla 1. Características físico - químicas del compost.

Determinación	Compost
Nitrógeno total (%)	0.656
Fósforo (Kg/ha)	77.14
Potasio (Kg/ha)	177.0
Materia Orgánica (%)	11.79
Carbono (%)	6.84
Relación C/N	10. ⁴ /1
Proteína (%)	3.3375
Fierro (Kg/ha)	5.00
Manganeso (Kg/ha)	112.5
Boro (cualitativo)	N 0
Cobre (ppm)	1.65
Zinc (%)	0.13
pH (1:1)	7.5
CaCO ₃ (%)	66.50
Arena (%)	63.12
Limo (%)	16.40
Arcilla (%)	20.48
Textura	Migajón arcillo-arenoso

Según Elizondo Solana A. (18)

2.5.4. Efecto residual del compost

El efecto residual de la M.O. según Thompson (1962) citado por Arreola (7), se debe al hecho de que las plantas solo aprovechan una parte de nutrientes el primer año, que según el autor, es por el paso de fosfato monocálcico a tricálcico. Este autor también cita a Buckman y Brody (1966), los cuales encontraron que el efecto residual de la M.O., se debe en gran parte a la lenta descomposición y aprovechabilidad de éste sustrato por parte de la flora microbiana; además menciona, que una aplicación sistemática de M.O. rebastece el humus, el Nitrógeno el fósforo, el potasio y elementos traza en el suelo.

Baeyens (1970) citado por Villaroel (52), menciona que en suelos arenosos, la M.O., actúa especialmente el primer año, en suelos francos o pesados, el efecto de la M.O., subsiste incluso hasta el cuarto año.

Gowami, K.P., citado por Arreola (7), demuestra que la aplicación de 30 y 40 ton, métricas de estiércol por Ha, a cultivos en forma experimental, producen efectos residuales por 5 ó 6 años.

Mendoza, T.N. (1986) concluye que existe efecto residual del abonado con compost después de un año de haberse aplicado, lo corrobora con los efectos significativos que se obtuvieron en la dureza de la costra medida con el penetrómetro, en la densidad aparente tomada a una profundidad de 0-15 cm.

Recomienda dosis mayores de 75 ton/ha para tener mayores efectos residuales.

Salas, A.S. (1986), menciona que después de 632 días de aplicado el compost, el efecto residual, se reflejó en la variable módulo de ruptura del suelo la cual presentó diferencia significativa (P. 0.05) entre los tratamientos.

En el presente experimento después de 869 días de aplicado el compost al suelo, aun se encontró respuesta en la variable densidad aparente del suelo y el pH. del suelo.

En el experimento que realizó Acosta, S.R. (1975) del efecto residual de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la producción de cosechas, utilizando tres ciclos de cultivo (Trigo, sorgo y maíz).

En el primer ciclo, que sembró trigo, encontró que para poder producir materia seca la gallinaza resultó la más eficiente, siguiéndole el estiércol y el compost al último. En el segundo ciclo, sorgo, la aplicación de abonos aumentó significativamente el rendimiento de materia seca. En el tercer ciclo, maíz, la materia seca producida, se observó lo mismo que en el trigo, los valores más altos se obtuvieron con gallinaza, y los más bajos con compost.

En los tres cultivos y para los tres abonos la respuesta mejor se encontró a la dosis de 40 ton/ha.

Anderson, citado por Elizondo S, Rubio M y From, estudió

el efecto del composteo y fertilización nitrogenada durante 60 años y concluyó que el composteo es una gran ayuda para mantener la productividad. En un lote con maíz durante 30 años sin fertilizante químico ni orgánico, el nitrógeno nativo se redujo hasta un 40%. En ese mismo lapso de tiempo, aplicando compost cada ciclo se incrementó el contenido anterior hasta 90% del nivel presente originalmente en el suelo.

Hiroce, citado por Arreola (7), estudió el efecto residual de 2 años de aplicación de N,P,K, y de estiércol de corral, en un suelo podzólico y se observó que el N,P,K, abatió el pH del suelo y el contenido de calcio y magnesio del mismo. El análisis de hojas mostró un efecto residual del nitrógeno del estiércol de corral y del potasio del fertilizante mineral.

2.5.5. Efecto de la aplicación del compost en el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo.

2.5.5.1. Efecto sobre la estructura del suelo.

La adición del compost al suelo mejora su estructura, aumentando su porcentaje de materia orgánica y como consecuencia va a retener mayor cantidad de agua y por mas tiempo. (51)

Guevara (29), dice que el compost modifica la estructura del suelo. En suelos arenosos aumenta la cohesión y en suelos arcillosos la disminuye, lo que permite una mayor aereación, un aumento considerable en la capacidad de retención de la humedad y una mejor penetración de raíces.

Robinson (1983), en su estudio indica que la M.O. asociada con la arcilla y presumiblemente adsorbida a las superficies de esta, forman la fracción más efectiva en la estabilización de los agregados. Esta M.O., afecta las propiedades de las arcillas impartiendoles mayor estabilidad que cuando actúan solas ya que reducen su capacidad de inchamiento, eliminando las fuerzas del aire atrapado y disminuye su poder de humedecimiento. (41)

Chaudri, K.J. presenta resultados que indican que la aplicación de pequeñas cantidades de desechos orgánicos en bandas directamente arriba de los surcos induce a la formación de grietas, las cuales disminuyen la fuerza requerida por la plántula para emerger. (11)

Anderson, citado por Elizondo Solana, reportó que la producción de maíz se incrementó al aumentar el nivel de estabilidad de los agregados y que la producción declina cuando este nivel es arriba del 50%. El autor explica que la baja producción a niveles inferiores de agregados estables en agua, puede deberse a una pobre aireación en la zona a radicular y en altos niveles de agregación, se presenta una excesiva respiración, consumiéndose el sustrato que de otra forma se hubiera utilizado en las funciones de desarrollo y producción.

Mazurack et al citados por Nieto (37), reportan que la aplicación de estiércol a razón de 390 ton/ha, aumentaba la estabilidad de los agregados de un suelo migajón arcillo-arenoso.

Estos autores afirman que dicha estabilidad está asociada con la conversión a largo plazo de la M.O. a humus, ya que el efecto benéfico se observó aún cuatro años después de aplicado el abono al suelo. Los mismos autores, en otro estudio explican que en un suelo abonado, los agregados fueron separados con más facilidad por el impacto de las gotas de lluvia que en los testigos, sin embargo la dureza de la costra fué menor y la estabilidad de los agregados separados, mucho mayor en el suelo donde se aplicó el abono, por lo que los agregados no son fácilmente arrastrados y la superficie del suelo permanece abierta a la entrada de agua.

Esta serie de experimentos nos demuestran que la M.O. es un agente de gran ayuda en la producción de granulación.

2.5.5.2. Efecto de la aplicación del compost en el contenido y disponibilidad de nutrientes.

El compost contiene una gran variedad y cantidad de nutrientes, (Punto 2.5.3.), que al ser agregados a suelos aumenta la cantidad de estos que se encuentran presentes en el suelo. Este aumento no solo se debe a los nutrientes que el compost agrega, sino que también induce a que los elementos presentes en el suelo en condiciones no aprovechables se solubilizan.

Al descomponerse la M.O. provoca que los nutrientes se tornen disponibles a través de varios mecanismos como, cambios

en el pH del suelo, estimulación de la actividad de la flora microbiana, solubilización de los elementos contenidos en las rocas minerales por compuestos que se producen a partir de la descomposición de la M.O., disminución de los fenómenos de fijación de amonio, potasio y otros nutrientes por los minerales arcillosos. (37).

La aplicación de compost aumenta la cantidad de NO_3 y NHA como fuentes de N en los primeros 25 cm del suelo, sin embargo, el desarrollo inicial de los microorganismos conduce a una inaprovechabilidad temporal del nutriente.

Kristich M.A. y Robinson D.O., citados por Mendoza (34), en los resultados de su experimento reportan que, el contenido de nitrógeno en las hojas de espinaca y acelga y en las raíces de acelga, a los 60 días de crecimiento fueron significativamente mayores para tratamientos con altos contenidos de compost (129 ton. me't/ha).

El fósforo y potasio en el suelo y plantas estuvieron directamente correlacionadas a la cantidad de compost aplicada al suelo.

Mc.Intosh y Varney (1968), mencionados por Nieto (37) encontraron que en ciertos suelos arcillosos la aplicación continua de fertilizantes químicos disminuía la cantidad de K que las plantas tomaban, tal vez a consecuencia de algún desenlace entre el NH_4 y el K. Sin embargo, la aplicación de abonos orgánicos a estos suelos eliminaron por completo el fenómeno.

Los mismos autores, en otra investigación (1973), descubrieron que para el suelo arcilloso que ellos estudiaron, el fósforo proveniente del abono fue mejor aprovechado, que el fósforo del fertilizante químico por el cultivo del maíz.

Wallingford, et al (1975). Encontró que después de dos años de aplicaciones de abono (una aplicación por año) el pH no cambió apreciablemente, pero la aprovechabilidad del Fe, Zn, Mn y en menor grado el Cu, fue incrementado. Los datos de campo, mostraron que las aplicaciones de abono incrementaban las concentraciones foliares de Zn y Mn en maíz. Concluyen que las aplicaciones de abonos en suelos alcalinos, aumentan grandemente la disponibilidad de los micronutrientes.

Fromm (22) en su estudio para determinar el efecto de la aplicación de 5 niveles de compost de las características agronómicas de la soya, concluye que los suelos pobres en M.O. cuando son enmendados con aplicaciones de grandes cantidades de compost mejoran notablemente su fertilidad.

Cota G. Elia y Lavín Sagrario (1975) encontraron que las pruebas de fertilidad en suelos tratados con compost para siembra de frijol y hortalizas, demuestran la influencia del humus-compost en el rendimiento vegetal. El desarrollo del frijol sembrado en el suelo con compost muestran la formación de un tallo suculento con crecimiento de longitud óptimo.

2.5.5.3. Efecto de la aplicación de compost sobre la disponibilidad de nutrientes del suelo y la C.I.C.

Treviño Oviedo (51), menciona que la descomposición de la materia orgánica proveniente del compost trae como consecuencia la formación de ácidos orgánicos indispensables para otras reacciones del suelo y fijación de algunos elementos.

Guevara Linares (29) menciona que uno de los beneficios del compost es el de permitir fijar más fácilmente en los suelos los nutrientes, lo que tiene como consecuencia el que los fertilizantes inorgánicos tengan una mejor acción, así como el que se requiera de una menor cantidad de los mismos.

Abbot J.L. y Tucker T.C. (1), concluyen que el abonado es una fuente efectiva de fósforo porque aumentó su contenido en los tejidos de alfalfa, algodón y cebada, en suelos calcareos. Así puede esperarse que los cultivos utilicen el fósforo del suelo más efectivamente como resultado de la aplicación de abono, no importa si el fósforo es de origen orgánico, de fertilizante químico fosfatado o fósforo nativo del suelo porque un mejor medio ambiente trae por consecuencia mayor población y actividad micribianas.

Robinson (1983), observó que la aplicación de distintos abonos al suelo, aumentó la cantidad de NO_3 y NH_4 como fuente de N en los primeros 25 cm del suelo, sin embargo, el desarrollo inicial de los microorganismos conduce a una inaprovechabilidad temporal del nutriente. Para evitar esto, Robinson recomienda

da reposar el abono por un año, proceso llamado compostificación, que concentra el N del abono por la disminución en la relación C:N (41).

Thomas y Mathers (1979), citados por Nieto, reportan que la aplicación de abonos orgánicos redujo la clorosis férrica y aumentó el crecimiento del sorgo en un suelo calcáreo, y que la utilización de sulfato de fierro en cambio, no dió ningún resultado en la reducción de la clorosis. Además, el abono orgánico tuvo un efecto residual hasta el tercer año después de su aplicación al suelo.

El humus es altamente coloidal, es amorfo y no cristalino su área superficial y su capacidad adsortiva son mucho mayores que los de cualquier arcilla. Así, la C.I.C. de las arcillas de silicato varía de 8 a 150 meq por 100 g de suelo, mientras que la C.I.C. del humus bien desarrollado se encuentra entre valores de 150 a 300 meq por 100 g de suelo. a 25°C, (10).

Faver (1930) citado por Nieto (37) encontró que la capacidad adsortiva de cationes del suelo se incrementó de 30 a 50% más en los suelos donde aplicó M.O. que en los que no fueron abonados.

2.5.5.4. Efecto de la aplicación del compost sobre la densidad aparente.

La densidad aparente es una propiedad física que aumenta con la profundidad en el perfil del suelo. Esto se debe a que

a mayor profundidad existe menor M.O. menor agregación y mayor compactación.

Bertramson, citado por Mayorga R. (33), menciona que en suelos muy compactados y arcillosos la adición de materia orgánica, tiene efectos flocculantes formando pequeños conglomerados granulares, dándose así mejores condiciones de drenaje y aereación. Esto indica que se mejora la permeabilidad, así como la capacidad de retención de agua, disminuyendo la densidad aparente

Elizondo et al. (18), concluyen que las aplicaciones de compost favorecieron la permeabilidad del suelo en forma inmediata, pero al final del ciclo ese efecto se perdió por completo. Esto indica que la densidad aparente disminuyó ya que se presentó una mayor agregación y un mayor espacio poroso. También concluyen que la M.O. incrementó la capacidad retentiva de humedad del suelo.

2.5.5.5. Efecto de la aplicación del compost sobre el contenido de materia orgánica.

Elizondo Solana, Rubio Montoya y Alonso Fromm, concluyen que los suelos pobres en materia orgánica, cuando son enmendados con aplicaciones de grandes cantidades de compost mejoran notablemente su fertilidad, esto se debe al incremento de materia orgánica que trae como consecuencia la formación de agregados y liberación de nutrientes.

Cota G. Elia y Lavín Sagrario (1975) concluyen que el compost demostró ser una excelente aportación para la fertilidad del suelo por su gran contenido de materia orgánica.

2.5.5.6. Efecto de la aplicación del compost sobre la infiltración y captación de humedad del suelo.

Uno de los beneficios del compost es que mejora la estructura, permitiendo un aumento considerable en la capacidad de retención de humedad. (29).

Baver L.D. (1930), citado por Mendoza, encontró que la absorción de agua por el suelo varía a consecuencia de la materia orgánica de un 20 a un 40% en los suelos que investigo.

2.5.5.7. Otra forma de utilización del compost.

El compost de basura en la alimentación de los pollos de engorda.

Hernández, citado por Saucedo Robles (45), concluyó que es factible proporcionar compost de basura en raciones para pollos de engorda en período de finalización a razón de 2 al 4%, indicando que actúa como un aditivo promotor del crecimiento y no como aportador de nutrientes.

Brown citado por Santos G (44), utilizando compost en sustitución del sorgo, encontró que es factible la utilización del compost en la formulación de raciones principalmente en la

de acabado a un nivel de 4%, ya que hubo un mejor incremento de peso para este nivel.

Barrera, citado por Santos G, encontró que el nivel de 4% de compost para una ración de finalización no balanceada isocalóricamente fue el que tuvo mejor comportamiento, ya que presentó la mejor eficiencia de conversión alimenticia.

Martínez, citado por Santos G y Saucedo Robles, utilizando compost en raciones de finalización a niveles de 0 a 6% y evaluando los efectos del compost en la calidad de la canal, encontró que los pollos alimentados con 6% de compost tuvieron un comportamiento similar al testigo, en lo referente a peso final, aumentos de peso y eficiencia de conversión alimenticia.

En lo referente a rendimiento de canal, los pollos alimentados con 6% de compost tuvieron rendimientos de canal menores que los de la ración testigo y en cuanto a las pruebas organolépticas demostraron que las que contenían 6% de compost tuvieron mayor aceptación en cuanto a sabor, jugosidad y suavidad.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del experimento

El presente experimento, se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada a la altura del km. 17.5 de la carretera Zuazua-Marín, en el municipio de Marín, N.L., el cual se encuentra localizado en las coordenadas geográficas 25°53' latitud norte y 100°3' longitud oeste, altitud aproximada de 375 m.s.m.m.

3.2 Clima y suelo

El clima dominante de esta región, según la clasificación de Koppen, modificado por Enriqueta García (1973) es el siguiente.

$$BS_1(h')hx'(e')$$

Donde:

BS_1 = Clima seco o árido, precipitación anual promedio de 573 mm distribuidos principalmente en verano, siendo éste el menos seco de los climas BS.

$(h')h$ = Temperatura promedio anual sobre 22°C y bajo 18°C la temperatura promedio del mes más frío.

x' = El régimen de lluvias se presenta como intermedio entre verano e invierno con un porcentaje de lluvia invernal mayor al 18%.

(e') = Muy extremoso, oscilación anual de temperaturas medias mensuales mayores de 14°C.

Las principales características del suelo son; Suelo cal-
cáreo, arcilloso, café muy claro, con un pH de 7.5. Son suelos
con un pobre contenido de materia orgánica o moderadamente po-
bre, ligeramente alcalinos. Según García E. (24).

3.3. Materiales y Aparatos.

Para la realización de este experimento se utilizaron he-
rramientas y materiales de uso común como: Cinta de medir, es-
tacas, tractor, machete, azadón, bordeadora, sembradora, ins-
trumentos y reactivos para análisis de suelo, barrena para ob-
tener muestras de densidad aparente bolsas de papal, frascos
de vidrio, barrena de caja, estufa penetrómetro, módulo de rup-
tura, báscula de reloj, semilla de frijol variedad pinto ameri-
cano.

Características de la semilla frijol variedad pinto ameri-
cano, según el PMMFyS de la F.A.U.A.N.L.

- a) Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo
- b) Hipocotilo color verde
- c) Color de flor blanca
- d) 33 días a primera flor
- e) Aproximadamente 10 vainas por planta
- f) 6 cm longitud de vaina
- g) 7 semillas por vaina
- h) Semilla cilíndrica, color crema y café
- i) Aproximadamente 76 días a madurez fisiológica

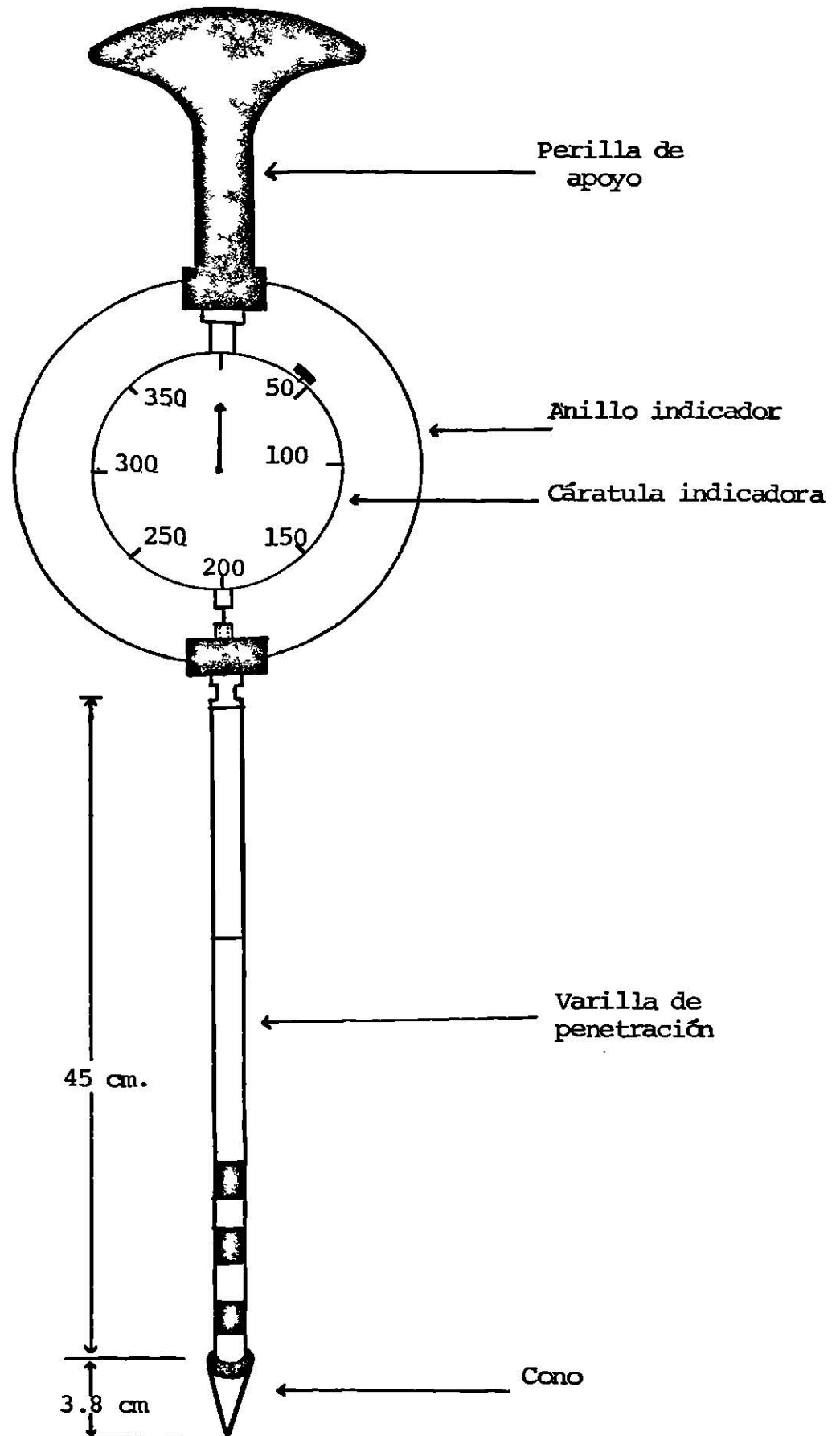


Figura 4. Penetrómetro de cono, tipo militar, modelo CN-970.

Penetrómetro de cono, tipo militar. Este aparato, consiste en una perilla de apoyo, una varilla de penetración, la cual termina en un cono, cuya función es romper la costra, un anillo indicador, cuya deflexión depende de la dureza de la costra y es registrada en la carátula indicadora. (Ver Figura 4).

Aparato medidor del módulo de ruptura. Este aparato está formado por una plataforma de madera, la cual tiene acoplado un marco del mismo material y una balanza granataria. El marco tiene en el travesaño una tuerca incrustada, en la cual va roscado libremente un tornillo; a su vez el tornillo lleva soldada una navaja cortapluma de posición ajustable en forma vertical, de tal manera, que dicha navaja puede regularse hacia arriba o hacia abajo, haciendo girar el tornillo y la navaja a la derecha o izquierda. La función de la navaja es cortar los pequeños ladrillos, provenientes de las diferentes muestras del suelo y que simulan la costra en el campo.

La balanza granataria fue colocada de tal forma que el centro del plato de ésta, quedara debajo de la navaja cortante. En el centro del plato de la balanza granataria se acopló una pequeña base que sostiene a los ladrillos, esta base es de madera, y en la cual van incrustadas dos navajas en forma paralela, sobre las cuales se coloca el ladrillo. El aparato se colocó de tal manera que, al agregar peso a la balanza, el plato de ésta, se eleve junto con el ladrillo el cual, con un determinado peso, sería quebrado en su parte media al ser presio

nado en contra de la navaja cortante (Ver Figura 5).

Moldes para fabricación de ladrillos. Estos moldes, fueron fabricados con tiras de madera, colocadas de tal manera que formaran una reja con capacidad para 98 moldes cuyas dimensiones son: 3.5 cm X 7 cm X 1 cm. de altura. A la reja, se le colocó una malla mosquitera, la cual serviría de piso permeable y a través de la cual, el agua humedecería las muestras colocadas en los moldes para formar los pequeños ladrillos.

3.4. Descripción del método.

3.4.1. Descripción del método usado

Este trabajo experimental es el 5º ciclo de estudio de una serie de experimentos, que tienen la finalidad de evaluar la residualidad del efecto de abonar con compost, en algunas características físicas y químicas del suelo y además en las características del frijol (Phaseolus vulgaris L.)

El lote experimental, fue delimitado desde el inicio del experimento, 20 de julio 1983, consiste de 3 repeticiones con 13 unidades experimentales, en los cuales se aleatorizaron los 13 tratamientos (Figura 6).

El día 12 de agosto de 1983 se realizó la aplicación del compost (Ver Tabla 4), incorporándose el mismo con un paso de rastra. La siembra del frijol se llevó a cabo el 19 de agosto

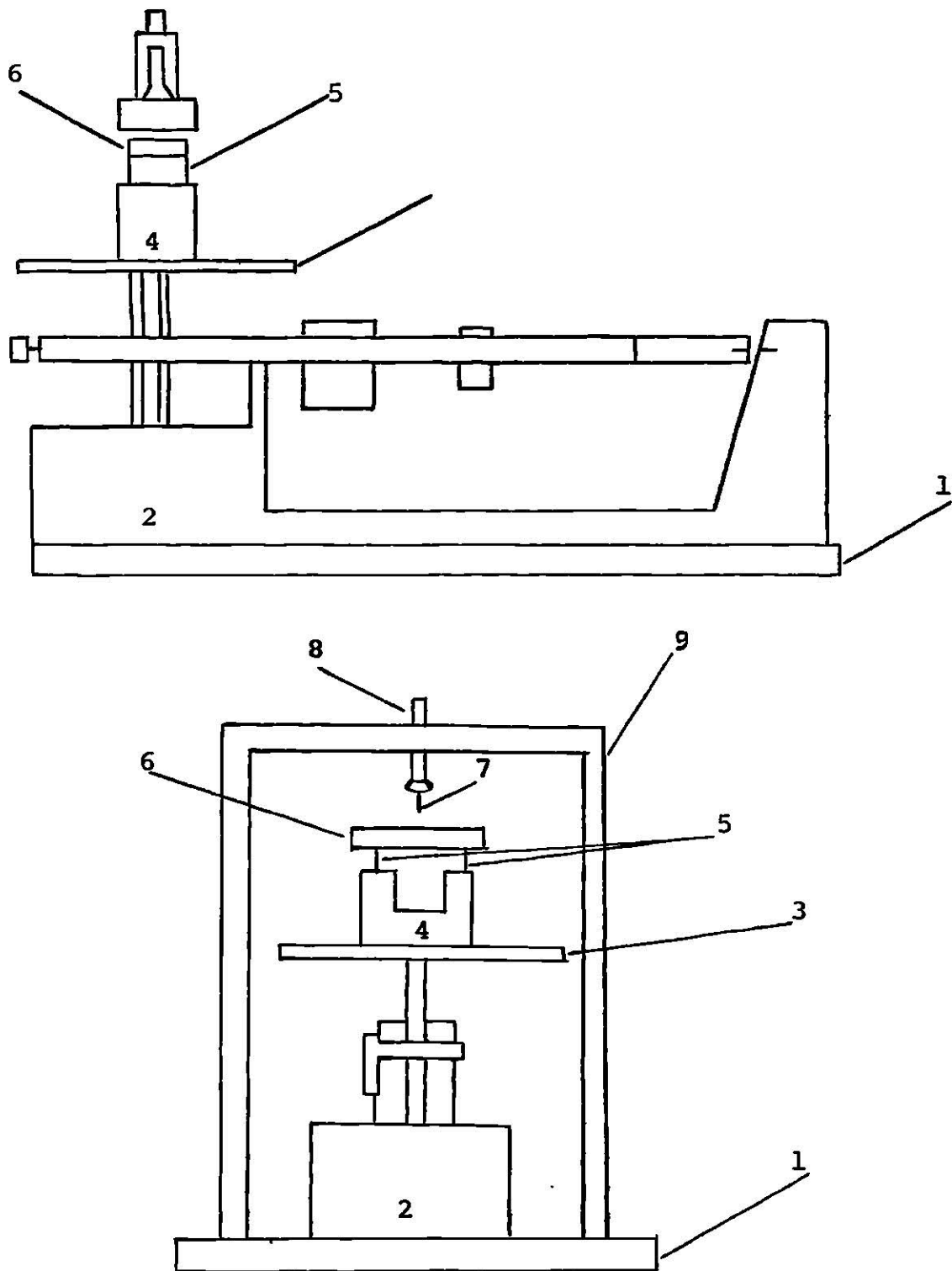


Figura 5. Vista lateral y anterior del aparato ideado para hacer las determinaciones de módulo de ruptura. Donde: 1.- base de madera, 2.- báscula granataria, 3.- plato de la báscula, 4.- soporte de madera, 5.- navajas que sostienen el ladrillo, 6.- ladrillo, 7.- navaja cortadora, 8.- tornillo ajustable, 9.- travesaño. Escala: 1 cm = 4 cm.

así como también la aplicación de la mitad del nitrógeno (sul_ufato de amonio) y todo el fósforo (Super fosfato de calcio triple).

Tabla 2. Resumen de las fechas de siembra, cultivo y variedad durante los cinco ciclos de estudio.

Ciclo	Siembra	Cultivo	Variedad
1	19/8/1983	Frijol	CIANE
2	20/12/1983	Trigo	Pavón F-76
3	9/8/1984	Frijol	Delicias 71
4	21/12/1984	Trigo	Pavón F-76
5	15/8/1985	Frijol	Pinto americano

La preparación del terreno para el 5º ciclo fue de la siguiente manera.

El deshierbe del terreno fue en forma mecánica, sacando la hierba del terreno, esto con el fin de evitar que se afecte el contenido de materia orgánica residual del compost. Posteriormente se dieron dos pasos de rastra, en sentido contrario, con el fin de que el suelo quede en el sitio original. Los bordos que dividen el terreno no se movieron igualmente se conservó el estacado, evitándose así posibles errores en el terreno que hicieran que se confundan los tratamientos, después se trazaron las regaderas, utilizando el tractor con la bordeadora, basándose en la ubicación de las estacas. La siembra se realizó mecánicamente utilizando la sembradora de grano grande.

Tabla 3. Actividades realizadas durante el quinto ciclo de experimentación.

15 - VIII - 85	Siembra
2 - IX - 85	1er. conteo de plántulas emergidas
9 - IX - 85	Lectura del penetrómetro
13 - IX - 85	1er. deshierbe
15 - IX - 85	Altura de plantas
1 - X - 85	2do. conteo de plantas
29 - X - 85	Muestras del suelo para (D.A. y H ²)
1 - XI - 85	Aplicación de Malathión
4 - XI - 85	2do. deshierbe
6 - XI - 85	Muestras de suelo para M.O.
13 - XI - 85	Cosechar

3.4.2. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó en el presente experimento, es un bloques al azar, con tres repeticiones y cada repetición contiene trece tratamientos aleatoriamente acomodados, (Figura 6). El arreglo de los tratamientos fué de acuerdo a un cuadrado doble (Figura 7). Este arreglo de tratamientos fue escogido con el fin de probar algunas interacciones compost-fertilizantes que resultan de interés, este diseño está basado en un arreglo factorial 5 X 5, del cual se eliminan 12 de las 25 combinaciones en forma sistemática, las res

tantes combinaciones tienen un cubrimiento uniforme del espacio de exploración, minimizando el sesgo..

Modelo propuesto: $Y_k = B_0 + B_1C + B_2N + B_3C^2 + B_4N^2 + B_5CN + e_k$, Donde:

Y_k = Media del K-ésimo tratamiento

B_0 = Término constante

B_1 = Efecto lineal del compost

B_2 = Efecto lineal del nitrógeno

B_3 = Efecto cuadrático del compost

B_4 = Efecto cuadrático del nitrógeno

B_5 = Efecto de la interacción compost-nitrógeno

C = Compost

N = Nitrógeno

e_k = error aleatorio de la media del k-ésimo tratamiento, con

$E(e) = 0$ $E(e^2) = \frac{\sigma^2}{r}$; donde σ^2 , es la varianza teórica del error experimental r es el número de repeticiones por tratamiento.

Hipótesis estadísticas planteadas.

H_0 : No existe efecto residual de la aplicación del compost al suelo para las variables estudiadas, después de 5 ciclos de cultivo.

H_1 : Existe algún efecto residual de la aplicación de compost al suelo para las variables estudiadas, después de 5 ciclos de estudio.

Tabla 4. Dosis de compost, nitrógeno y fósforo aplicados a cada tratamiento.

Tratamiento	Compost (ton/ha)	Nitrógeno S.A. (kg/ha)	Fósforo S.C.T. (kg/ha)
1	0	0	50
2	0	50	50
3	0	100	50
4	25	25	50
5	25	75	50
6	50	0	50
7	50	50	50
8	50	100	50
9	75	25	50
10	75	75	50
11	100	0	50
12	100	50	50
13	100	100	50

S.A. = Sulfato de amonio

S.C.T. = Super fosfato de calcio triple.

Tabla 5. Dosis de compost aplicadas el verano de 1983 en cada parcela experimental de 32 m² de superficie, correspondientes a los niveles de compost de cada tratamiento en ton/ha.

Nivel de Compost	Kg de compost por parcela
0	0
25	80
50	160
75	240
100	320

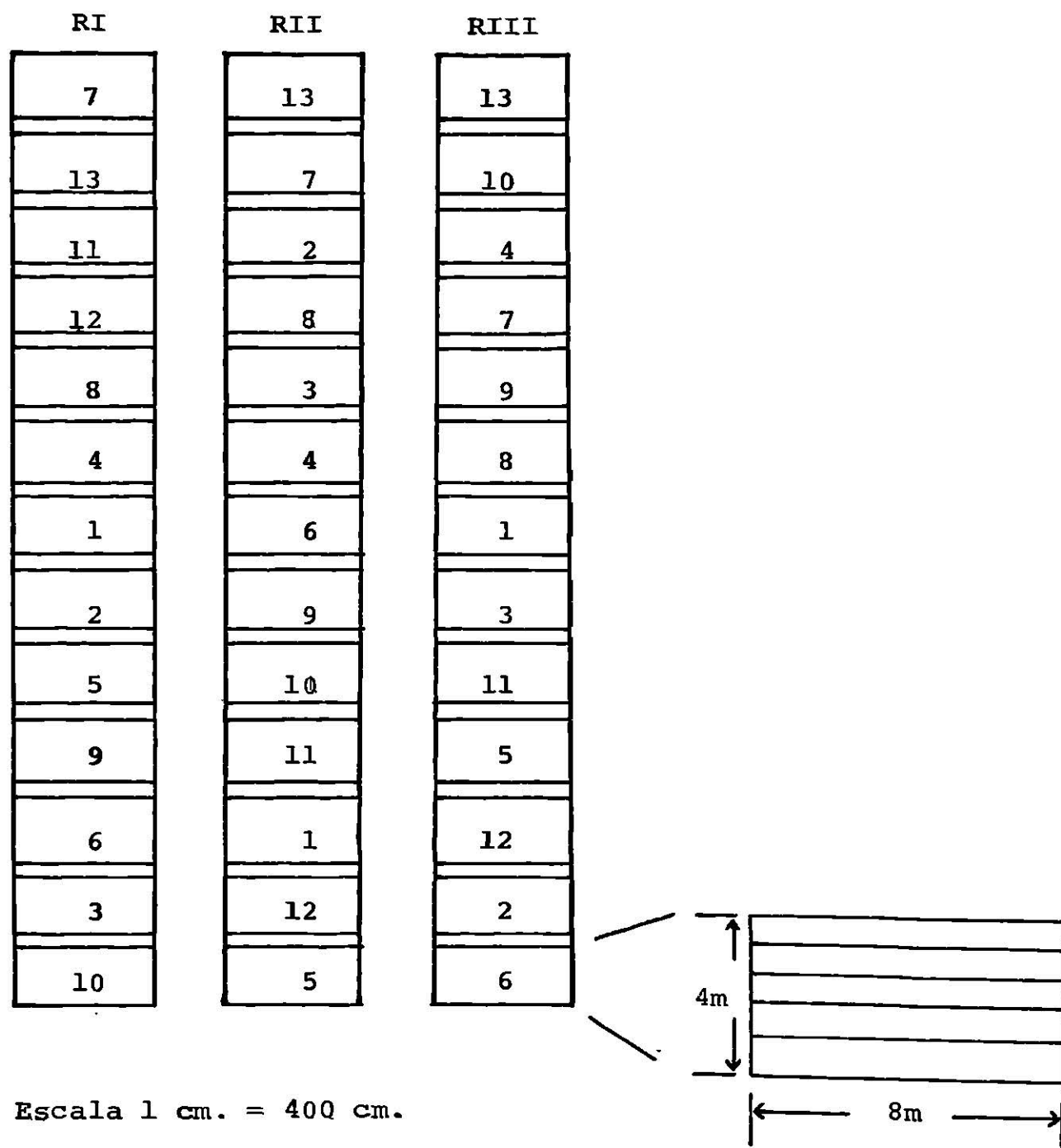


Figura 6. Croquis de la distribución de parcelas en el campo, con sus tratamientos correspondientes.

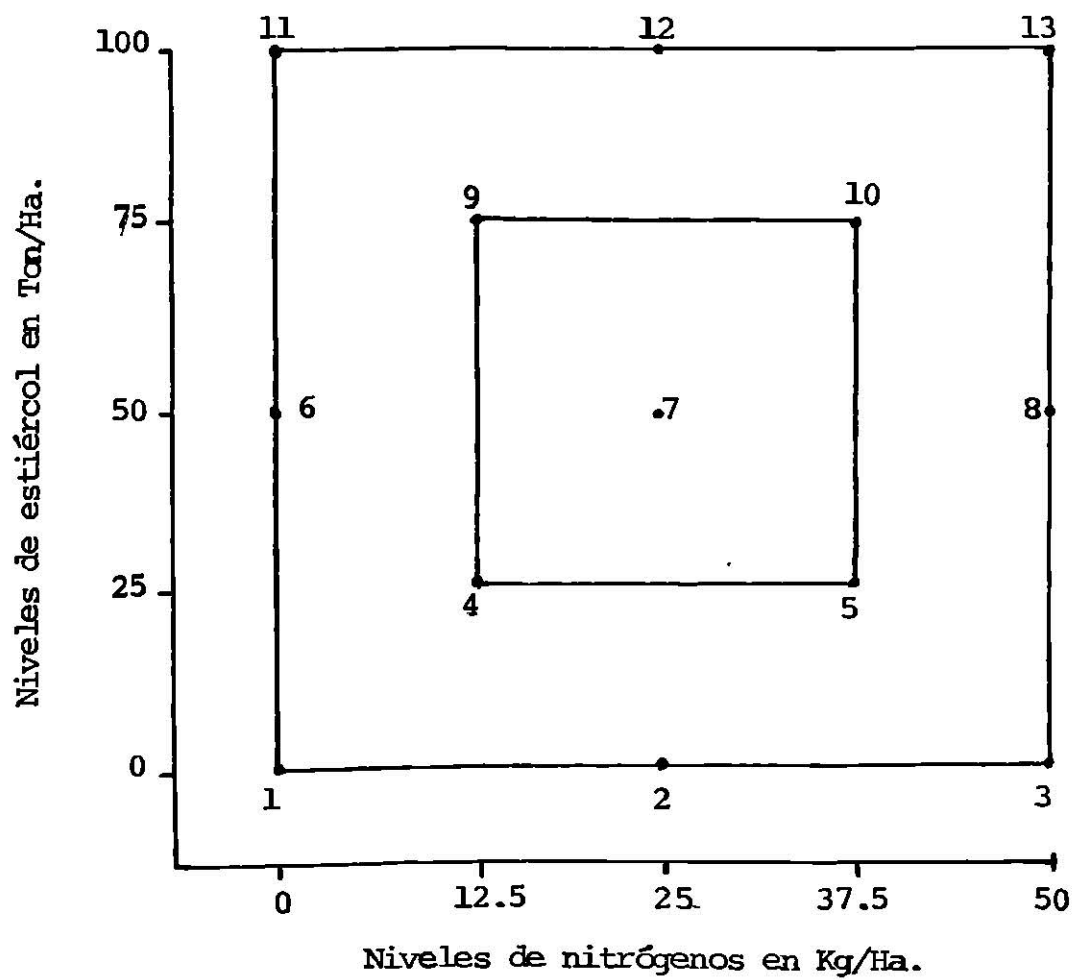


Figura 7. Distribución de los tratamientos según el cuadrado doble.

3.5. Procedimiento de recolección de datos.

3.5.1. Variables estudiadas con respecto al suelo.

Densidad aparente (D.A.). Se tomaron muestras de suelo con la barrena, en la parcela útil, a dos profundidades, 0-15 cms (D.A₁) y 15-30 cms (D.A₂), se colocaron en frascos, previamente pesados, se etiquetaron y se metieron en la estufa de secado durante 24 horas, una vez secas las muestras, se calculó la densidad aparente, dividiendo el peso de la muestra (seco) entre el volumen del cilindro de la barrena. La densidad está expresada en grs/cm³.

Humedad del suelo (H.S.). Para determinar la humedad del suelo, se tomaron dos muestras, 0-15 cm (H.S₁) y 15-30 cms (H.S₂), de cada unidad experimental, con la ayuda de la barrena. Cada muestra se metió a un frasco, previamente pesado y etiquetado, los frascos con la muestra de suelo se pesaron nuevamente para obtener el peso del suelo húmedo (S H). Después se metieron en la estufa de secado a una temperatura de 50°C, durante un tiempo de 24 hrs. La muestra ya seca se pesa nuevamente, obteniéndose el peso seco del suelo (SS). Los datos obtenidos se sustituyen en la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(PSH) - (PSS)}{(PSS)} \times 100$$

en esta forma se obtiene el contenido de humedad expresada en porcentaje. Para llevar a cabo el análisis de varianza los resultados fueron transformados de la siguiente manera.

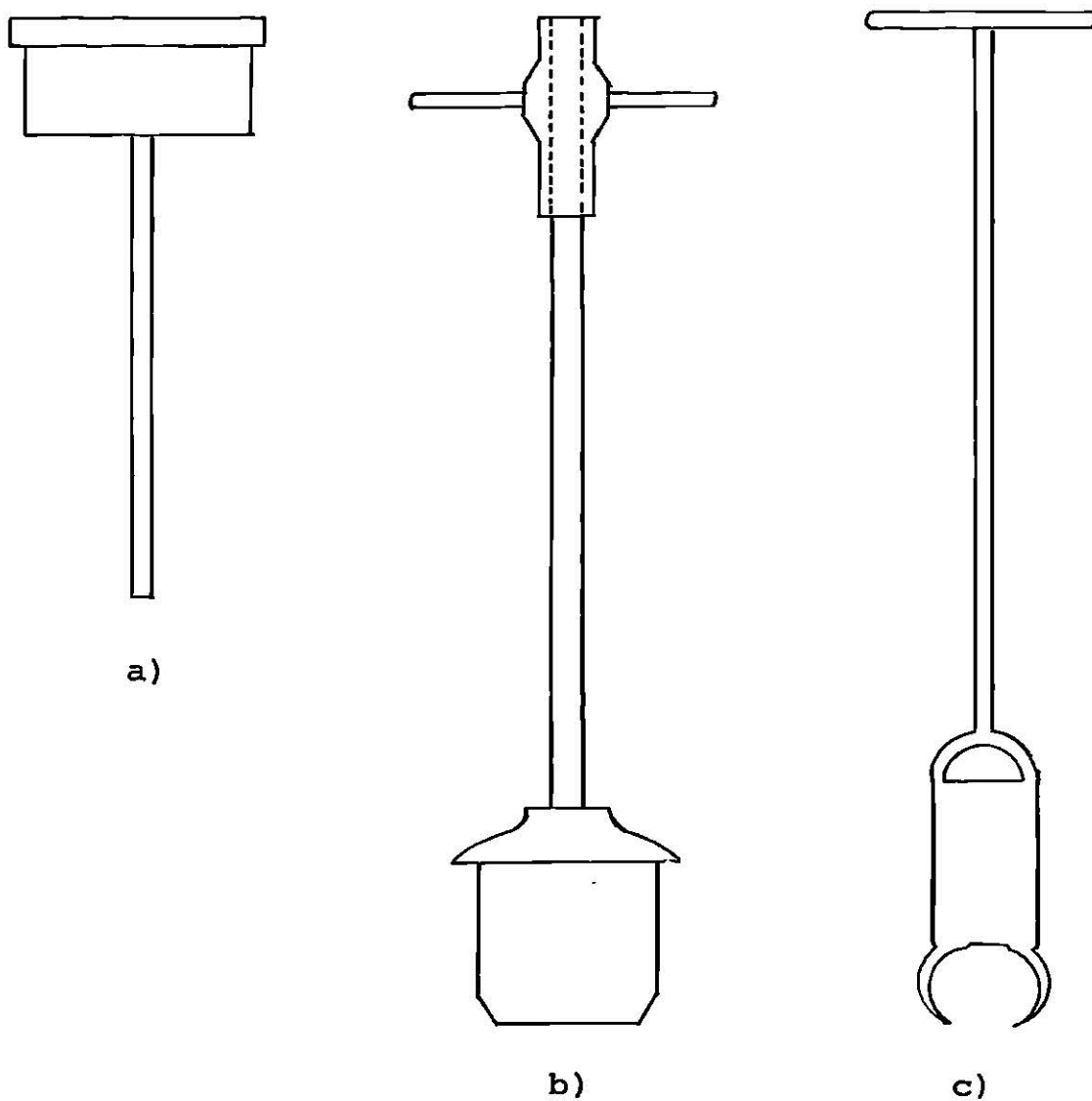


Figura 8. a) Martillo para la barrena b) Barrena para densidad aparente c) Barrena de caja para textura.

$\text{sen}^{-1} \sqrt{P}$, donde; sen^{-1} es el inverso -1 P es el % de humedad

Contenido de materia orgánica (M.O.). Se tomaron dos muestras de la parcela útil, a dos profundidades. 0-15 cm (M.O.) y 15-30 cm (M.O₂), a cada unidad experimental. Las muestras se obtuvieron con la barrena de caja. Para determinar el contenido de M.O. en el laboratorio se utilizó el método de Wolkley y Black.

Para realizar los análisis de varianza y las pruebas de Tuckey los datos fueron transformados de la siguiente forma: $\text{sen}^{-1} \sqrt{P}$ donde: Sen^{-1} es la función seno inverso y P, es el contenido de M.O., expresado como proporción.

Dureza de la costra medida con el penetrómetro (P.E.).

Se utilizó el penetrómetro de cono, modelo CN-970, para evaluar la dureza de la costra formada directamente en el campo. El valor de la dureza de la costra, se obtuvo del promedio de cinco lecturas, tomadas a cada parcela útil y los datos fueron ajustados (Lb/plg²), utilizando la gráfica del anillo probador. Para el análisis de varianza los datos fueron transformados a bares. En este experimento se utilizó la EC. de regresión para penetrómetro,

$$\bar{Y} = B_0 + B_1 X_1$$

$$\bar{Y} = -.3077412 + 0.0221684X,$$

Módulo de ruptura (M.R.) El módulo de ruptura es la fuerza de los ladrillos que representan la costra del suelo. Para determinar el módulo de ruptura se realizaron dos muestras de suelo, 0-15 cm (M.R₁) y 15-30 cm (M R₂), de cada tratamiento. De cada muestra de suelo, tamizada, proveniente de todos y cada uno de los tratamientos de cada bloque experimental, se llenaron cinco moldes, para obtener cinco ladrillos de cada parcela experimental. Cada reja, que contenía 98 pequeños moldes de 3.5 cm X 7 cm X 1 cm, se colocó sobre una plataforma plana de lámina. Una vez llenos los moldes, las muestras se humedecieron por trasporo, ésto se logró inclinando ligeramente la plataforma con las muestras y aplicando agua lentamente; ésto pasaría por debajo de los moldes, humedeciendo las muestras a través de la malla mosquitera que servía de piso al molde. Una vez humedecida las muestras, fueron llevadas al cuarto de secado, en donde se secaban a una temperatura de 50-55°C hasta peso constante, aproximadamente 24 horas.

Una vez secas las muestras o ladrillos se sacaron del cuarto de secado, y se les midió con un vernier lo largo, ancho y grueso, debido a que al secarse unas muestras de suelo se contraían mas que otras, se sacó un promedio de las medidas de los 5 ladrillos de cada tratamiento, ya medidos se procedía a colocarlos en el aparato ideado para determinar el módulo de ruptura. El peso del soporte de madera y del ladrillo era destapado de tal forma que la báscula granataria estuviera balanceada en cero, luego se procedía a ajustar la navaja cortante,

a que solo rozara justo la mitad del ladrillo. Posteriormente, se añadía peso a la báscula y se registraba el peso necesario para romper cada ladrillo, el peso de ruptura se obtuvo del promedio de cinco ladrillos de cada tratamiento. Los datos fueron sustituidos en la siguiente fórmula

$$S = 3 FL/2bb^2$$

Donde:

F = La fuerza de ruptura en el centro del ladrillo (gr).

L = Es la distancia entre los soportes que sostienen al ladrillo (5.08 cm.)

b = Es el ancho del ladrillo (cms)

d = Espesor del ladrillo (cms)

Reacción del Suelo (p.H.) La determinación del pH se realizó de muestras de 0-15 cm - 15-30 cm de profundidad, por medio del potenciómetro digital marca CORNING modelo 105 siguiendo la marcha que presenta el Laboratorio de Suelos de la F.A.U.A.N.L.

Conductividad Eléctrica (C.E.) Esta variable se determinó de muestras de dos profundidades 0-15 cm - 15-30 cm, en un análisis de laboratorio por medio del puente de Wheatstone, siguiendo la marcha que presenta el Laboratorio de Suelos de la F.A.U.A.N.L.

Procedimiento seguido para la determinación de Ca y K.

Análisis de Ca y K en suelos utilizando la solución extractora modificada de Bicarbonato de sodio (NaHCO₃).

Un gran número de soluciones extractoras de suelos han sido utilizadas en diversas partes del mundo para los análisis de suelos, con el fin de evaluar el estado nutritivo o fertilidad de los mismos. La solución doble de ácido débil de Carolina del Noret (Mehlich) es ampliamente usada para suelos con un pH debajo de 6.5 y la solución NaHCO_3 (Olsen) para suelos con amplio rango de pH desde ácido hasta alcalino. Con el extractante Mehlich se puede obtener no solamente medidas para K y P sino también muchas veces para Ca, Mg, Mn y Zn.

La solución extractora de Olsen generalmente ha servido solamente para indicar el estado de disponibilidad de P y K.

El Proyecto Internacional de Evaluación y Mejoramiento de la Fertilidad del Suelo, introdujo una solución extractora modificada de NaHCO_3 que aparenta ser ideal para indicar el estado de disponibilidad de P, K, Cu, Mn y Zn, el fierro también puede ser determinado con esta solución.

Solución Extractora Modificada de NaHCO_3

0.5 N NaHCO_3 , 0.01 M EDTA con 0.5g de superfloc 127 por 10 litros.

Preparación

- a) Disolver 420g de NaHCO_3 en agua destilada
- b) Disolver 37.2g de EDTA, Sal disódica ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{N}_9\text{O}_8\text{2H}_2\text{O}$) en agua destilada
- c) Disolver 0.5g de Superfloc 127 en 200 a 400 ml de agua destilada.

Mezclar las tres soluciones antes mencionadas con agua destilada y llevar a volumen de 10 litros. Ajustar el pH a 8.5 con NaOH y luego guardar la solución en un frasco de polietileno.

I.- Reactivos para la determinación de P

Solución concentrada de cloruro Estanoso

Solución A. Disolver 3 gramos de cloruro estanoso en 10 ml de ácido clorhídrico concentrado. Calentar levemente si fuera necesario. Diluir con agua destilada a un volumen de 10 ml y mantenerla en un frasco ambar, hermeticamente cerrado y en el refrigerador

Solución concentrada de Molibdato de Amonio

- Solución B.- 1.- Disolver 25g de Molibdato de Amonio en aprox. 200 ml de agua destilada
- 2.- Agregar 275 ml de ácido sulfúrico concentrado aprox. 600 ml de agua destilada.
- 3.- Cuando las soluciones 1 y 2 antes mencionadas se han enfriado, mezclarlas y diluir a un volumen de 1 litro, colocar en el refrigerador.

Solución diluida de Cloruro Estanoso

Solución C.- El día que se va a usar, diluir 5 ml de solución A, a un volumen de 1 litro con una solución conteniendo 1 gr. de gelatina, libre de fósforo, por un litro.

Solución diluida de Molbdato de Amonio

Solución D.- El día que se va a usar, diluir 100 ml de solución B a un volumen de 1 litro.

II Procedimiento de extracción

- 1.- Colocar 2.5 ml de suelo y 25 ml de la solución extractora en un frasco o vaso de precipitado.
- 2.- Agitar a una velocidad lenta (aprox. 400 rpm) durante 10 minutos.
- 3.- Filtrar usando un papel filtro poroso

III Procedimientos analíticos

- 1.- Determinación de P.- Usando una combinación del instrumento diluidor - dispensador, tomar una alicuota de 2 ml del filtrado (II-3) y agregar 8 ml de solución diluida de cloruro estanoso (Solución C) y 10 ml de solución diluida de Molibdato de Amonio (Solución D). Dejar reposar durante 10 minutos o más para el desarrollo del color y leer el porcentaje de transmitancia observancia o densidad óptica en un espectrofotómetro (colorímetro) a 660 ó 680 mv.
- 2.- Determinación de K. Usando la misma combinación del instrumento diluidor - dispensador que se utilizó para P, tomar una alicuota de 2 ml del filtrado (II-3) y agregar 18 ml de agua destilada.
- 3.- Determinación de Ca.- Usando la misma combinación del instrumento diluidor - dispensador que se utilizó para P, to-

mar del filtrado (II-1) una alicuota de 2 m y agregar 10 ml La_2O_3 + 8 ml de agua y tomar la lectura en el espectro fotómetro.

Tomado del folleto del Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos del CATIE.

3.5.2. Variables consideradas con respecto a la planta.

La parcela útil que se consideró en el presente experimento, comprendió los dos surcos centrales de cada parcela experimental, cada uno de 6 m de longitud y 0.80 m de ancho, por lo que la superficie de la parcela útil fue de 9.6 m^2 .

Porcentaje de emergencia (E) La emergencia indica en forma indirecta la dureza de la costra, Se realizó el conteo de plantas por tratamiento comparándolo con el número de semillas sembradas en el; se sembró una semilla cada 8 cm, en los dos surcos de la parcela útil, (6 ms de longitud cada surco), se colocaron 150 semillas. Entonces el porcentaje de emergencia se obtuvo dividiendo el número de plantas emergidas por parcela útil, entre 150, el resultado se multiplicó por 0.98 (% de germinación). Los resultados se transformaron usando la fórmula $\text{sen}^{-1} \sqrt{I}$.

Materia seca por planta (M.S.) Se obtuvo de la muestra de diez plantas con competencia completa que fueron extraídas de la parcela útil, cuando el cultivo de frijol alcanzó su máximo

desarrollo vegetativo y antes que las plantas comenzaran a tirar sus hojas, considerándose toda su biomasa. Las muestras fueron deshidratadas, en el cuarto de secado y la determinación de materia seca se hizo pesando las diez plantas de cada muestra en una báscula y dividiendo el peso total entre diez, expresando el resultado en gramos.

Rendimiento de grano por hectárea (R) Esta variable, se obtuvo del peso del grano de todas las plantas cosechadas de la parcela útil. También se contó el número de plantas cosechadas en cada parcela experimental, con el fin de verificar que, estadísticamente, el número de plantas no fueron diferente y estar seguros que los rendimientos entre las parcelas, variarían debido a los tratamientos y no por el hecho de haber cosechado distinto número de plantas, en cada parcela experimental.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 6 se presenta un resumen de los análisis de varianza de las variables estudiadas. En esta tabla se puede observar que las variables que resultaron significativas son la variable densidad aparente a 0-15 cm (D.A.), pH, (0-15 cm) y p.H.₂ (15-30 cm).

Tabla 6. Resumen de los análisis de varianza de las variables estudiadas.

Variable	SCT	SCE	Fcal.	Sig.	Xgral	% C.V.
g.l.	12	24				
H ₁	48.563	45.449	0.055	N.S.	17.015	8.088
H ₂	23.995	54.966	0.583	N.S.	20.54	7.367
DA ₁	0.077	0.067	0.039	X	1.29	4.245
DA ₂	0.032	0.116	0.857	N.S.	1.39	5.087
M.O ₁	6.117	7.899	0.174	N.S.	2.278	25.179
M.O ₂	1.819	2.546	0.220	N.S.	1.734	18.776
P.E.	0.221	0.609	0.713	N.S.	4.001	3.951
pH ₁	0.057	0.050	0.041	X	7.85	0.569
pH ₂	0.057	0.048	0.036	X	8.087	0.553
CE ₁	0.217	0.375	0.364	N.S.	1.491	8.483
CE ₂	0.220	0.513	0.597	N.S.	1.543	9.391
MR ₁	4.763	6.101	0.170	N.S.	2.937	17.159
MR ₂	16.213	37.404	0.589	N.S.	5.412	23.06
CA ₁	9.556	42.994	0.927	N.S.	3.971	33.70
CA ₂	4.813	11.907	0.640	N.S.	3.319	21.21
K ₁	4.958	21.474	0.918	N.S.	2.647	35.74
K ₂	4.622	6.116	0.187	N.S.	1.484	34.02
E	122.292	282.629	0.590	N.S.	17.547	19.55
MSP	782.667	984.921	0.161	N.S.	22.584	28.36
R	331358752.00	455409.024	0.209	N.S.	13750.718	31.67

- N.S. Diferencia no significativa (P .05)
- X Diferencia significativa entre tratamientos (P .05)
- XX Diferencia altamente significativa entre tratamientos
(P .05)
- S.C.T. Suma de cuadrados de los tratamientos
- S.C.E. Suma de cuadrados del error
- Fcal. El valor de la F calculada
- \bar{X} Gral. Media general de cada variable bajo estudio.
- % C.V. Coeficiente de variación en por ciento.
- g.l. Grados de libertad para cada fuente de variación.

Para las variables que resultaron significativas se realizaron comparación de medias, por el método Duncan, para saber cuales tratamientos, son los mejores.

Con los resultados obtenidos en esta Tabla 7, se puede concluir con un 99% de seguridad, que los valores mas bajos de la densidad aparente a 0-15 cm los tienen los tratamientos 7 (1.22 gr/cm³) y 8 (1.24 gr/cm³). Los valores mas elevados los presentan los tratamientos 3 (1.37 gr/cm³) y 4 (1.35 gr/cm³).

Tabla 7. Comparación de medias por el método Duncan, para la variable DA, que resultó significativa.

Tratamiento	Media	$\alpha=0.01$
3	1.37 gr/cm ³	
4	1.35	
10	1.34	
9	1.33	
5	1.30	
13	1.29	
2	1.28	
1	1.27	
12	1.27	
11	1.26	
6	1.25	
8	1.24	
7	1.22	

Observando la Tabla 8 se puede concluir con un 99% de seguridad que los mejores tratamientos son el 10 (7.79), 6 (7.79) 13 (7.8) y 9 (7.84) que tienen los valores del pH mas bajos. Los valores mas altos los presentan los tratamientos 11 (7.92) y 1 (7.90).

Tabla 8. Comparación de medias por el método Duncan, para la variable pH 0-15 cm (pH_1), que resultó significativa entre tratamientos.

Tratamiento	Media	$\alpha = .01$
11	7.92	
1	7.90	
4	7.88	
5	7.87	
2	7.86	
3	7.85	
12	7.85	
8	7.85	
7	7.84	
9	7.84	
13	7.8	
6	7.79	
10	7.79	

Con los resultados de la Tabla 9 se puede concluir con un 99% de seguridad que los mejores tratamientos resultaron ser el 5 (8.00) y el 10 (8.05) que presentan los valores mas bajos del PH a 15-30 cm.

Los valores mas altos los presentan los tratamientos 4 (8.14), 8 (8.14), 13 (8.12) y 7 (8.12).

Tabla 9. Comparación de medias por el método Duncan, para la variable pH 15-30 (PH₂), que resultó significativa.

Tratamiento	Media	$\alpha = .01$
4	8.14	
8	8.14	
13	8.12	
7	8.12	
9	8.10	
2	8.09	
11	8.09	
12	8.08	
1	8.07	
3	8.06	
6	8.06	
10	8.05	
5	8.00	

Tabla 10. Resumen de los principales parámetros estadísticos en el presente experimento.

Variable	\bar{X}_{gral}	Mínimo	Máximo	Desv. estandar	% Coef Var.
H ₁	17.015	13	21	1.867	8.088
H ₂	20.54	17.820	24.470	1.443	7.367
DA ₁	1.29	1.160	1.413	0.067	4.245
DA ₂	1.390	1.183	1.517	0.065	5.087
MO ₁	2.278	1.242	3.588	0.621	25.179
MO ₂	1.734	1.036	2.622	0.381	18.776
P.E.	4.001	3.571	4.264	0.170	3.951
pH ₁	7.85	7.700	7.960	0.072	0.569
pH ₂	8.087	7.850	8.250	0.102	0.553
CE ₁	1.491	1.250	1.800	0.154	8.483
CE ₂	1.543	1.30	1.820	0.144	9.391
MR ₁	2.937	1.50	4.583	0.651	17.159
MR ₂	5.412	3.100	7.960	1.307	23.06
C.A ₁	3.971	0.960	7.633	1.580	33.70
C.A ₂	3.319	1.381	47.80	0.930	21.21
K ₁	2.647	1.184	5.211	0.864	35.74
K ₂	1.484	0.560	3.623	0.832	34.02
E	17.547	12.080	25.800	3.281	19.55
M.S.P.	22.584	11.500	38.570	6.874	28.36
R	13750.718	61.63	24.500	5009.43	31.67

Tabla 11. Densidad aparente del suelo (0-15 cm) y subsuelo (15-30 cm), antes y hasta este experimento. Estos valores estan expresados en gr/cm^3 .

Trat.	D.A. Suelo			D. A. Subsuelo		
	3º Ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo
1	1.24	1.29	1.27	1.39	1.31	1.37
2	1.37	1.21	1.28	1.36	1.29	1.34
3	1.24	1.81	1.37	1.41	1.27	1.39
4	1.20	1.25	1.35	1.37	1.31	1.39
5	1.28	1.22	1.30	1.33	1.28	1.41
6	1.26	1.17	1.25	1.28	1.28	1.37
7	1.33	1.21	1.22	1.39	1.28	1.41
8	1.36	1.81	1.24	1.33	1.36	1.44
9	1.24	1.17	1.33	1.39	1.32	1.41
10	1.18	1.18	1.34	1.32	1.36	1.35
11	1.26	1.10	1.26	1.39	1.31	1.37
12	1.16	1.30	1.27	1.33	1.35	1.40
13	1.25	1.26	1.29	1.26	1.23	1.42
X	1.25	1.30	1.29	1.35	1.29	1.39

La Tabla 11 nos muestra los resultados obtenidos de densidad aparente, de los ciclos anteriores hasta el presente.

En esta tabla se puede observar que los valores de la densidad aparente para 0-15 cm, va en aumento (1.25 gr/cm³, 1.30 gr/cm³, 1.29 gr/cm³), a medida que va transcurriendo mas el tiempo en que se aplicó el compost. Sin embargo en este 5º ciclo de estudio (851 días aproximadamente después de aplicado el compost) aun se encuentran diferencias significativas entre tratamientos, para la variable DA₁, esto debido al efecto residual del compost.

Para la densidad aparente del subsuelo (D.A.₂) se observan valores mas elevados, debido a que mayor profundidad existen menor espacio poroso, ya que disminuye el contenido de materia orgánica. Los resultados obtenidos también presentan una tendencia a la alza, debido a que el efecto benéfico del compost va disminuyendo.

La Tabla 12 nos muestra los resultados obtenidos con el penetrómetro, para medir la dureza de la costra en el campo. Se puede observar que la dureza de la costra va en aumento, como consecuencia de la disminución del efecto del compost. En este 5º ciclo de estudio esta variable no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 12. Valores obtenidos mediante el penetrómetro antes y hasta el presente experimento, con los resultados expresados en bares.

Tratamiento	3º Ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo
1	2.6845	3.8121	3.9042
2	2.8465	3.9437	3.8716
3	2.4068	3.8525	4.1000
4	2.8000	4.0501	4.0110
5	2.6151	3.6061	4.0800
6	2.3374	3.9285	3.9360
7	2.4994	4.1077	4.0770
8	2.2911	3.8590	3.9700
9	2.2911	3.8200	4.0330
10	2.7077	4.0760	3.9960
11	2.4300	3.8870	3.9500
12	2.4300	3.8739	4.1210
13	2.1290	3.6545	3.958
X	2.4975	3.8824	4.0006

Tabla 13. Nos presenta resultados obtenidos, en el 5º ciclo del % de materia orgánica en el suelo y subsuelo.

Tratamiento	Suelo	Subsuelo
1	2.300	1.610
2	2.058	1.426
3	2.051	1.764
4	1.748	1.483
5	2.668	1.897
6	3.139	2.047
7	2.001	1.909
8	1.886	1.449
9	1.994	1.449
10	1.994	1.955
11	2.369	1.874
12	2.738	1.948
13	2.668	1.725
\bar{x}	2.28	1.7335

Con los resultados que se presentan en la Tabla 14 se puede concluir que el porcentaje de materia orgánica se incrementa en los primeros ciclos alcanzando máximo valor en el cuarto ciclo, en el 5º ciclo su valor empieza a disminuir.

Tabla 14. Contenido de M.O., existente en el suelo, de los ciclos anteriores y hasta este experimento.

Trat.	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo
1	1.88	2.02	1.90	2.52	1.95
2	1.80	1.99	1.50	2.53	1.74
3	2.11	1.83	1.60	2.45	1.90
4	2.32	2.11	2.12	2.94	1.61
5	2.27	2.16	1.70	2.91	2.28
6	2.11	2.71	2.27	2.58	2.59
7	1.88	2.15	1.94	2.53	1.95
8	2.11	2.04	1.82	2.82	1.66
9	2.46	2.22	1.48	2.74	1.72
10	2.48	2.36	2.29	2.65	1.97
11	2.30	2.59	2.05	2.74	2.12
12	2.11	2.59	1.94	2.81	2.34
13	2.59	2.13	1.96	2.86	2.19
X	2.18	2.22	1.89	2.69	2.00

La Tabla 15 nos muestra los resultados para la variable módulo de ruptura. Los valores medios de cada repetición nos demuestran que tanto para suelo (MR_1) y subsuelo (MR_2) los valores van en aumento, a medida que el efecto residual del compost va disminuyendo, trayendo como consecuencia un suelo mas compactado que impide la emergencia de las plántulas.

Tabla 15. Resultados obtenidos para la variable módulo de ruptura para suelo (0-15 cm) y subsuelo (15-30 cm) antes y después de éste experimento. Los valores están expresados en bares.

Trat.	Módulo ruptura suelo			Módulo ruptura subsuelo		
	3º Ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo
1	3.470	2.960	3.270	2.990	3.773	5.577
2	3.486	2.636	2.730	2.910	4.553	5.598
3	3.103	3.096	3.113	3.213	3.840	6.159
4	2.353	2.723	3.447	3.130	3.250	5.358
5	2.550	2.803	2.974	3.343	2.983	5.315
6	2.736	2.436	3.174	2.580	2.350	6.366
7	2.023	3.123	2.356	2.353	2.350	5.197
8	2.813	2.713	3.453	3.793	3.333	6.162
9	2.403	3.040	2.913	2.340	3.653	5.376
10	2.880	2.343	2.326	4.030	2.086	4.318
11	2.686	2.950	2.718	4.550	3.946	5.609
12	2.390	2.453	3.005	3.636	3.543	5.326
13	1.960	2.383	2.701	4.430	2.720	3.995
X	2.674	2.743	2.936	3.330	3.260	5.412

Tabla 16. Nos muestra los valores de la concentración en P.P. M. de calcio y potasio.

	0 - 15 cm		15 - 30 cm	
	Ca	K	Ca	K
T ₁	4.394	2.312	4.394	0.911
T ₂	4.280	2.570	4.280	1.694
T ₃	4.588	2.583	4.588	1.240
T ₄	3.249	1.782	3.249	2.224
T ₅	3.346	3.024	3.346	1.429
T ₆	4.134	3.144	4.134	1.751
T ₇	3.153	2.785	3.153	1.455
T ₈	3.864	2.387	3.864	1.871
T ₉	3.919	2.388	3.919	1.108
T ₁₀	4.737	2.835	4.737	1.247
T ₁₁	3.713	3.018	3.713	1.360
T ₁₂	4.447	2.677	4.447	1.764
T ₁₃	3.80	2.904	3.80	1.196
\bar{x}	3.97	2.646	3.97	1.480

Los efectos benéficos que produce el compost en las propiedades físicas y químicas del suelo pueden verse reflejadas en el rendimiento. Como se demuestra en la Tabla 17, donde se puede observar que los valores promedios del rendimiento, tanto para el cultivo de trigo como para el de frijol, va en aumento ciclo con ciclo, hasta llegar a un ciclo en que este efecto reduzca.

Tabla 17. Rendimiento obtenido en los cinco ciclos consecutivos que comprenden éste experimento.

RENDIMIENTO Kg/Hg.					
C I C L O S					
Trat.	1º frijol	2º trigo	3º frijol	4º trigo	5º frijol
1	675.60	2613.90	832.63	3528.40	1023.35
2	660.16	2470.20	905.65	3683.30	1165.86
3	850.56	2623.70	876.73	3277.70	1053.35
4	905.90	2975.90	927.42	3509.50	1313.26
5	776.30	2443.30	1207.98	3888.80	1704.02
6	575.66	2492.50	1070.83	3261.00	1077.09
7	996.53	2706.30	1142.01	4028.10	1467.95
8	1447.90	2814.60	1040.97	3742.10	1695.57
9	567.83	2822.90	1047.56	3740.60	908.80
10	427.52	2575.60	1053.46	4042.90	1473.16
11	752.90	2714.20	1003.12	4319.20	1331.16
12	922.86	2951.47	1153.47	4218.10	1829.49
13	946.76	2900.10	858.33	3920.70	1614.08
X	808.19	2700.33	1009.24	3781.56	1358.24

Después de realizar y analizar los resultados obtenidos en este experimento se ponen a discusión los mismos.

Al iniciar el presente experimento se plantearon dos hipótesis: H_0 : No existe efecto residual de la aplicación de compost al suelo para las variables estudiadas, después de 5 ciclos de cultivo. H_1 : Existe algún efecto residual de la aplicación de compost al suelo para las variables estudiadas, después de 5 ciclos de estudio.

Apoyándonos en la Tabla 6 que nos muestra los análisis de varianza de las variables estudiadas, se acepta la hipótesis H_1 : que si hay efecto residual. En esta misma tabla se observa que las variables que salieron significativas son densidad aparente a 0-15 cms (DA.), PH del suelo a 0-15 cm (PH_1) y PH del subsuelo 15-30 cm (PH_2). Los resultados obtenidos para las demás variables bajo estudio nos indican que ya no hay cambios significativos, entre tratamientos, por el efecto residual del compost.

Tal vez se hubieran hecho las aplicaciones de la M.O. en bandas a un lado de la semilla, y a dosis pequeñas a intervalos cortos, como recomiendan algunos autores, este efecto se hubiera hecho manifiesto en otras variables.

Para las variables que no resultaron significativas estadísticamente se puede discutir lo siguiente. Para la variable densidad del subsuelo (DA.), se puede observar en la Tabla 11 que el valor promedio mas bajo ($1,29 \text{ gr/cm}^3$) se presente en el

4º ciclo de estudio, en el 5º ciclo, este valor se eleva (1.39) debido que el efecto residual del compost va disminuyendo.

La Tabla 14 nos demuestra que los mejores beneficios en cuanto a materia orgánica del suelo, los presenta el 4º ciclo (732 días) con un valor promedio de 2.69% en los ciclos anteriores este valor era menor, pero en el 5º ciclo (874 días) es este valor vuelve a disminuir, lo que significa el efecto residual del compost va en decadencia

En la Tabla 12, se observa que los valores obtenidos con el penetrómetro en el 5º ciclo de estudio es mayor a los obtenidos en los ciclos anteriores, esto es debido a que el compost ya no está beneficiando al suelo para disminuir la dureza de la costra.

A pesar que la mayoría de las variables no resultaron significativas estadísticamente se puede observar en la Tabla 17 que nos muestra los resultados obtenidos en los cinco ciclos consecutivos que comprenden este experimento, y aunque esta variable rendimiento no resultó significativa se puede observar que tanto para frijol como trigo, ciclo tras ciclo, ha ido incrementando.

Para las variables que presentaron diferencias significativas entre tratamientos se realizaron comparaciones de medias por el método Duncan.

Para la variable DA. se puede observar en la Tabla 7 que

el valor mas bajo lo presenta el tratamiento 7 (1.22 gr/cm³) con 50 ton/ha de compost y 50 Kg/ha de Nitrógeno y 50 Kg/ha de fósforo, el N y P se aplicaron en el primer ciclo de estudio. El tratamiento 8 (1.24 gr/cm³) con 50-100 50, es otro de los tratamientos que presentan valores mas bajos.

El valor mas elevado de D.A. lo presenta el tratamiento 3 (1.37 gr/cm³) con 0-100-50, esto se debe, tal vez, al no haber aplicación de compost, los espacios porosos no fueron incrementados por la M.O. y la densidad aparente tuvo un ligero incremento.

Normalmente la densidad aparente de los suelos arcillosos varía entre 1.0 a 1.6 gr/cm³.

En la Tabla 18, nos muestra el análisis de varianza de la regresión para la D.A., es el procedimiento en el cual intervienen todas las regresiones posibles, resultó no significativo para los efectos lineal, cuadrático y la interacción compost-nitrógeno. Por lo que no explica la variación, de tal manera que se obtuviera un modelo general.

La Tabla 8 nos muestra la comparación de medias por medio de Duncan para la variable pH, se puede observar que los mejores tratamientos fueron el 10 (7.79), 6 (7.79), 13 (7.8) y 9 (7.84).

Con los resultados obtenidos en esta Tabla y observando la Figura 10 se puede discutir lo siguiente. Con niveles de

compost de 0 - 25 ton/Ha combinado con cualquier dosis de Nitrógeno el pH₁ no presenta diferencias significativas.

En el nivel de 50 ton/Ha de compost con 0 Kg/Ha de Nitrógeno (T6) es de los que presenta los valores mas bajos. Los dos niveles de 75 Ton/Ha de compost con 25 y 75 de N (T9 y T10) también son de los valores mas bajos del pH y de los tratamientos de 100 Ton/Ha de compost, el valor mas bajo lo presenta el que se combina con 100 Kg/ha de N (T13)..

Estos valores estan dentro de lo normal de acuerdo a la literatura revisada, ya que una de las funciones de la M.O., es reducir la alcalinidad de los suelos. Esto es debido a los ácidos orgánicos liberados de la M.O., en descomposición.

El análisis de varianza de la regresión, Tabla 19 para pH₁ también resultaron no significativos, con R² muy bajas.

La comparación de medias por el método Duncan para la variable pH₂ la presenta la Tabla 9 que nos muestra como los mejores tratamientos el 5 (8.-0) con 25 Ton/Ha de compost y 75 Kg/Ha de N y el tratamiento 10 (8.05) con 75 Ton/Ha de C y 75 Kg/Ha de N.

Se puede observar que para el subsuelo 15-30 cms los datos de 75 Ton/Ha de N presentan los valores mas bajos del pH del subsuelo,

Para esta variable PH₂, el análisis de varianza de la regresión, Tabla 20, resultó no significativa, R² muy bajas,

En este experimento también se realizó un análisis de correlación, en donde se escogieron las variables con el porcentaje mayor y que fueran de interés. Las variables escogidas fueron:

HS₁ Vs MO₂ D.A.₁ Vs P.E. P.E. Vs P H₁
 HS₁ Vs P. H₁ K_i Vs M O₂ C a₁ Vs P H₂
 HS₂ Vs M O₁ E Vs M O₂ K2 Vs Ca₂

Para estas variables mas altamente correlacionadas se probaron varios modelos, Tabla 21.

Tabla 18. Análisis de varianza de la regresión para la variable densidad aparente 0-15 cm.

Varia bles	S.C. Regresión	S.C. Error	Fcalc.	Signif.	R ²
C	0.01259	0.15774	0.67848	N.S.	0.07392
N	0.00443	0.16590	0.98793	N.S.	0.02601
C ²	0.01098	0.15936	0.80369	N.S.	0.06445
N ²	0.01303	0.15730	0.54687	N.S.	0.07652
CN	0.01073	0.15961	1.20973	N.S.	0.06297

Tabla 19. Análisis de varianza de la regresión para la variable pH 0-15 cms.

Varia bles	S.C. Regresión	S.C. Error	Fcalc.	Signif.	R ²
C	0.02789	0.16671	1.95168	N.S.	0.14331
C ²	0.02081	0.17379	2.15586	N.S.	0.10696
N ²	0.02800	0.16660	1.42846	N.S.	0.14388
CN	0.01836	0.17624	3.85366	N.S.	0.09433

Tabla 20. Análisis de varianza de la regresión para la variable pH - 15 - 30 cm.

Varia bles	S.C. Regresión	S.C. Error	F calc.	Signif.	R ²
C	0.00611	0.38963	0.10349	N.S.	0.01544
N	0.00502	0.39072	0.23143	N.S.	0.01269
C ²	0.00573	0.39001	0.17141	N.S.	0.01448
N ²	0.00595	0.38980	0.12967	N.S.	0.01503
CN	0.00354	0.39221	0.33359	N.S.	0.00894

Tabla 21. Concentración de modelos probados con las variables mas altamente correlacionadas.

Variables	Modelos de Regresión				F Calc.
	Lineal	Cuadrática	Logarítmica	Exponencial	
HS ₁ Vs M.O ₂		R ² = 0.01325			0.241
HS ₁ Vs PH ₁			R ² = 0.24410		11.948
HS ₂ Vs MO ₁		R ² = 0.19346			4.3175
DA ₁ VS PE		R ² = 0.18512			8.405
K ₂ Vs MO ₂			R ² = 0.19717		9.087
E Vs MO ₂		R ² = 0.00511			.0924
P.E Vs PH ₁			R ² = 0.21284		10.00
Ca ₁ Vs PH ₂		R ² = 0.28350			14.64
K ₂ Vs Ca ₂			R ² = 0.41471		26.216

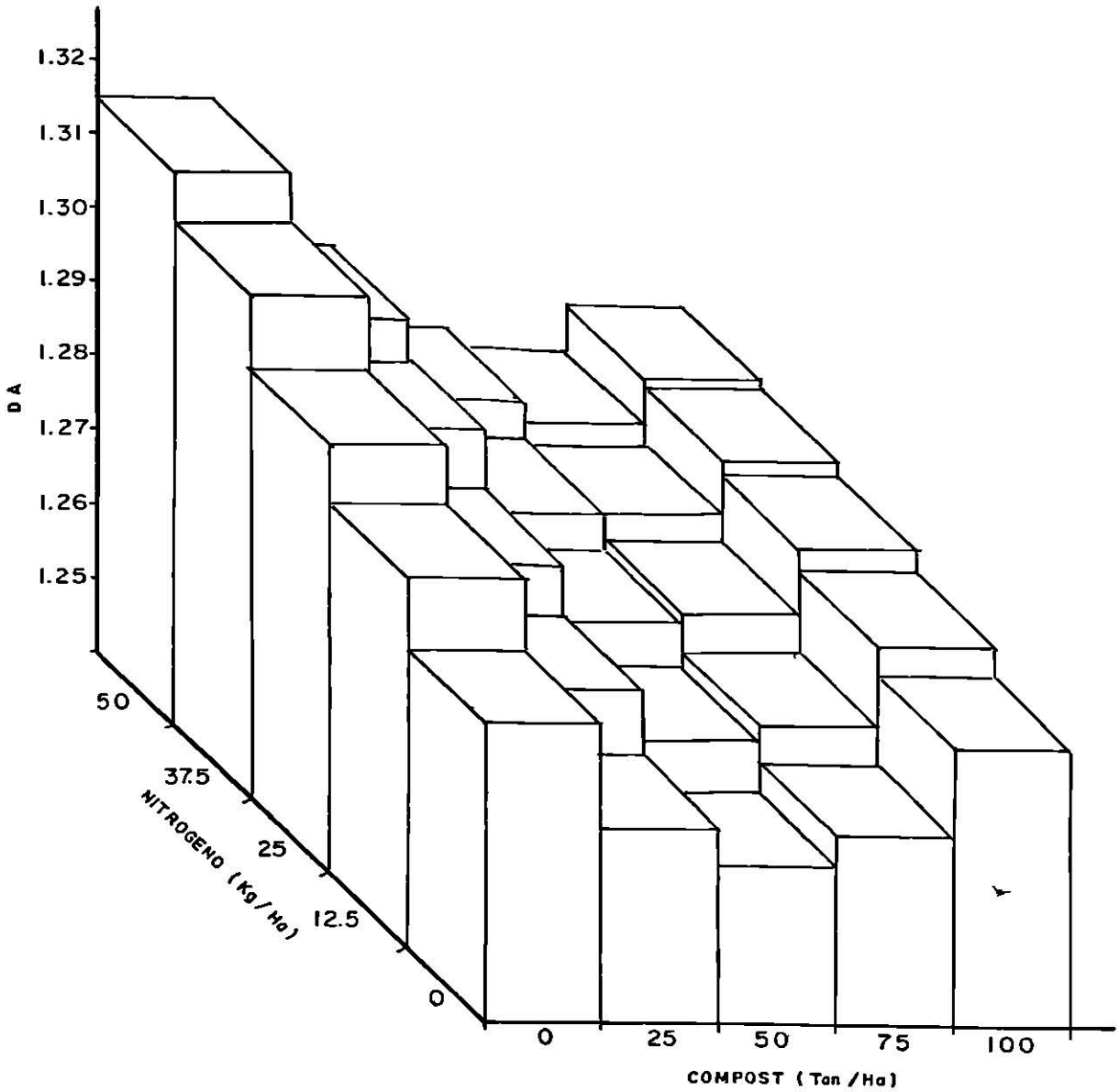


Figura 9. Respuesta estimada de la densidad aparente a 0-15 cms del suelo, cuando el nitrógeno y compost se presentan a diferentes niveles, con el modelo codificado.

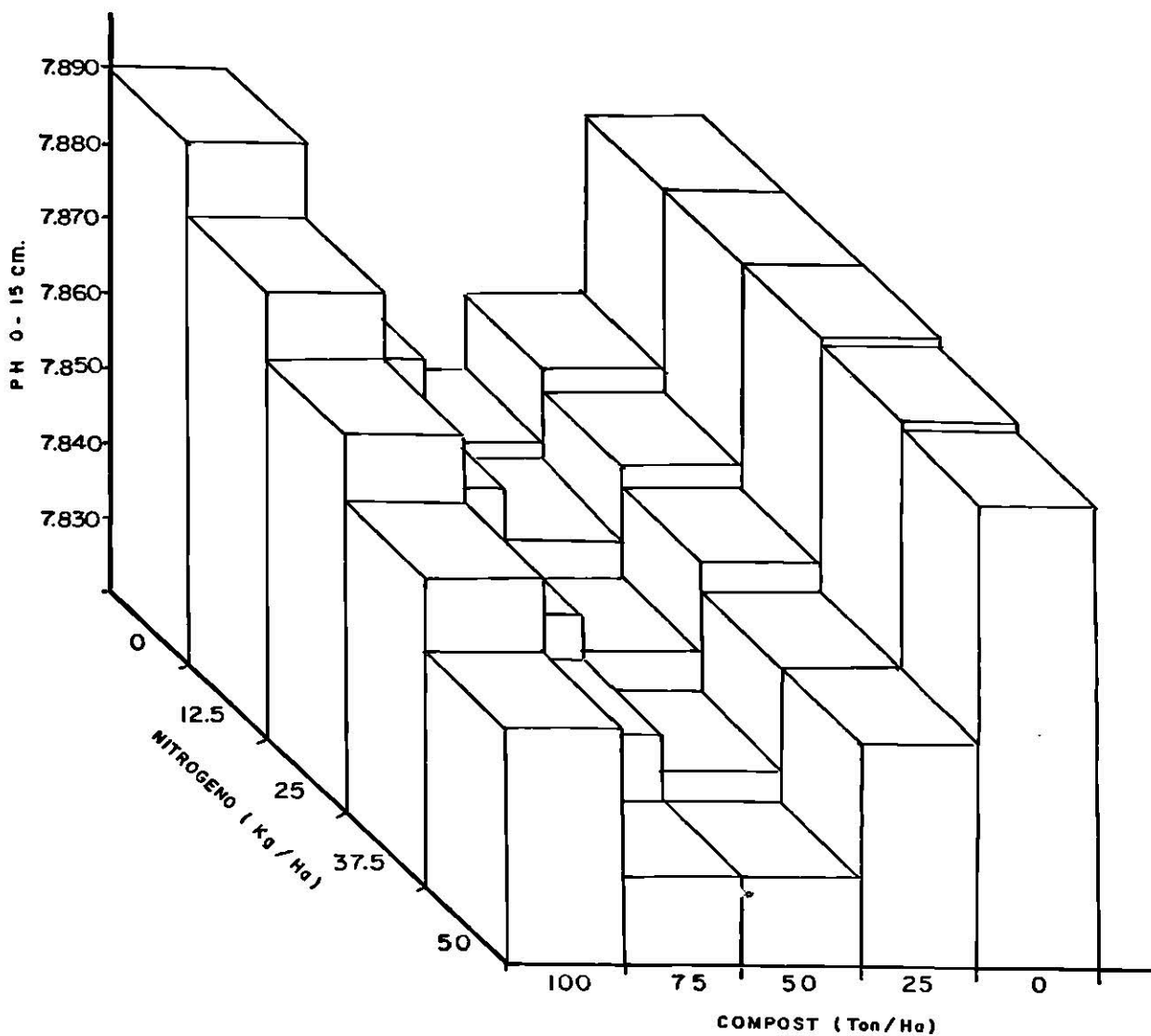


Figura 10. Respuesta estimada del pH a 0-15 cms del suelo, cuando el nitrógeno y compost se presentan a diferentes niveles, con el modelo codificado.

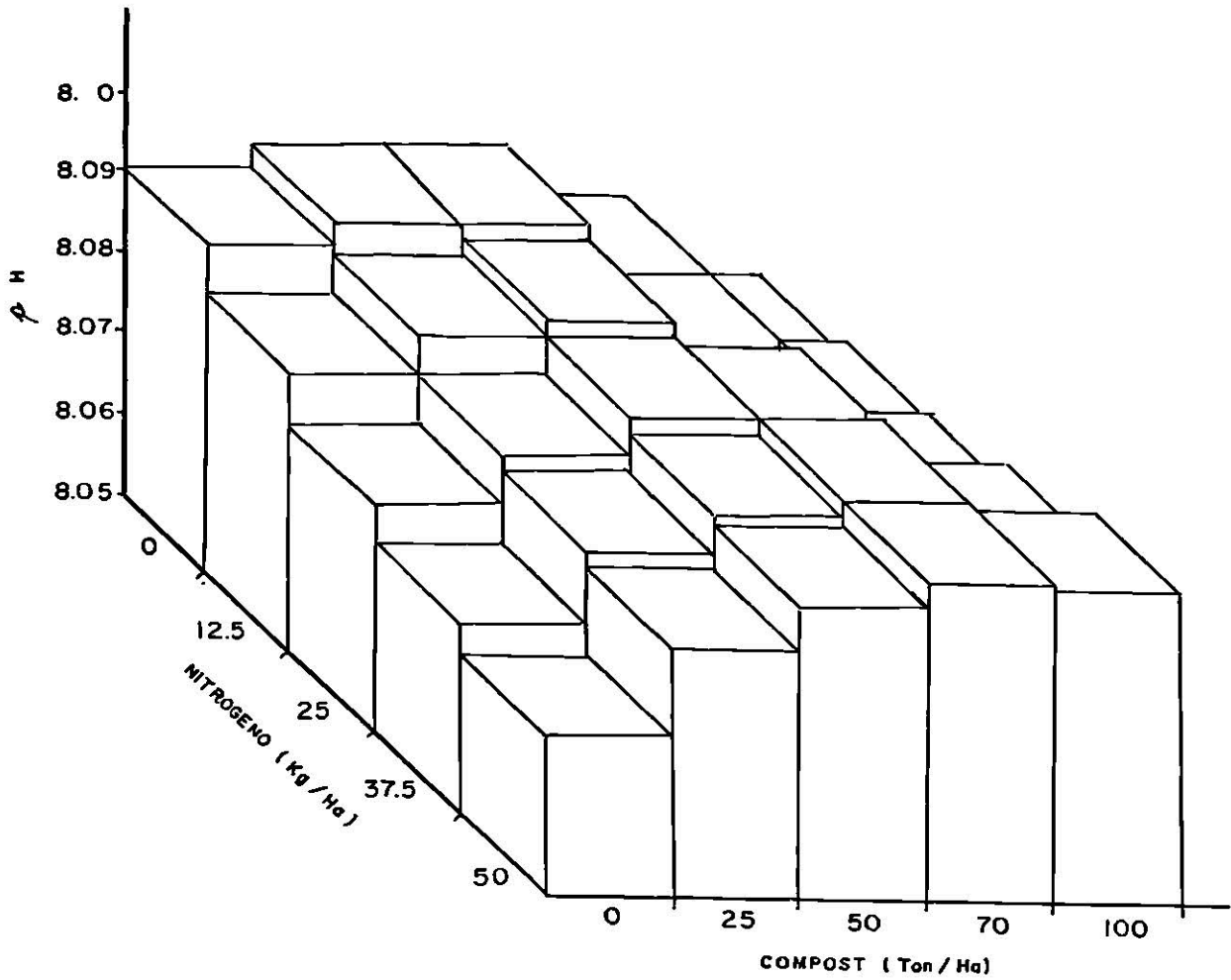


Figura 11. Respuesta estimada del pH a 15-30 cms, cuando el nitrógeno y compost se presentan a diferentes niveles, con el modelo codificado.

La Figura 9 nos muestra la respuesta estimada de la densidad aparente a 0-15 cms, cuando el nitrógeno y compost se presentan a diferentes niveles.

Para realizar esta Figura se utilizaron los datos obtenidos del siguiente modelo:

$$Y = 1.28 - 0.000715333 C + 0.0008637142N + 0.0000069 C^2 + 0.00000314 N^2 - 0.000005176 C N + e$$

De esta ecuación se van sustituyendo los valores del compost y nitrógeno.

En forma general se puede observar que el valor de la densidad aparente se incrementa a medida que la dosis de nitrógeno aplicada va aumentando. Encontrándose el valor más alto (1.3154 gr/cm³) con la dosis de 0 compost y 50 Kg/Ha de nitrógeno. Esto se puede atribuir a que el nitrógeno incorporado propicia una rápida descomposición de la materia orgánica existente, y al haber menor M.O. hay menor agregación y más compactación que fuerza al material sólido dentro de los poros del suelo aumentando la densidad aparente.

El valor más bajo de la densidad aparente, (1.261 gr/cm³) se obtuvo con la dosis de 0 nitrógeno y 50 Ton/Ha de compost. En este nivel de 0 nitrógeno se esperaba que a medida que se incrementaba la dosis de compost el valor de la densidad aparente fuera disminuyendo, como sucedió con 0, 25, 50 ton/Ha. de compost sin embargo con 75 y 100 Ton/ha este valor se incre

mentó

La Figura 10 nos muestra la respuesta estimada del pH a 0-15 cm del suelo, donde se puede observar que el pH va disminuyendo, en cualquier dosis de compost, a medida que se incrementa la dosis del nitrógeno aplicado. Se puede observar también que al no haber aplicación de compost, los valores del pH se mantienen altos y con muy poca variación. Aquí se pone de manifiesto una de las propiedades de la M.O., que es la de reducir la alcalinidad de los suelos. Esto debido a los ácidos orgánicos liberados de la M.O. en descomposición.

A medida que se incrementa la dosis de compost el valor de pH disminuye, sin embargo con 75 y 100 Ton/Ha de compost no se observa lo esperado ya que este valor se incrementa. Una explicación al porqué sucede esto, es la suposición siguiente: Debido a que es el quinto ciclo de estudio los beneficios de la M.O. que contiene el compost, a dosis de 75 y 100 Ton/Ha ya no se manifiestan disminuyendo la alcalinidad del suelo, sin embargo el compost contiene fósforo, potasio, carbono, fierro, manganeso, boro, cobre, zinc, etc. que pudieron haber interactuado ocasionando ciertas reacciones que ocasionaron un incremento en el pH.

En la Gráfica 11 de la respuesta estimada del pH a 15-30 cm., se puede observar que el valor mas bajo del pH (8.070) lo tiene el tratamiento con 0 compost y 50 Kg/Ha de N. Se puede observar también que al ir incrementando la dosis de 0, 25, y

50 Ton/Ha de compost y disminuyendo la dosis de nitrógeno el pH va en aumento.

5. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos muestran evidencia de que si existe efecto residual del abonado con compost, después del 5º ciclo de estudio. Cabe señalar que este efecto residual en este ciclo, ya es muy poco.
2. El efecto residual del compost se manifiesta en las variables DA, PH, y PH₂, que resultaron significativas.
3. Basados en los resultados observados en cada ciclo de estudio podemos concluir que los máximos beneficios del abonado con compost se manifiestan en el tercero (467 días) y cuarto ciclo (637 días).
4. En todos los ciclos los mejores tratamientos resultaron ser los que contenían de 50 Ton/Ha de compost. En el tercer ciclo resultaron ser los tratamientos del 9 al 13. En el cuarto el tratamiento 10 disminuyó los valores del módulo de ruptura del subsuelo. En este quinto ciclo los tratamientos 7 y 8 (50 Ton/Ha.C.) presentan los valores mas bajos de densidad. Para pH. del suelo los mejores tratamientos fueron los que se aplicaron dosis de 50 Ton/Ha de compost en adelante. Aunque aquí se observa una excepción con el tratamiento 11 (100 Ton/Ha de C.) que esta entre los valores mas altos de pH.
5. El análisis de regresión para las variables significativas, DA, PH, y PH₂, resultaron no significativo, para los efectos lineal, cuadrático del compost y nitrógeno, así como

para la interacción C.N. Por lo que no se explicó la varia
ción. Sería conveniente probar otros modelos.

6. En la Tabla 11 de densidad aparente, Tabla 12 de valores de penetrómetro, Tabla 14 del contenido de M.O., Tabla 15 del módulo de ruptura, se observa como el efecto residual del compost va disminuyendo, al aumentar ciclo tras ciclo, los valores de la densidad aparente al disminuir los espacios porosos formados por la materia orgánica del compost. En las Tablas de los valores del penetrómetro y del módulo de ruptura se puede observar que los valores de la dureza de la costra van aumentando, al ir disminuyendo el efecto resi
dual del compost.
7. Los resultados obtenidos en las demás variables estudiadas, no resultaron significativas estadísticamente en este ciclo, debido probablemente a que el efecto residual del compost ya no fue suficiente para observar diferencias entre tratamientos. En el caso del rendimiento, aunque no resultó significativa, se observa un crecimiento en cada ciclo, tan
to en frijol como en trigo.

Este incremento se puede deber al efecto residual del com
post, pero también tiene importancia la aportación que hace la leguminosa en este ciclo rotativo fríjol - trigo. Esta fue una variable no estudiada en este ciclo.

En base a los resultados obtenidos y bibliografía consul-
tada se pueden hacer las siguientes sugerencias a los agricul-

tores con suelos y condiciones climáticas semejantes a las de donde se realizó este experimento.

Las aplicaciones de compost si disminuyen la dureza de la costra superficial, que impide la emergencia de la plántula, además el compost modifica las propiedades físicas y químicas del suelo para un mejor desarrollo de los cultivos, presenta un efecto residual de cinco ciclos de cultivo, sus máximos beneficios se observan en el tercero y cuarto ciclo.

Para obtener los beneficios anteriores se recomienda dosis de 30 Ton/Ha o más, un mes antes de la fecha de siembra con el objetivo de evitar que el proceso de mineralización vaya a afectar las semillas que se siembren.

El inconveniente de estas dosis altas es que el costo por transportación es muy elevado, y en muchos de los casos no se cuentan con los recursos para la aplicación. Otra alternativa sería aplicaciones de 15 a 30 Ton/año, en bandas a un lado de las plantas que reduce en gran cantidad las dosis aplicadas al voleo. El Proyecto de Fertilización Estatal de los Principales Cultivos Básicos, de la F.A.U.A.N.L., investiga sobre las mejores dosis a cada cultivo, maquinaria para la aplicación, y podrá dar mayor información al respecto.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1.- Abbott, J.L. y T.C. Tucker, 1973. Persistence of manure phosphorus availability in calcareous soil. Soil Sci. Am. P. 37; 60-62.
- 2.- Acosta, S.R. 1975. Efecto residual de las aplicaciones de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la producción de cosechas. VIII Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Saltillo, Coah. México. pag. 341 - 360.
- 3.- Aguilera, H.N., F. del C. Salinas, S. Lavin. 1974. Humificación de fibras de Agave tequilana, método compostura. Memorias del VII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Guanajuato, Gto. Tomo II. Pag. 388-394.
- 4.- Aguirre, C. J.E. 1979. Manual de prácticas de campo y laboratorio para análisis de suelos. F.A.U.A.N.L. pag. 11, 23, 35, 39, 68.
- 5.- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. Trad. del Inglés por J.J. Peña C. A.G.T. Editores. México, D.F. Pag. 150-156, 243,244, 258-265, 294.
- 6.- Arredondo, C.E. y A. Garza. Estudio de Salinidad del suelo y aguas del campo experimental de la F.A.U.A.N.L. Tesis. F.A.U.A.N.L. Pag.
- 7.- Arreola, S.R. 1984. Efecto residual de mezclas de abonos orgánicos con fertilizantes químicos en un suelo calcimórfico. Tesis U.A. CH. México. Pags. 8-20.
- 8.- Bastidas, V. y S. Lavin. 1975. Modificación nitrogenada

de la fracción húmica de compost de basuras urbanas con fines de fertilidad. Memorias del VIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo. Saltillo, Coah. México. Tomo I. pags. 41-53.

- 9.- Baver, L.D., W.H. Gardner y W.R. Gardner. 1980. Física de suelos. Traducida del inglés por J.M. Rodríguez y R. Edit. U.T.E.H.A. México. pags. 138-140, 165-170, 180-183, 234-236.
- 10.- Buckman, H.O. y N.C. Brady. 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. Traducido por Salord, B. Montaneer y Simon, S.A. Editores. Barcelona, España. pags. 131-151, 429-434.
- 11.- Chaudri, K.J., K.W. Brown y C.B. Holder. 1976. Reduction of crust impedance to simulated seeding emergence by the addition of manure. soil science 122: 216-221.
- 12.- Collins, N.G., B.G. Bavey. 1971. Suelo, atmósfera y fertilizantes. Ed. Aedos. Barcelona, España. Pags. 272-280.
- 13.- Cota, G.E. y S. Lavin. 1975. Mineralogía de compuestos húmicos por acción microbiológica en la humificación de residuos sólidos. VIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Saltillo, Coah. México, TOMO I. pags. 42 - 60.
- 14.- Cooke, G.V. 1983. Fertilización para rendimientos máximos. Traducido del inglés por Antonio Marino A. Ed. Continental. México. Pags. 58,59.
- 15.- Donahue, L.R., R.W., Miller. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas, Prentice/ Hall Internacional, Pags. 112-120.

- 16.- Dudal, R., D.L. Brando. 1967. Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales F.A.P. Italia. pag. 91-93.
- 17.- Eearl, S.R. 1970. Manual de evaluación de suelos. Trad. del inglés por A. Blackaller V. Centro Regional de Ayuda Técnica. México, D.F. Pags. 25,26.
- 18.- Elizondo, S., D. Rubio, R. Alonso 1974. Evaluación de residuos estabilizados (Compost), obtenidos de la planta de basura de Monterrey, N.L. desde el punto de vista de su utilización agrícola. VII Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. México, Tomo 2 Pags. 210 - 212.
- 19.- Escobedo, L.J. 1986. Efecto residual del estiércol caprino, después de dos ciclos de cultivo, como mejorador de las características físicas y químicas del suelo, en el cultivo del frijol. Tesis F.A.U.A.N.L. pags. 30-36.
- 20.- Evans D.D. y S.W. Buol. 1968. Micromorphological study of soil crusts. So. Sci. Amer. Proc. Vol. 32 pag. 19-22.
- 21.- Figueroa, L.R. y R. García. 1982. El encostramiento superficial de los suelos. Publicación especial N° 21 Universidad Nacional de Tucuman, Fac. Agronomía y Zootecnia. República Argentina. p.p. 6-22.
- 22.- From Z., R.A. 1974. Efecto de la Aplicación de cinco niveles de compost sobre las características agronómicas de la soya (Glycinemax) bajo condiciones de invernadero. Tesis. I.T.E.S.M..

- 23.- Galnarez F.I. 1987. El agua del suelo. Seminario (Opción III). F.A.U.A.N.L. pags. 18-20
- 24.- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. U.N.A.M., México, D.F. pag. 151.
- 25.- García, G.A.D. 1979. Descripción de un perfil del suelo y sus características físico - químicas en el área de irrigación del campo experimental de Marín, N.L. Tesis F.A.U.A.N.L. p.p. 15-18.
- 26.- Gaucher, G. 1971. El suelo, sus características agrónomicas. Ed. Omega. S.A. Barcelona España pags. 91-94, 180, 211, 534-540.
- 27.- Gavande, S.A. 1972. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Centro Regional de Ayuda Técnica. México. pag. 72-74.
- 28.- González, N.J. 1984. Efecto de encostramiento de los suelos en la germinación y emergencia de las plántulas. Seminario de tesis. F.A.U.A.N.L. pag. 50-54.
- 29.- Guevara, L.J.A. 1980. Efectos comparativos entre dos fuentes diferentes de materia orgánica (Compost y estiércol) y determinación del mejor nivel de compost en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), variedad gusto 45, bajo condiciones de Apodaca, N.L. pag. 21, 54 55.
- 30.- Jacob, A. 1973. Fertilización. Traducido por L. López M. de Alva, Ed. Euroamericanas pag. 66-68.
- 31.- Lavin Sagrario, Cota E., Bastidas V., 1974. Procesos bioquímicos en la humificación de residuos sólidos. VII Con

greso nacional de la Ciencia del Suelo. Guanajuato, Gto. Vol. 2. Pag. 376-387.

- 32.- Maití R.K. 1984. Establecimiento de cultivos en el trópico semiárido del noreste de México; Una síntesis práctica. F.A.U.A.N.L. 34, 40-47m 70.
- 33.- Mayorga R.M.J. Efecto del compost y nitrógeno sobre la producción de grano y demás caracteres agronómicos de la variedad de maíz (Zea mays L.), N.L. V.S. 1 enano, Apodaca, N.L. Tesis. I.T.E.S.M.
- 34.- Mendoza, T.N. 1986. Efecto residual del abonado con compost, en algunas propiedades físicas y químicas del suelo, y su influencia en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.), bajo riego en Marín, N.L. Tesis F.A.U.A.N.L.
- 35.- Millar, C.E., L.M. Tuck y H.D. Forth. 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. del inglés por Ramón Fernández Gzz. C.E.C.S.A. México, D.F. Pag. 97-104, 155-157, 230-240.
- 36.- Morales D. 1958. Elaboración de compost o estiércol artificial. Boletín "Agronomía" I.T.E.S.M.
- 37.- Nieto G.L.A. 1986. Efecto residual del abonado con estiércol de ganado vacuno en algunas propiedades físicas y químicas del suelo y su influencia en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.), bajo riego en el municipio de Marín, N.L. Tesis F.A.U.A.N.L. Pag. 16-77, 60-66.
- 38.- Nuñez, R.J. 1986. Problemas del encostramiento del suelo en relación con la producción de algunos cultivos bá

- sicos en Galeana, N.L. Tesis F.A.U.A.N.L. Pag. 27-34.
- 39.- Ortiz, V.B. y C.A. Ortiz. 1980. Edafología Universidad Autónoma de Chapingo, México. Pag. 67-70, 140-147, 149, 150.
- 40.- Robinson R.G. 1983. Yield and composition of field bean and Adzuki bean in response to irrigation, compost, and Nitrogen. *Agronomy Journal* 75:31-34.
- 41.- Ruiz, F.J.F. 1985. Evaluación del efecto en la formación de costras superficiales de tres sistemas de labranzas, un sistema de riego por aspersión y el bagazo de la caña de azúcar en un suelo ferruginoso de costa de Marfil. 1a. Reunión Nacional sobre el Manejo de Suelos arcillosos. Celaya. Guanajuato. pag. 3-10.
- 42.- Salas, A.S. 1986. Evaluación del efecto residual del abonado con compost, en algunas características físicas y químicas del suelo y su influencia en el cultivo del trigo (Triticum aestivum L.), bajo riego en Marín, N. L. Tesis F.A.U.A.N.L.
- 43.- Salcedo, Q., F. A. 1986. Efecto residual del abonado con una interacción de estiércoles de cabra-vaca-gallina, después de dos años de incorporada al suelo en algunas propiedades físicas y químicas del suelo y su influencia en el cultivo del trigo, bajo riego en Marín, N.L. Tesis F.A.U.A.N.L. Pag. 42-44.
- 44.- Santos, G. R. 1986. Evaluación de compost en una ración finalizadora para pollos de engorda. Tesis I.T.E.S.M. pags. 18-20.
- 45.- Saucedo, R. L.C. 1986. Comparación de dos pigmentadores y

evaluación de raciones con 4% de compost de basura en pollo de engorda. Tesis I.T.E.S.M. pag. 23-27.

- 46.- Selke, W. 1968. Los abonos. Ed. Academia León, España. Pag. 25-28.
- 47.- Tamhane R.V., D.P. Montiramani, y Y. P. Bali. 1978. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Trad. del inglés por A. Romeo del V. Ed. Diana, México D.F. Pag. 57-66, 168-180, 243-257.
- 48.- Teuscher H. y R. Adler. 1965. El suelo y su fertilidad. Trad. del inglés por Rodolfo Vera y Zapata. Compañía Editorial Continental, S.A. México, D.F. Pags. 238, 239, 244, 245, 333-340.
- 49.- Thompson L.M. 1965. El suelo y su fertilidad. Trad. del Inglés por R. Clará Comprubi. 3a. Edición. Ed. Reverté, S.A. México, D.F. Pag. 75-85.
- 50.- Tisdale S.L. y W.L. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. U.T.E.H.A. México, D.F. Pags. 138-158.
- 51.- Treviño, O.J.A. 1980. Prueba de diferentes niveles de compost en el cultivo de trigo en la Hacienda "San Isidro" municipio de los Ramones, N.L. México. Tesis. F.A.U.A.N.L.
- 52.- Villarreal, A., J.M. 1979. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, zinc, manganeso y hierro en suelos de Sd. Serdan, Puebla, Bajo condiciones de campo y de invernadero. Tesis de Maestría Colegio de Postgrado, Chapingo, México. Pag. 176-184.

- 53.- Ville, A.C. 1974. Biología. Traducido al Español por Vicente Agust Armer. Ed. Interamericana México, D.F. Pag. 103-105.
- 54.- Wallingford, G.W., L.S. Murphy, W.L. Powers. 1975. Effects of beef - feedlot manure and la goon water on iron, zinc, manganese and cooper content in corn an DIPA soil extracts. So. Sci. Amp. 39:482-486.
- 55.- Wills C.F. 1982. Influencia de aplicaciones de estiércol, cobertura de paja y tres sistemas de labranza sobre el rendimiento de maíz de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgrado. Chapingo, México. Pag. 20-22.

A P E N D I C E

Tabla 1. Observaciones climáticas; Temperatura (T°C) precipitación pluvial (ppmm) y humedad relativa (%), registrada durante el ciclo del cultivo.

Días	Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre		
	T \bar{X} °C	ppmm	H.R.%	T \bar{X} °C	ppmm	H.R.%	T \bar{X} °C	ppmm	H.R.%	T \bar{X} °C	ppmm	H.R.%
1	31.7		62	29		61	19	1.0	69	28.3	.2	78
2	31.5		64	29.3		55	20		65	19		68
3	29.5		63	29.5		62	22.3		69	15.5		67.5
4	30		65	30.8		67	25.7		59	16		63
5	31.5		61	32		64	24		46	15		63.5
6	30		61	32		64	20		60	19.3		62
7	29.5		65	31.3		65	22.7		73	19.3		70.5
8	28.5		63	31.3		62	27.7		80	22.5		74.5
9	32.2		68	29.3		66	29.5		74	25.7		67.5
10	28.2		67	29.7		65	27.7		70	23.7		70.5
11	28.5		65.5	30.7		69	28.5		71	25.5		79.5
12	31.2		78	30		65	28.3		68	27		80
13	30	2.5	71	29.7	75.5	73	29.5		71	24.2		76
14	26.5		65.5	25	20.9	81	29.5		94	25.2		76
15	30.5		81	21.3	.3	91	24.2	12.8	90	24		83
16	31.2		64.5	21.5		75	23	.7	84	16.5		86.5
17	31	11.4	64.5	28.5		73	25.3		81	19.5		86.5
18	30.7		63	30.7		70	26.5		78	24		79.5
19	32		59.5	28.7		72	26.7	73.2	88	25.8		87.5
20	31		61	28	17.2	71	21		92	12	4.8	92
21	31.2		63.5	26.7		68	21.5	25.9	86	12		95.5
22	31.2		71	27.8		67	23.5		80	13	.3	93
23	31		64	28.3		71	22		80	18.2		86.5
24	30.7		63	27.5	2.3	72	24		75	22.3		86
25	30.2		62.5	29.3		65	25		73	22.7		83
26	30		59.5	26.8		62	22.7		66	24		80
27	30		59.	26.3		68	22.3		74	23.5		76
28	28.2	7.6	80.5	28.2		69	22		64	19		79.5
29	25.5	6.6	82.5	33.2		68	24		52	21.5		84.5
30	26.7		70	29.5	2.7	78	24.3		49	21.5		77
31	29.5		68		7		17.7		66			

Cálculo de la dosis óptima fisiológica.

El modelo de predicción usado para determinar la dosis óptima fisiológica fue el siguiente:

$$Y = B_0 + B_1C + B_2N + B_3C^2 + B_4N^2 + B_5CN$$

Donde:

B_0 = Término constante

B_1 = Efecto lineal del compost

B_2 = Efecto lineal del nitrógeno

B_3 = Efecto cuadrático del compost

B_4 = Efecto cuadrático del nitrógeno

B_5 = Efecto de la interacción de nitrógeno y compost

Después de haber obtenido los valores de las betas (Ver Tabla 3 del Apéndice) podemos obtener la DoF derivando nuestra ecuación de predicción con respecto al estiércol y el nitrógeno e igualando a cero.

$$Y = 1.28 - 7.1533 \times 10^{-4} C + 8.637 \times 10^{-4} N + 6.9 \times 10^{-6} C^2 - 3.14 \times 10^{-6} N^2 - 5.176 \times 10^{-6} CN$$

$$\frac{dY}{dC} = -7.1533 \times 10^{-4} + 2(6.9 \times 10^{-6} C) - 5.176 \times 10^{-6} N$$

$$\frac{dY}{dN} = 8.637 \times 10^{-4} - 2(3.14 \times 10^{-6} N) - 5.176 \times 10^{-6} C$$

$$-7.1533 \times 10^{-4} + 2(6.9 \times 10^{-6} C) - 5.176 \times 10^{-6} N = 0$$

$$8.637 \times 10^{-4} - 2(3.14 \times 10^{-6} N) - 5.176 \times 10^{-6} C = 0$$

$$1 \quad 13.8 \times 10^{-6} C - 5.176 \times 10^{-6} N = 7.1533 \times 10^{-4}$$

$$2 \quad -5.176 \times 10^{-6} C - 6.28 \times 10^{-6} N + 8.637 \times 10^{-4} = 0$$

De la primera ecuación despejamos la variable nitrógeno, obteniendo:

$$3 \quad N = \frac{7.153 \times 10^4 - 13.8 \times 10^6 C}{-5.176 \times 10^{-6}}$$

En la ecuación 2 sustituimos los valores

$$-5.176 \times 10^{-6} C - 6.28 \times 10^{-6} (7.153 \times 10^4 - 13.8 \times 10^6 C) = 8.637 \times 10^4$$

Realizando las operaciones indicadas y despejando la variable compost obtenemos la dosis fisiológica del compost.

$$C = 79.0685$$

Sustituyendo el valor del compost en la Ecuación 3 obtenemos la D o F de nitrógeno.

$$N = 72.61308$$

Tabla 3. Listado de los modelos codificados de las variables significativas en el 5º ciclo.

	DA ₁	PH ₁	PH ₂
B ₀	1.280016	7.884487	8.091796
B ₁	- 0.0007153	- 0.00137266	0.00021128
B ₂	0.0008637	_____	- 0.0005506
B ₃	0.0000069	0.000014238	- 0.0000035
B ₄	- 0.00000314	- 0.00000067	0.00000249
B ₅	- 0.000005176	- 0.00000719	0.00000658

Tabla 4. Dosis óptimas fisiológicas obtenidas para las variables que resultaron significativas.

	Compost Ton/Ha.	Nitrógeno Kg/Ha.	
D A ₁ ^o	79.0685	72.61308	
P H ₁	135.502	- 345.0537	0
P H ₂	12.90	- 18.30	0

