

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



"EFECTO RESIDUAL DEL ESTIERCOL DE CABRA EN ALGUNAS
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS Y SU INFLUENCIA EN EL
RENDIMIENTO DEL TRIGO (*Triticum aestivum*) AL SEXTO CICLO
DE EVALUACION EN MARIN, N. L."

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA

JESUS GONZALEZ GONZALEZ

MARIN, N. L.

MARZO DE 1988

T
SB191
.W5
G6
c.1



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



"EFECTO RESIDUAL DEL ESTIERCOL DE CABRA EN ALGUNAS
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS Y SU INFLUENCIA EN EL
RENDIMIENTO DEL TRIGO (*Triticum aestivum*) AL SEXTO CICLO
DE EVALUACION EN MARIN, N. L."

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA

JESUS GONZALEZ GONZALEZ

MARIN, N. L.

MARZO DE 1988

8800 *gm*

B
W5
C6

040.631
FA 2
1988
C.5



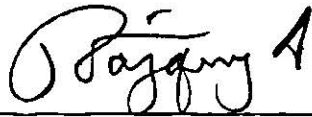
Tesis

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

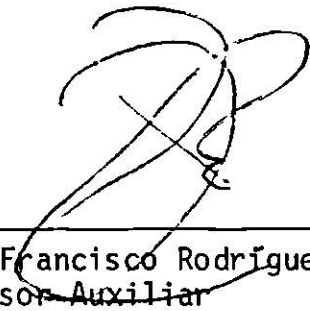
"Efecto residual del estiércol de cabra en algunas propiedades físicas y químicas y su influencia en el rendimiento del trigo (Triticum aestivum) al sexto ciclo de evaluación en Marín, N.L."

Tesis que presenta JESUS GONZALEZ GONZALEZ como requisito parcial para obtener el título de INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA.

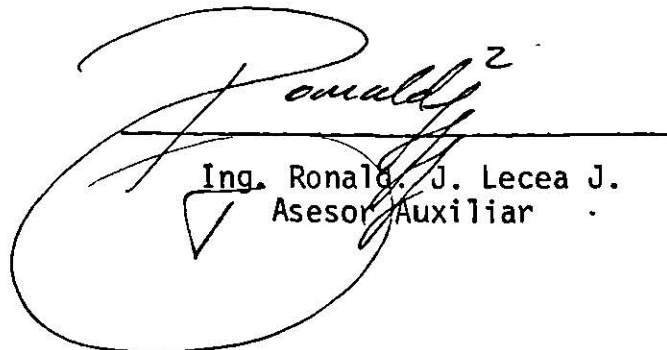
COMISION REVISORA:



Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Asesor Principal



Ing. M.C. Francisco Rodríguez E.
Asesor Auxiliar



Ing. Ronald J. Lecea J.
Asesor Auxiliar

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Jesús González Romero

Ana María González de González

Por el amor, cariño y comprensión que siempre me han
brindado.

A MIS HERMANOS:

Arturo

Alberto

Leticia

A MI SOBRINO:

Hugo Enrique

A MIS FAMILIARES:

Por el apoyo y estí
mulo que siempre me
han brindado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que siempre estuvo conmigo en todo momento.

Al Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado, asesor principal, por su valiosa colaboración en el desarrollo del presente estudio.

Al Ing. M.C. Francisco Rodríguez Esquivel, y al Ing. Ronald J. Lecea Juárez, miembros del Comité Consejero, por su ayuda en el desarrollo y revisión del presente estudio.

Al compañero Antonio Durón Alonso, por su ayuda en la realización de los análisis estadísticos del presente estudio.

A la Sra. Yolanda Díaz, por su ayuda en la mecanografía del presente estudio.

Al Proyecto de Fertilización Estatal, por su ayuda brindada en las labores de campo para llevar a cabo este estudio.

Al Sr. Rafael Rodríguez Cruz, por la ayuda brindada en el laboratorio de suelos.

A mis compañeros y amigos de la Facultad.

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 Composición del estiércol.	27
2 Trabajos de evaluación de costra y efecto residual del estiércol caprino, llevado a cabo a partir del verano de 1983 en el mismo lote experimental. . .	41
3 Labores culturales llevadas a cabo en el presente experimento.	42
4 Niveles de estiércol (E) y nitrógeno (N) correspondientes a cada tratamiento.	46
5 Resumen de análisis de varianza de las variables estudiadas del experimento de la evaluación del efecto residual de estiércol caprino.	53
6 Resumen de las pruebas de Tuckey de las variables con diferencia significativa entre tratamientos a los 856 días de incorporado el estiércol.	54
7 Listado de los modelos completos de las variables significativas a los 856 días.	56
8 Listado de los modelos codificados de las variables significativas a los 856 días.	56
9 Resumen de los modelos de regresión para ciertas variables.	59
10. Listado de los modelos completos de las variables significativas a los 360 días.	59
11 Resumen de las pruebas de Tuckey y Duncan de las variables con diferencia significativa entre tratamientos a los 360 días de incorporado el estiércol.	60

Tabla	Página
12 Listado de los modelos reducidos de las variables significativas a los 360 días.	62
13 Resumen de comparación múltiple de medias por Tukey para las variables significativas a los 501 días de incorporado el estiércol.	68
14 Listado de los modelos completos de las variables significativas a los 501 días.	69
15 Listado de los modelos codificados de las variables significativas a los 501 días.	70
16 Dosis óptima fisiológica de estiércol (E) y nitrógeno (N) para los diferentes ciclos estudiados.	76
17 Dosis óptima económica de estiércol (E) y nitrógeno (N) para los diferentes ciclos estudiados.	76

Tablas del Apéndice

1 Resumen de los principales parámetros estadísticos de las variables estudiadas en el presente ciclo.	85
2 Datos climáticos registrados durante el experimento.	86
3 Resumen de las correlaciones llevadas a cabo en las variables estudiadas.	87
4 Procedimiento utilizado para la obtención de la relación inversa de precios para los diferentes ciclos.	89

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Ciclo del Carbono.	22
2 Ciclo del Nitrógeno.	26
3 Aparato para la determinación del modulo de ruptura.	38
4 Penetrómetro tipo Militar.	39
5 Distribución espacial de los tratamientos empleados de acuerdo al arreglo de un cuadrado doble. . .	44
6 Croquis del experimento y forma en que fueron aleatorizados los tratamientos en el campo.	45
7 Respuesta al rendimiento cuando el Nitrógeno (N) y el Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles con modelo codificado a los 856 días.	55
8 Respuesta al modulo de ruptura de 0-15 cm, cuando el Nitrógeno (N) y el Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles a los 360 días.	63
9 Respuesta del peso de grano por parcela útil, cuando el Nitrógeno (N) y el Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles a los 360 días.	64
10 Respuesta del peso de grano por planta, cuando el Nitrógeno (N) y el Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles a los 360 días.	66
11 Respuesta del peso de la materia seca por planta, cuando el Nitrógeno (N) y el Estiércol (E) se presentaron a diferentes niveles a los 360 días.	67
12 Respuesta a la altura de plantas cuando el Nitrógeno (N) y el Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles con el modelo codificado a los 501 días. . .	71

13	Respuesta al rendimiento gramos por metro cuadrado cuando el Nitrógeno (N) y el Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles con el modelo codificado a los 501 días.	72
----	--	----

SIMBOLOGIA UTILIZADA

- X01 Número de plantas por metro cuadrado
- X02 Lectura de penetrómetro
- X03 Número de espigas
- X04 Primera lectura de altura
- X05 Segunda lectura de altura
- X06 Tercera lectura de altura
- X07 Materia orgánica a 0-15 cm
- X08 Materia orgánica a 15-30 cm
- X09 pH a 0-15 cm
- X10 pH a 15-30 cm
- X11 Conductividad eléctrica a 0-15 cm
- X12 Conductividad eléctrica a 15-30 cm
- X13 Densidad aparente a 0-15 cm
- X14 Densidad aparente a 15-30 cm
- X15 Rendimiento en kg/ha
- X16 Rendimiento por metro cuadrado
- X17 Peso de paja
- X18 Modulo de Ruptura a 0-15 cm
- X19 Modulo de Ruptura a 15-30 cm
- X20 Humedad a 0-15 cm
- X21 Humedad a 15-30 cm
- PPM Peso paja por metro cuadrado
- DD Densidad aparente
- H° Humedad

M.O. Materia orgánica

C.E. Conductividad eléctrica

E Estiércol

N Nitrógeno

RESUMEN

Se estudió el efecto residual del estiércol caprino, a los 856 días después de ser incorporado como mejorador de las características físicas y químicas del suelo. El experimento fue establecido en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León en Marín, N.L. Este experimento es el sexto y último ciclo de la serie de experimentos que empezaron el verano de 1983. Los objetivos de este experimento son: a) Determinar si existe efecto residual de la aplicación de estiércol caprino realizada el verano de 1983, observándose la evolución de las características físicas y químicas del suelo; b) Observar y registrar el efecto que producirían estos cambios en el cultivo del trigo; c) Determinar qué dosis tienen mejor efecto residual en el suelo, que se reflejen en una mayor producción del cultivo.

La siembra del trigo fue realizada el 9 de diciembre de 1985, llevándose a cabo la cosecha el 2 de mayo de 1986. Las variables estudiadas fueron: materia orgánica, conductividad eléctrica, densidad aparente, pH, módulo de ruptura, humedad, éstas fueron determinadas a dos profundidades 0-15 cm (suelo) y 15-30 (subsuelo), dureza de costra, número de espiga, número de plantas, altura de la planta, rendimiento de grano por metro cuadrado, peso de paja por metro cuadrado.

En el análisis de varianza resultaron dos variables significativas que fueron: rendimiento en ton/ha y humedad de 15-30 (subsuelo). Se hizo también análisis de los ciclos anteriores para poder determinar hasta que tiempo después de la incorporación del estiércol existe el efecto residual. A los 360 días, el efecto residual se manifestó en el módulo de ruptura de

0-15 cm, peso de grano de la parcela útil en ton/ha, peso de grano por planta en gramos, peso de la materia seca por planta en gramos y lectura del penetrómetro. A los 501 días se manifestó en rendimiento en ton/ha, rendimiento en gramos/m², número de espigas y lectura de altura.

Los mejores resultados fueron obtenidos por los tratamientos donde las dosis de estiércol fueron altas como 50, 75 y 100 ton/ha de estiércol.

Se determinó la dosis óptima económica para los diferentes ciclos, donde resultó que: a los 360 días fue de 48.36 kg/ha de nitrógeno y de estiércol -63.23 ton/ha que se iguala a cero, el valor negativo es debido al modelo matemático utilizado; para los 501 días fue de 15.57 kg/ha de nitrógeno y 82.09 ton/ha de estiércol para el rendimiento por metro cuadrado; y para los 856 días fue de 28.28 kg/ha de nitrógeno y 39.09 ton/ha de estiércol que es para rendimiento ton/ha.

SUMMARY

A study was carried out about residual effects of caprine manure. The caprine manure was incorporated 856 day before as a improver of the physical and chemical characteristics of the soil. The experiment was stablished in the Experimental Station of the Agronomy Faculty of the University of Nuevo Leon (UANL) in Marin, Nuevo León. This experiment is the sixth and last cycle of a series of experiments, which began in summer of 1983.

The objectives of this experiment are: a) determine if there exists residual effect of the application of caprine manure, which was realized in summer 1983. Observe the evolution of the soil physical and chemical characteristics. b) Observe and register the changes in the growth of wheat. c) Determine what level has the best residual effect in the soil, that will be reflected in a major production of wheat.

The sowing of wheat was realized the 9th of december of 1985 harvesting the crops the 2nd of may of 1986. The studied variables were: organic matter, electrical conductivity, a bulck density module of rapture, pH, humidity, these were determined at 2 depths which were 0-15 cm depth and 15-30 cm depth, hardness of crust, number of spikets, number of plants, heicht of plant, yield of grain per square meter, and a weight of straw per square meter.

The yield in ton/ha and soil humidity at 15-30 cm depth were significant al 0.05. A statistical analysis of the cycles before was made. The objective was determine until what time, after the incorporation the residual effect exist.

In 360 days the residual effect came up in the module of rupture of 0-15 cm, weight of grain in ton/ha, weight of grain per plant, weight of the organic matter per plant, and lecture of the penetrometer. At 501 days the residual effect of manure came up in changes in yield in grams per squared meters, number of spiklet and height lecture.

The best results were obtained by the treatments were the manure dosis were high like 50, 70 and 100 ton/ha. The optimum economic dosis was determined for the different cycles. At 360 days the best treatment was 48.36 kg/ha of nitrogen and -63.23 to /ha of manure (that equals zero). The negative value is because of the matematic equation used, for the 501 days the optimum economic was 15.57 kg/ha of nitrogen and 82.09 ton/ha in which we had a change in yield per squared meter; and after 856 days the optimum economic of 28.28 kg/ha of nitrogen and 39.09 ton/ha of manure that's for graine yield ton/ha.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.	ii
AGRADECIMIENTOS.	iii
LISTA DE TABLAS.	iv
LISTA DE FIGURAS.	vi
SIMBOLOGIA UTILIZADA EN EL TEXTO.	viii
RESUMEN.	x
SUMMARY.	xii
I. INTRODUCCION.	1
II. REVISION DE LITERATURA.	3
2.1. Generalidades del cultivo de trigo.	3
2.1.1. Origen geográfico.	3
2.1.2. Clasificación taxonómica.	4
2.1.3. Clasificación botánica.	4
2.1.4. Requerimientos ecológicos y edáficos.	5
2.1.5. Habito de crecimiento y fecundación.. . . .	6
2.2. Suelo.	6
2.2.1. Componentes del suelo.	6
2.2.2. Propiedades físicas.	7
2.2.2.1. Textura.	7
2.2.2.2. Estructura.	8
2.2.2.3. Consistencia.	9
2.2.2.4. Color.	10
2.2.2.5. Densidad aparente y densidad real.	11

2.2.2.6. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.	11
2.2.2.7. Humedad del suelo.	12
2.2.3. Propiedades químicas.	12
2.2.3.1. pH.	12
2.2.3.2. C.I.C..	13
2.2.3.3. Materia orgánica.	14
2.3. Materia Orgánica.	14
2.3.1. Importancia de la materia orgánica.	14
2.3.2. Características generales.	15
2.3.3. Funciones.	16
2.3.4. Efectos desfavorables de la materia orgánica.	18
2.3.5. Composición.	18
2.3.6. Clasificación de los microorganismos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica.	19
2.3.7. Ciclo del carbono.	20
2.3.8. Descomposición de la materia orgánica.	21
2.3.8.1. Humus.	23
2.3.8.1.1. Proceso de la humificación.	24
2.3.8.2. Mineralización.	24
2.3.8.2.1. Ciclo del nitrógeno.	25
2.3.9. El estiércol como aportador de la materia orgánica.	25

	Página
2.3.9.1. El cuidado y conservación del abono de estiércol.	25
2.3.9.2. Composición del abono de estiércol.	27
2.3.9.3. Efecto residual del estiércol.	29
2.3.9.4. Efecto de la aplicación de estiércol en el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo.	30
2.3.9.4.1. Efecto sobre la infiltración y captación de humedad en el suelo.	30
2.3.9.4.2. Efecto sobre la estructura del suelo.	30
2.3.9.4.3. Efecto sobre el pH.	31
2.4. Proceso de Encostramiento.	31
2.4.1. Formación de costras.	32
2.4.2. Problemas causados por el encostramiento.	32
2.4.3. Método del Penetrómetro para medir la dureza de la costra.	33
2.4.4. Control de costras.	34
III. MATERIALES Y METODOS.	35
3.1. Localización del Experimento.	35
3.2. Clima y Suelo.	35
3.3. Materiales.	35

	Página
3.4. Procedimientos Experimentales	40
3.4.1. Establecimiento del experimento.	40
3.4.2. Diseño Experimental.	42
3.5. Procedimiento de Recolección de Datos	46
3.5.1. Variables con respecto a la planta.	46
3.5.2. Variables con respecto al suelo	47
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.	51
V. CONCLUSIONES.	77
VII. APENDICE.	84

I. INTRODUCCION

En la actualidad se vive una época de crisis en México y en otras partes del mundo, debido al progresivo aumento de la población, por lo que la producción agrícola no es suficiente para cubrir las necesidades de alimento, por tal motivo es necesario encontrar soluciones para resolver el problema de la alimentación. Las alternativas para incrementar la producción de alimentos pueden ser de dos tipos: la primera consiste en ampliar las áreas de cultivo, ésta no sería la más adecuada, ya que solo se podría en pequeñas proporciones; y la segunda, es incrementar el rendimiento por unidad de superficie cultivada, la cual es la más factible.

Como el suelo es el medio en el cual crecen los cultivos, es necesario que tenga las condiciones físico-químicas para un buen desarrollo, así como los nutrientes requeridos por la planta.

La fertilización es una forma mediante la cual se provee los nutrientes esenciales para los cultivos, la fertilización puede ser inorgánica y orgánica. El uso de abonos minerales es muy importante en la producción pero el abuso de éstos a largo plazo es perjudicial, ya que dañarían al suelo. Por tal motivo, es necesaria la utilización de abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos proporcionan al suelo materia orgánica, la cual mejora las condiciones físicas y químicas del suelo, tales como: reducir la densidad aparente, mejorar la estructura, aumentar la captación y retención de humedad, regular el pH, favorecer la disponibilidad de nutrientes, etc. La fertilización orgánica puede ser por la incorporación de abonos verdes, compost, aguas negras y estiércoles.

En el Noreste de México, debido a las características de suelos como calcareos y arcillosos, ocasionan pobreza en el contenido de materia orgánica y baja disponibilidad de nutrientes, así como también el problema de formación de costras compactas, lo que ocasiona la dificultad de emergencia de las plántulas, disminuyendo también la infiltración del agua, etc.

Las aplicaciones de estiércol al suelo disminuye la dureza de la costra, se mejora el contenido de nutrientes, haciendolos más disponibles para la planta, mejorando también la captación y retención de humedad.

Como el estiércol tiene un efecto residual que perdura por varios años. Por tal motivo, se realizó el presente estudio, cuyos objetivos son:

1. Determinar si existe efecto residual de la aplicación de estiércol de cabra realizada el verano de 1983, observando la evaluación de 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. Determinar las dosis aplicadas que han tenido un mayor efecto residual en el suelo, que se reflejen en una mayor producción del cultivo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades del Cultivo de Trigo

2.1.1. Importancia y origen geográfico

El cultivo del trigo se encuentra ampliamente extendido en muchas partes del mundo, quizás por ser una especie que tiene un amplio rango de adaptación y por su gran consumo en muchos países, de tal manera que en la actualidad ocupa el primer lugar entre los cuatro cereales de mayor producción mundial (trigo, arroz, maíz y cebada).

Los países con mayores producciones de trigo son: la Unión Soviética, China, Estados Unidos, Canadá, India, Francia, Italia, Australia y Argentina. Los países que más exportan son: Estados Unidos, Canadá, Australia, Unión Soviética y Argentina.

La importancia que tiene el trigo en México y de acuerdo con el área y producción, ocupa el cuarto lugar. Con respecto al valor de la cosecha, en la producción nacional, ocupa el tercer lugar dentro de los primeros 15 cultivos importantes en la economía del país (33).

El trigo es una planta originaria en el antiguo continente, probablemente de la región comprendida entre Palestina, La India y el Turquestán, se sabe que fué cultivada en China 3000 años antes de nuestra era (34).

Percivae y colaboradores suponen que los trigos de panificación resultaron de la hibridación del trigo Emmer con una especie del género *Degilops*, especie que se encuentra silvestre en el oeste de Asia y Sureste de Europa. Estudios más recientes hechos por Mangelsdorf, sugieren que el trigo tuvo su origen en la región que abarca el Cáucaso-Turquía-Iraq (33).

2.1.2. Clasificación Taxonómica

Clase	Monocotyledoneas
Orden	Glumifloras
Familia	Graminaceas
Subfamilia	Festucoideas
Tribu	Ordeas
Subtribu	Triticeae (hordeae)
Género	<u>Triticum</u>
especie	<u>aestivum</u>

(Fuente: Garza, M.)

2.1.3. Clasificación Botánica

Raíz. La función principal de la raíz, es sostener a la planta, proporcionándole agua y nutrientes para su desarrollo. Tiene dos clases de raíces: la primera se produce al emitir la plúmula, recibe el nombre de raíces temporales, la segunda o raíces permanentes, nacen de los nudos más cercanos de la superficie del suelo.

Tallo. Los tallos crecen de acuerdo a la variedad, normalmente de .6 a 1.2 m. Los tallos enanos miden alrededor de .25 a .3 m de altura, mientras que los semi-enanos tienen de .5 a .7 m. A medida que los tallos se van desarrollando, la distancia que hay entre nudos se van haciendo más grandes y los nudos inferiores emiten brotes, originando el amacollamiento.

Hojas. Las hojas nacen de cada nudo, éstas se componen de vaina y limbo, las hojas son alternadas de .15 a .12 m de largo por .2 a .01 m de ancho.

Espiga. El raquis es el que sostiene a las espiguillas que forman la espiga, éstas contienen de dos a cinco flores, formando posteriormente el grano, quedando insertado en la lema y la palea.

Fruto. Después de la polinización el grano empieza a desarrollarse, llegando a su madurez fisiológica a los 35 o 45 días. El fruto es una cariósida de forma ovoide, con una ranura en la parte central (33).

2.1.4. Requerimientos Ecológicos y Edáficos

El trigo se produce en regiones templadas y frías, situadas desde unos 15 a 60° de Latitud Norte y 27 a 40° Latitud Sur.

En México, se siembra trigo en casi todos los estados de la República, y se adapta tanto a tierras pobres en nutrientes como a tierras ricas zonas húmedas, semihúmedas y secas.

Las condiciones de temperatura varían considerablemente, pero las mejores para una buena producción de trigo oscilan entre 10 y 25°C.

La influencia del fotoperíodo en el trigo se manifiesta en que a mayor duración del día se acelera la floración, razón por la cual se dice que las plantas que se comportan de esta manera como el trigo, se les llama plantas de fotoperíodo largo o plantas de noches cortas. En general, la reducción de la longitud del día atrasa la floración de las plantas de invierno.

Suelo. La baja fertilidad del suelo, es el principal factor limitante en la producción de cultivos en todo el mundo. Las variedades mejoradas de trigo con alto potencial de rendimiento, significan poco, a menos que se cultiven en suelos fertilizados adecuadamente (33).

2.1.5. Hábito de Crecimiento y Fecundación

En su hábito de crecimiento los trigos pueden ser de tipo primavera o tipo invernal. Los trigos invernales requieren de un período de vernalización en estado de plántula con temperaturas mínimas de 2 a 3°C para poder llegar a espigar. Los trigos de hábito de primavera, no requieren de un período intenso de vernalización para inducir su floración (10).

El trigo es una planta de autopolinización. La floración se inicia unos cuantos días después de haber aparecido la espiga. Las flores del tallo principal aparecen primero y más tarde las de los hijuelos, en el orden en que se formaron. La floración se inicia en el extremo superior de la espiga y continua en ambas direcciones. La floración continua durante el día, requiriéndose de dos a tres días para la completa floración de una espiga. Las glumas suelen abrirse durante el proceso de la floración. Las anteras asoman entre las glumas y parte del polen es esparcido fuera de las flores mismas. La penetración de polen extraño mientras la flor está abierta, puede determinar que haya una pequeña proporción de polinización cruzada es menor del 1%. Si las condiciones son favorables para la abertura de las glumas, las anteras pueden derramar su polen sin asomar exteriormente (31).

2.2. Suelo

2.2.1. Los Componentes del Suelo

Concepto de suelo. El término suelo se deriva del latín *solum* que significa piso o terreno. En general, el suelo se refiere a la superficie suelta de la tierra para distinguirlo de la roca sólida.

Para el agricultor naturalmente tiene una concepción más práctica

del suelo, para él es el medio en donde se desarrollan los cultivos.

La definición de un suelo más aceptable a la fecha considera las dos acepciones siguientes:

1. El suelo es un material mineral no consolidado sobre la superficie inmediata de la corteza terrestre que sirve como un medio natural para el desarrollo de las plantas terrestres.
2. El suelo es el material mineral no consolidado sobre la superficie de la tierra que ha estado sujeto a/e influencias por factores genéticos y del medio ambiente como son: el material madre, el clima (incluyendo efectos de humedad y temperatura), los macro y microorganismos y la topografía (29).

Los Componentes del Suelo. El suelo puede ser definido también como una mezcla de material mineral, material orgánico, agua y aire. El volumen ocupado por cada uno de éstos en un suelo superficial de textura franca, que es la condición ideal para el crecimiento de las plantas, sería aproximadamente como sigue: materia mineral 45%, materia orgánica 5%, agua 25% y aire 25%. Es importante notar que aproximadamente la mitad del volumen es espacio poroso.

Las proporciones de los componentes varían con el tiempo y de un lugar a otro.

El volumen de agua y de aire guardan una relación inversamente proporcional entre sí. La entrada de agua en el suelo elimina el aire (26).

2.2.2. Propiedades Físicas

2.2.2.1. Textura

La textura se define como el conjunto de propiedades que resultan del

tamaño de sus componentes y se expresa mediante su granulometría (19).

Se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla en el suelo. Específicamente la clasificación de texturas se basa en la cantidad de partículas menores de 2 mm de tamaño.

La textura del suelo es una característica en extremo importante, afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas. En términos generales, los suelos se dividen en suelos de textura gruesa y textura fina.

Los suelos de textura fina predomina la arcilla y tienen una mayor superficie activa que los suelos arenos tienen una mayor capacidad de absorción de nutrientes, usualmente son más fértiles.

Los suelos arenosos son más porosos y permiten una más rápida infiltración del agua; sin embargo, los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor área superficial, tienen un mayor espacio poroso total que los suelos arenosos (29).

2.2.2.2. Estructura

Se refiere a la forma en la cual se hallan asociados los componentes de un suelo (19).

La estructura se refiere a la agregación de partículas primarias de suelo (arena, limo y arcilla) en partículas compuestas o grumos de partículas primarias, las cuales están separadas de los agregados adyacentes por superficies de ruptura.

La estructura de los diferentes horizontes del perfil de un suelo es una característica esencial del suelo, tal como lo son el color, la textura o la composición química.

La estructura modifica la influencia de la textura en relación con las relaciones de humedad y aire, disponibilidad de nutrientes para la planta, acción de microorganismos y desarrollo de la raíz (26).

Al considerar la estructura del suelo, debe entenderse por partículas no sólo las que forman los separados mecanismos como arena, limo y arcilla, sino también los agregados o elementos estructurales que se han formado por agregación de fracciones mecánicas más pequeñas. La estructura del suelo implica un arreglo u ordenación de estas partículas primarias y secundarias en ciertos modelos o patrones estructurales (5).

El crecimiento de las plantas afecta la estructura del suelo, en parte por sus restos, entre ellos la materia orgánica que arrojan las raíces de crecimiento y en parte como resultado directo de la acción de la raíz.

La población microbiana del suelo toma también parte en la formación de la estructura.

Cuando el agregado se debe principalmente al humus, la estructura es suelta y esponjosa. Cuando la arcilla es el agente aglutinante, la estructura es menos esponjosa y los agregados tienden a ser semejantes al terrón.

Un aspecto muy importante de la estructura es la estabilidad de los agregados (39).

2.2.2.3. Consistencia

La consistencia del suelo se define como la resistencia de un material a la deformación o ruptura, o bien, al grado de adhesión o adherencia de la masa del suelo (29). A medida que la concentración del suelo en el sistema suelo-agua se hace bastante grande para que la masa no fluya libremente en juego las fuerzas de cohesión y adhesión, se dice entonces que el suelo

tiene una cierta consistencia.

El concepto de consistencia del suelo comprende las manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión que obran dentro del suelo a diferentes constantes de humedad estas manifestaciones son: 1) el comportamiento ante la gravedad, la presión, el empuje y la atracción; 2) la tendencia de la masa del suelo para adherirse a cuerpos extraños; 3) las sensaciones del tacto en los dedos del observador (5).

La consistencia puede describirse bajo tres condiciones de humedad del suelo: mojado, húmedo y seco (29).

2.2.2.4. Color

El color del suelo es una característica importante. No solo sirve para conocer los distintos tipos de terrenos, sino que indica asimismo, ciertas propiedades físicas y químicas.

El color del suelo es debido a dos factores esenciales. El contenido de humus y la naturaleza química de los compuestos de hierro presentes. El hierro es material importante para el color porque aparece como una mancha en la superficie de las partículas minerales.

La superposición del humus con los colores minerales da distintas tonalidades de rojos, amarillos y grises, que son los tonos normales. Se presentan no obstante suelos verde-castaños, amarillo-verdozo, azulados y púrpuras, pero son excepciones, manteniéndose los colores normales entre marrón oscuro a negro, gris, rojo a amarillo y toda su gama de intermedios.

Los colores rojo y amarillo están asociados a climas húmedos y templados. Si se encuentran en zonas frías y secas son indicio de una época anterior distinta, o de un acarreo desde posiciones más templadas y húmedas.

Los colores grises que pueden obtenerse por mezcla y molienda de varios minerales, son características de climas secos (37).

El contenido de materia orgánica, la condición de drenaje y la aereación, son propiedades del suelo relacionadas al color (26).

El color puede ser heredado de la roca madre de donde procede el suelo o es el resultado de cambios importantes en el perfil, tiene relaciones importantes con el clima y contenido de materia orgánica (29).

2.2.2.5. Densidad aparente y densidad real

Densidad real es una función aditiva de las densidades de los constituyentes sólidos del suelo.

La densidad real de un suelo depende principalmente de la proporción de la materia orgánica e inorgánica presente.

Densidad aparente, es el peso por unidad de volumen de un suelo secado en estufa, que comúnmente se expresa como gramos por cm^3 .

La densidad aparente varía según el estado de agregación del suelo y la proporción del volumen aparente ocupado por los espacios intersticiales que existen incluso en los suelos más compactos (23).

Los suelos superficiales de migajón arenoso y arena varían en su densidad aparente de 1.2 a 1.8 g/ml. En los de textura fina (migajones limosos y arcillosos y arcillas), normalmente varía de 1.0 a 1.6 g/ml (29).

2.2.2.6. Capacidad de campo y puntos de marchitez permanente

La capacidad de campo (CC) de un suelo es el contenido hídrico después de que se hayan vuelto muy lento el escurrimiento de agua gravitacional y relativamente estable el contenido hídrico. La situación existe generalmen-

te de uno a tres días después de que el suelo haya sido totalmente mojado por la lluvia o el riego (22).

El punto de marchitez permante (PMP) se conoce como tal al porcentaje o punto del agua del suelo cuando las plantas se marchitan permanentemente.

El término (PMP) es característica del perfil, que incluye no solamente la cantidad de agua en el suelo a varias profundidades, sino también la velocidad con que el agua se moviliza a las raíces de la planta. Considera no solo la superficie del suelo, sino todo el suelo en el que crecen raíces de plantas (17).

2.2.2.7. Humedad del suelo

La fase líquida está constituida por el agua y la solución del suelo. Sin agua no es posible el desarrollo de las plantas. Por otra parte, los fenómenos de desintegración y descomposición química no se manifiesta sino en presencia de agua líquida.

El agua es uno de los componentes más variables en el suelo. Los diferentes suelos tienen distintas capacidades para la retención del agua. Cuando abundante agua está presente en un suelo y no se drena, las raíces de las plantas pueden morir debido a la carencia de oxígeno. Si muy poca agua está presente, el crecimiento de las plantas se detiene y finalmente sobreviene el marchitamiento.

La cantidad de agua presente en el suelo en cualquier tiempo es comúnmente expresada como un porcentaje del suelo secado a la estufa (29).

2.2.3. Propiedades Químicas

2.2.3.1. El pH

La reacción del suelo es la característica química más importante que determina muchas propiedades físicas y químicas del suelo.

La reacción del suelo influye como un medio para el desarrollo de las plantas y de microorganismos deseables.

Disuelto en agua, un ácido disociará y liberará iones de hidrógeno H^+ que tornan ácida la solución. En igual forma cuando un alcali se disuelve en agua, produce iones oxidrilos OH^- , que hacen alcalina la solución.

El método más conocido para expresar la relación entre H^+ y OH^- es el pH (2).

El pH es definido como el logaritmo de la recíproca de la actividad del ion H^+ o simbólicamente (38)

$$pH = \text{Log} \frac{1}{H^+}$$

2.2.3.2. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Una característica importante del suelo, es su capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cual como su nombre lo indica, es una medida de la capacidad de la arcilla y los coloides orgánicos para extraer iones positivos de la solución. La CIC varía con la naturaleza y la cantidad de arcilla y materia orgánica (3).

El intercambio catiónico es una de las propiedades más importantes del suelo y tiene influencia sobre una gran cantidad de sus características. Los cationes cambiables influyen en la estructura, la actividad biológica, el régimen hídrico y gaseoso, la reacción, los procesos genéticos del suelo y en su formación (13).

Las dos propiedades principales de la CIC consisten en su capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases.

La CIC de la fracción del suelo es la capacidad de intercambio de la arcilla y el humus expresada en miliequivalentes por 100 g de suelo.

El porcentaje de saturación de bases indica el grado de saturación del complejo de intercambio con los cationes básicos (14).

2.2.3.3. Materia orgánica

Al estudiar los suelos se ha observado que su capacidad para la producción de cultivos estaba más o menos relacionada en forma directa con la cantidad de materia orgánica (MO) que contenían (26).

La MO del suelo proviene de las raíces, residuos de plantas y organismos vivos o muertos del suelo.

La MO mejora la condición estructural tanto de los suelos arenosos como arcillosos.

Un buen abastecimiento de MO también mejora la capacidad de retención de agua de los suelos arenosos.

Los suelos minerales contienen menos del 20% de MO, mientras que los suelos orgánicos (turbos y Mucks) contienen más del 20% de MO (29).

2.3. Materia Orgánica

2.3.1. Importancia

La importancia de la MO se explica por la influencia que ésta tiene sobre muchas de las características del suelo. Entre las propiedades físicas y químicas del suelo, la MO influye sobre:

- 1). El color, cambiandola a colores pardos oscuros o negruzcos
- 2). La formación de agregados, favoreciendola
- 3). La plasticidad, cohesión, reduciendola
- 4). La capacidad de retención de agua, aumentándola
- 5). La CIC aumentándola mucho
- 6). El intercambio de aniones especialmente fosfatos y sulfatos aumentando la.
- 7). La disponibilidad de N, P y S, favoreciendola a través de los procesos de mineralización
- 8) La regulación de pH a través del aumento de su capacidad tampón
- 9). La producción de sustancias inhibidores y activadores del crecimiento importantes para la vida microbiana del suelo.
- 10) La participación en procesos pedogenéticos, debido a sus propiedades de peptización, coagulación, formación de quelatos y otros (13).

Puede decirse que la MO ejerce una influencia de control sobre las propiedades del suelo, incluyendo la productividad y que sin ella, la capa superficial de la tierra difícilmente podría ser designada con corrección como suelo. El contenido de MO del suelo es uno de nuestros recursos más importantes y también de los más fácilmente agotables (26).

2.3.2. Características Generales

La materia orgánica del suelo proviene de los restos de plantas y animales (hierbas, árboles, bacterias, hongos, protozoarios, lombrices y abonos animales).

Hace siglos se observó que el contenido de materia orgánica estaba más o menos relacionada con la productividad de los cultivos. Es por eso que el

agricultor designa suelos que él considere altamente fértiles, generalmente selecciona los de coloración oscura.

Si este material incorporado al suelo, ya sea en forma mecánica o natural, no sufren el proceso de la descomposición, entonces será de muy poco valor en la producción de cultivos y en el mejoramiento del suelo (30).

2.3.3. Funciones de la Materia Orgánica

Las principales funciones que desempeña la materia orgánica en el suelo son las siguientes:

- 1) Los residuos orgánicos en la superficie del suelo reducen el impacto de las gotas de lluvia y favorece la infiltración lenta del agua.
- 2). La descomposición de la materia orgánica produce sustancias y aglutinantes microbianos que ayudan a estabilizar la estructura deseable del suelo.
- 3). Las raíces de las plantas al descomponerse dejan conductos a través de los cuales penetra el agua y hay difusión de los gases del suelo.
- 4). Suministra alimento para los organismos del suelo.
- 5) Los residuos orgánicos sobre la superficie del suelo reducen las pérdidas del suelo debidas a la erosión eólica.
- 6). Las cubiertas de residuos orgánicos bajan la temperatura del suelo en el verano y conservan al suelo más caliente en invierno.
- 7). Las pérdidas de agua por evaporación son menores
- 8). Produce diferentes nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.

- 9). Un suelo de alto contenido de materia orgánica tiene mayor capacidad de agua aprovechable, que el mismo tipo de suelo con menos materia orgánica.
- 10). La materia orgánica ayuda en la capacidad amortiguadora de los suelos atenuando los cambios químicos rápidos cuando se agregan los fertilizantes y/o caliza.
- 11). Los ac. orgánicos liberados durante la descomposición de la materia orgánica ayudan a disolver minerales y a hacerlos más accesibles para el desarrollo de las plantas
- 12). El humus (MO descompuesta) constituye un almacén de cationes intercambiables y aprovechables K, Ca y Mg.
- 13). La materia orgánica tiene una función especial en hacer al fósforo más fácilmente aprovechable en suelos ácidos (29).

También otras funciones que tiene la materia orgánica son las siguientes:

Actúa como almacén para los elementos nutritivos, pues los va liberando lentamente; para que los utilicen las plantas en su desarrollo, especialmente en épocas cálidas.

Mejora las condiciones físicas del suelo, trayendo por consecuencia la facilidad de labranza de éste lo cual se traduce en:

- Más fácil absorción del agua de lluvia
- Mejor capacidad para retener el agua
- Menor erosión del suelo
- Menor formación de costra y terrones
- Condiciones más favorables para la germinación de las semillas

- Mejores condiciones para el desarrollo y crecimiento de las raíces, (30).

2.3.4. Efectos Desfavorables de la Materia Orgánica

- Bloqueo de los elementos fertilizantes en particular del Nitrógeno que pasa a una forma orgánica no inmediatamente asimilable por los vegetales.
- Efectos tóxicos debidos a productos formados en el curso de fermentaciones reductoras o más sencillamente, a la desaparición del oxígeno de la atmósfera del suelo.
- Acción desfavorable en la estructura:

En medio reductor húmedo cuando hay dispersión de los cementos coloidales, los óxidos de hierro en partículas

En medio aireado seco, porque las capas de materias orgánicas que pueden formarse se oponen al paso de las raíces y, en ciertas condiciones a la circulación del agua no saturante (21).

2.3.5. Composición

En general, se define como un conjunto de sustancias agrupadas en compuestos no húmicos y húmicos. Las sustancias no húmicos son los constituyentes principales de la biomasa: carbohidratos, lípidos, ligninas, proteínas, taninos, etc., en general compuestos de bajo peso molecular, relativamente fáciles de degradar.

Las sustancias húmicas son principalmente polimeros aromáticos-fenólicos de alto peso molecular, amorfas y con características acídicas, debido a la presencia de grupos carboxílos.

Se estima que la mayor parte del humus es de origen microbial (6).

Los principales componentes de la materia orgánica del suelo de interes en las actividades generales de clasificación y formación de suelos, son el C y N (Bool, S.W., pag. 89).

La materia orgánica del suelo es una sustancia 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 materia orgánica del suelo es de lignina (35 a 50%) y proteínas (30 a 55 %), aunque el humus puede contener tanto como un 30% de poliuronidos (36).

2.3.6. Clasificación de los microorganismos que intervienen en la descomposición de la M.O.

Los grupos más importantes de los organismos del suelo son:

Bacterias. Son plantas unicelulares y los individuos más grandes raras veces exceden 0.005 mm de diámetro. Según sus requerimientos de energía se dividen en dos grandes grupos:

1. Bacterias heterotróficas, pueden obtener su energía y C de sustancias orgánicas complejas.
2. Bacterias autotróficas, obtienen su energía de la oxidación de elementos o compuestos inorgánicos, su C del CO_2 y su N y minerales de compuestos inorgánicos

La naturaleza y abundancia de los diferentes tipos de bacterias dependen del abastecimiento de nutrientes y condiciones del medio ambiente del suelo.

Hongos. Según su morfología se clasifican en tres grupos:

1. Levadura y hongos parecidos a levaduras
2. Mohos, y
3. Los hongos propiamente dichos

Varían en su estructura y tamaño. No contienen clorofila. Su energía y C los obtienen de sustancias orgánicas complejas.

Actinomicetos. De acuerdo a su morfología ocupan una posición intermedia entre las bacterias y los hongos.

Los actinomicetos atacan y descomponen a la MO liberando los nutrientes que contiene. Aparentemente estos organismos son capaces de atacar al humus el que sería muy lentamente descompuesto por las bacterias.

2.3.7. Ciclo del Carbono

Los tejidos de las plantas contienen carbono en un 40 ó 50% de su peso, que es asimilado por fotosíntesis del anhídrido carbónico de la atmósfera. Este ciclo se desvía en parte a través del cuerpo de los animales, in

clusivo el del hombre, que se sustentan de las plantas como parte de su alimentación y devuelven mucho del carbono a la atmósfera nuevamente durante la respiración.

La población de microorganismos del suelo, tiene papel importante en el ciclo del C, ya que es responsable de la transformación en simple anhídrido carbónico de todos los componentes orgánicos que en parte constituyen los cuerpos de plantas y animales, una vez muertos y que se ha incorporado al suelo (Figura 1).

Cada clase de microorganismos del suelo controla una etapa particular en las reacciones químicas comprendidas en el ciclo del C. Así, se tienen organismos que dividen la celulosa, organismos amonificadores y nitrificantes, los cuales convierten las proteínas y ácidos nucleicos en simples compuestos nitrogenados y muchos otros que atacan otras clases de componentes bioquímicos (20).

2.3.8. Descomposición de la M.O.

En la descomposición de la MO es preciso mencionar los principales factores que inhiben este proceso, los cuales son: las bajas temperaturas del suelo, la acidez, la baja cantidad de nitrógeno y la falta de carbones disponibles (27).

Varias condiciones del suelo afectan la descomposición microbiana del material orgánico, el rango óptimo de temperatura es entre 21 y 38°C. Las temperaturas fuera de este rango retardarán la actividad de los organismos del suelo.

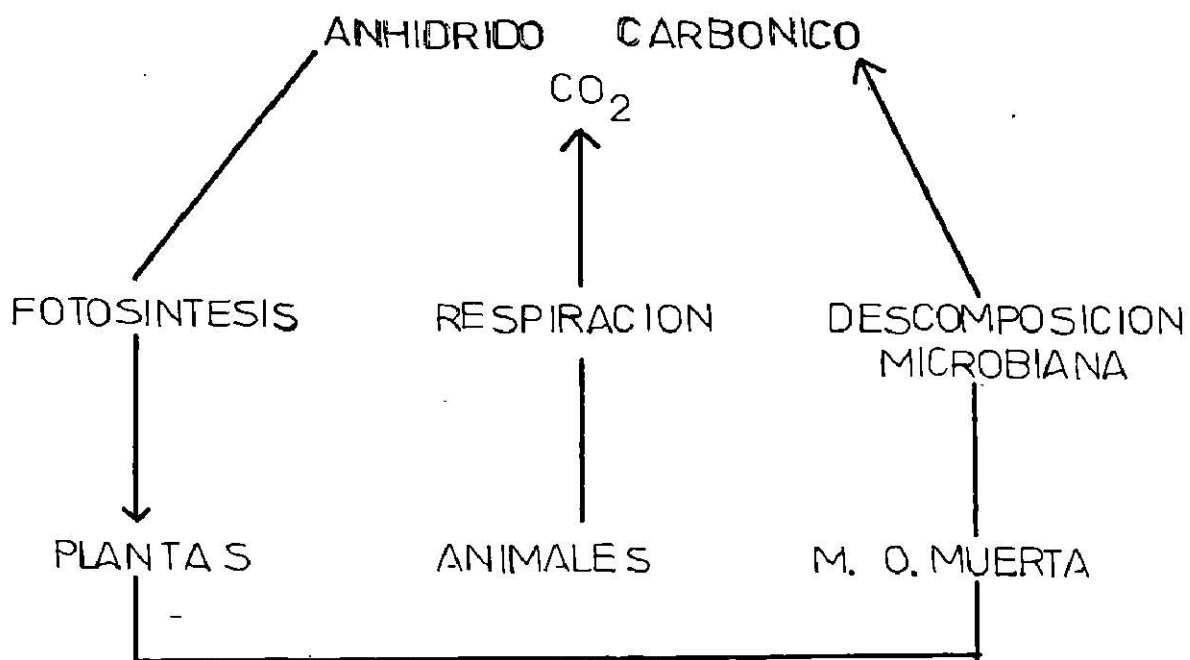


Figura 1. Ciclo del Carbono (Fuente: Hardy Frederick).

Si una cantidad excesiva de agua está presente en el suelo, los números y clases de los organismos benéficos en la descomposición decrecen debido a una aereación deficiente (29).

Todos los residuos vegetales, animales, así como compuestos orgánicos incorporados al suelo, son atacados por los microorganismos que existen en él; en donde la MO sufre transformaciones para ser aprovechada por las plantas. La descomposición de la MO del suelo se efectúa esencialmente por dos clases de procesos ambos microbianos en su mayor parte y son:

- La humificación
- La mineralización (16).

2.3.8.1. Humus

Porciones de MO son convertidos por degradación microbial o mediante resíntesis en compuestos amorfos, de color oscuro, conocido como humus. Se estima que la mayor parte del humus es de origen microbial (6).

La porción orgánica del suelo, con frecuencia denominada 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 requieren para el desarrollo microbiano. El humus es a la vez un producto del metabolismo microbiano y una fuente de alimento (3).

El humus consiste en tres principales grupos de compuestos orgánicos: Lignina modificada, la cual es muy resistente a la descomposición microbiana; las proteínas que están protegidas por la lignina y arcilla y los políurómidos, que son sintetizados por organismos del suelo (29).

2.3.8.1.1. Proceso de la humificación. Se puede definir la humificación como el conjunto de los procesos de síntesis que conducen a la formación de compuestos húmicos coloidales de neoformación a expensas de los productos más o menos solubles resultantes de la descomposición de la materia orgánica fresca.

La humificación lleva pues, a la formación de moléculas orgánicas complejas con frecuencia insolubles.

La humificación resulta, por una parte de procesos puramente físico-químicos, oxidación y polimerización por influencia de la aireación y de la desecación y fijación del NH_3 o NH_2 por los radicales COOH ; por otra parte, de procesos biológicos que activan los primeros; estos dos tipos de procesos intervienen en grado muy variable (11).

2.3.8.2. Mineralización

En condiciones favorables la mineralización se realiza en dos etapas: primeramente producción de NH_3 (amonificación) después oxidación de este NH_3 a ácido nitroso y finalmente, a nítrico (nitrificación). En condiciones desfavorables (fuerteacidez anaerobiosis), solo la amonificación permanece activa (11).

En el proceso de mineralización del N, los productos finales de un grupo de microorganismos producen sustrato para el siguiente, hasta que el material está descompuesto.

Aminización. Es la descomposición hidrolítica de las proteínas y la liberación de aminas y aminoácidos por algunos organismos heterótrofos.

Amonificación. Las aminas y aminoácidos liberados de la aminización son utilizados por otros grupos de organismos heterótrofos con la liberación de compuestos amoniacales (38).

2.3.8.2.1. Ciclo del Nitrógeno. En todos los suelos existen al cabo del año considerables entradas y salidas de N, acompañadas de muchas transformaciones complejas. Esta sucesión de reacciones bioquímicas continuadas, constituyen lo que se conoce como el Ciclo del Nitrógeno (Figura 2).

Además, existe la fijación del N atmosférico, realizada por ciertos microorganismos. La salida se debe a la remoción del cultivo, al drenaje, a la erosión y pérdida en condición gaseosa, tanto en forma elemental como en compuestos amónicos.

Gran parte del N añadido al suelo sufre transformaciones antes de ser incorporado. Las proteínas se convierten en varios productos de descomposición y finalmente, parte del N aparece en forma de nitrato. Aún entonces, no queda sin transformar, pues es apropiado tanto por los microorganismos como por las plantas superiores o extraído por el drenaje o perdido por volatilización. Y así, el ciclo va transfiriendo en ambos sentidos. La movilidad del N es notable, rivalizando con el carbono en su facilidad de movimiento (7).

2.3.9. El Estiércol como Aportador de la M.O.

Un componente importante del humus es el estiércol, producto de la digestión de los animales. Una pequeña parte de los alimentos que éstos consumen es asimilada y aprovechada por su organismo; el resto lleno de elementos nutritivos se elimina en el estiércol (12).

2.3.9.1. El cuidado y conservación del abono de estiércol

Un cobertizo bien protegido se considera como la mejor solución para almacenar el estiércol que se ha acumulado. La cubierta superior le protege de la lluvia y si se coloca una cama para ganado, se consigue evitar las

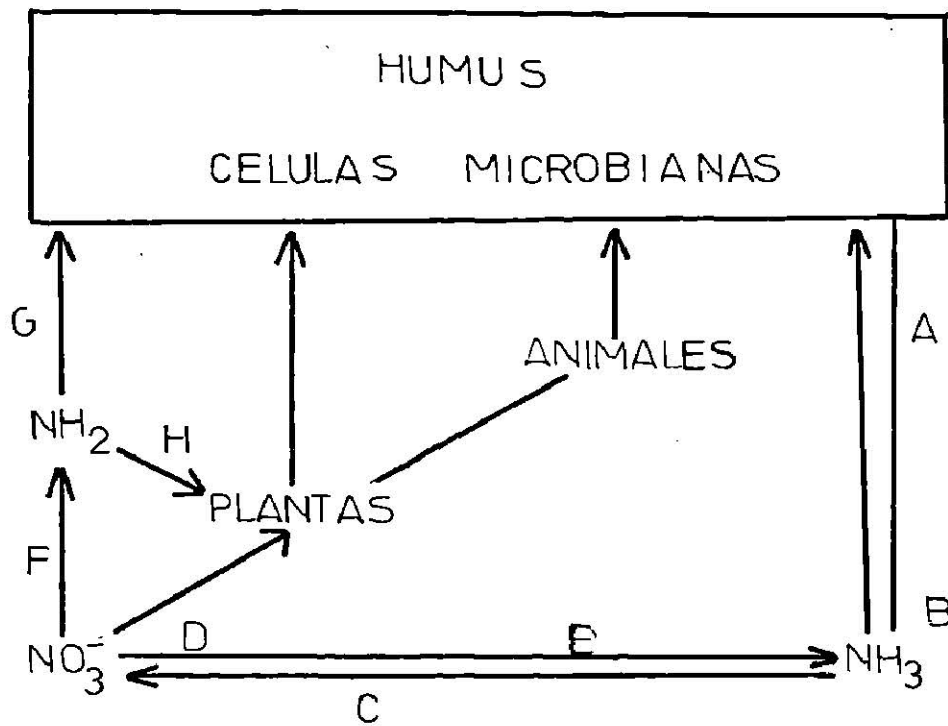


Figura 2. Ciclo del Nitrógeno. A. Amonificación; B. Mineralización; C. Nitrificación; D. Reducción; E. Inmovilización; F. Desnitrificación; G. Fijación no simbiótica de N_2 ; H. Fijación simbiótica de N (Fuente: Alexander, M.).

pérdidas de excremento líquido, consiguiéndose al mismo tiempo que el estiércol esté siempre húmedo (37).

Un buen almacenamiento se caracteriza por mantener los montones: 1) Perfectamente compactos; 2) con suficiente humedad; 3) bajo techo o cubierto; 4) sin ser movidos durante el tiempo que permanezcan almacenados (32).

2.3.9.2. Composición del Abono de Estiércol

El estiércol consiste en dos componentes, el sólido y el líquido. El sólido contiene la mitad o más del N, la tercera parte del Potasio y aproximadamente todo el Fósforo. El N se encuentra en las heces fecales principalmente en dos formas:

- 1) Las proteínas residuales que han resistido a la descomposición en el proceso de digestivo.
- 2). Las proteínas que han sido sintetizadas en las células de las bacterias.

El excremento sólido también contiene grandes cantidades de Lignina. El 50% de la MO en el excremento sólido puede estar en estado humificado y el N contenido es lentamente aprovechable por las plantas.

La porción líquida difiere de la sólida por su bajo contenido de Fósforo y su alto contenido de K y N (32).

Tabla 1. Composición del Estiércol

	% Humedad	% N Total	
		Base seca	Base húmeda
Bovino	85.37	1.75	0.26
Caprino	75.31	2.31	0.57
Gallina	59.77	2.53	1.02

FUENTE: Rico Moreno, J.M.

centrados, se calientan y maduran más fácilmente y tienen una acción más rápida, más o menos prolongada.

Los estiércoles fríos tienen una acción más lenta pero más duradera, están más indicados para suelos ligeros, arenosos, mientras que los estiércoles calientes se aplican a suelos pesados.

En ensayos realizados en Ames, Iowa, en la granja agronómica, los valores obtenidos indicaron que el maíz del segundo año se benefició con el estiércol aplicado antes del maíz del primer año en la rotación de cultivos. Estos valores indican que la acción residual del estiércol se mantuvo hasta el cuarto año.

En experimentos realizados por Luno, Basil y Doss, encontraron que el efecto residual del estiércol se prolongó hasta el cuarto año después de la incorporación (12).

La experimentación con estiércoles llevados en el campo a lo largo de muchos años, han hecho pensar a los investigadores que un tercio del Nitrógeno total es utilizable durante el primer año, una tercera parte se pierde por lixiviación y volatilización y el resto se puede aprovechar por los cultivos en los dos o tres años siguientes (35).

El transcurso del tiempo durante el cual pueden observarse los resultados o efectos de una aplicación de materia orgánica sobre el crecimiento de un cultivo es muy notable. Según datos citados por diversos investigadores de Rothamséd, Inglaterra, se encontró que los efectos de aplicación de 32 ton/ha de estiércol durante ocho años fueron observados cuarenta años después del último tratamiento. Estos son desde luego casos muy extremos, ya que las cantidades aprovechables de estiércol que se obtuvieron fueron

2.3.9.3. Efecto Residual del Estiércol

La aplicación de estiércol muestra una influencia favorable sobre los rendimientos de los cultivos. Los efectos residuales están mal distribuidos en un tiempo y son más prolongados que los efectos de los fertilizantes químicos.

En realidad, el efecto prolongado se debe a la lenta asimilabilidad de los constituyentes y nutrimentos contenidos en el estiércol. También por otra parte, se debe a la cantidad de raíces y rastrojos de los cultivos anteriores (32).

El valor del abono orgánico estriba en su favorable efecto sobre la estructura física del suelo, a medida que se va descomponiendo el material orgánico, aplicado se producen sustancias como el humus que le confiere el grado de fertilidad natural además de que se fomenta la actividad biótica del suelo, también se favorece una mayor retención de humedad indispensable para que los elementos nutritivos se pongan en solución y sean más fácilmente tomados por las raíces de las plantas (1).

El estiércol es un abono de acción bastante lenta, aunque prolongada. Es necesario pues distinguir dos efectos. La "vieja fuerza" del suelo se debe en parte a la acumulación del estiércol a lo largo de los años. En tierras arenosas el estiércol actúa durante el primer año, especialmente mientras que en suelos francos o pesado el efecto del estiércol subsiste el segundo, tercero e incluso cuarto año. Se distinguen dos clases de estiércol:

- A). Estiércol frío, vacuno y cerdo
- b). Estiércol caliente, caballo, oveja y aves de corral

Los estiércoles calientes evolucionan más de prisa porque son más con

observables solo de tres a cuatro años de la última aplicación.

El efecto residual del estiércol se debe en gran parte a su lenta descomposición, lo que hace más duradero en el terreno, en contraste con los abonos verdes, los cuales son de rápida descomposición y aprovechamiento por los cultivos (35).

2.3.9.4. Efecto de la aplicación de estiércol en el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo.

2.3.9.4.1. Efecto sobre la captación, retención, infiltración y evaporación del agua en el suelo. Al actuar el estiércol como un mejorador en el suelo, permite una mejor captación, retención e infiltración del agua en el suelo, lo cual hace más eficaz el agua de riego o lluvia.

El estiércol funciona como un retardador de la evaporación del suelo, especialmente cuando se incorpora superficialmente, y su uso puede permitir el empleo más eficiente del agua.

Campos, Anaya y Martínez, informan que en el experimento que llevaron a cabo, la adición de estiércol incrementó la humedad aprovechable y la adición de 5 ton/ha de rastrojo conservó la humedad aprovechable. El incremento fue de 15.4% a 20% el incremento de humedad a capacidad de campo (9).

Baker encontró que la absorción de agua por el suelo varía a consecuencia de la MO de un 20 a un 40% en los suelos que utilizó en su estudio (4).

2.3.9.4.2. Efecto sobre la estructura del suelo. Al hacer la aplicación de grandes cantidades de MO en cualquiera de sus formas (estiércol) produce

un notable incremento en la agregación del suelo inmediatamente después de ser incorporada (25).

Con la aplicación de estiércol aumenta la estabilidad de la estructura, ejerciendo por un lado el efecto de una cementación sobre los constituyentes de los agregados y disminuyendo por otro lado la humectabilidad de estos últimos. (18).

2.3.9.4.3. Efecto sobre el pH. Se ha encontrado que las aplicaciones de estiércol aumentaron el pH al principio, posteriormente el pH bajó en condiciones aeróbicas a consecuencia aparentemente de los procesos acidificantes anaeróbicas.

La disminución del pH causada por la incorporación de estiércol, aumenta la asimilabilidad sobre todo de los micronutrientes en suelos calcáreos (12).

2.4. Proceso de Encostramiento

Las costras de suelo se forman por compactación superficial debida a una fuerza externa. Esta fuerza es principalmente el choque de las gotas de lluvia y la energía radiante del sol cuando el suelo se seca. Cuando las gotas de lluvia caen en un suelo seco, se produce de una manera casi instantanea la disgregación de los agregados, seguida por la dispersión y orientación de las partículas más finas y la oclusión de los poros al penetrar estas partículas en el suelo.

En la superficie se forma una zona compacta de mayor densidad global (5).

2.4.1. Formación de Costras

La formación de costras en el suelo consta de dos partes:

- 1). La primera parte es la formación de una capa delgada de aproximadamente 0.1 mm de espesor que se forma en la superficie como resultado de la acción de las gotas de lluvia cuya permeabilidad ha sido reducida en dos mil veces aproximadamente.
- 2). La segunda capa, se forma inmediatamente debajo de la superficie, las partículas dispersas que surgen con el choque son arrastradas por el agua que se filtra, obstruyendo los poros y formando una capa de porosidad, disminuida con lo que la permeabilidad queda reducida unas doscientas veces en comparación a la que tendría un suelo sin disturbios.

Evans y Buol (1968), Wilding y Schmidt (1968, citado por Baver, 1973) indican que en los suelos vírgenes también hay rompimiento, pero no dispersión de las partículas, es por eso que no existe la ensolvación y la permeabilidad de la costra está en función de la permeabilidad de la capa delgada superficial. La conclusión de esto, se refiere a que la causa principal del encostramiento es la dispersión de las partículas del suelo y no el deshacinamiento de éstas (28).

2.4.2. Problemas causados por el Encostramiento

Durante la formación del encostramiento de los suelos, existen dos tipos de problemas que afectan a las plántulas y a la disponibilidad y aprovechamiento del agua, clasificándose en dos tipos principales:

Problemas directos. Lo cual consiste en la obstrucción mecánica de las plántulas que están emergiendo, dañando a la vez su raíz mediante la forma

ción de torceduras debido a la baja penetración de éstas.

Problemas indirectos. Se refiere a la formación de las costras del suelo, ya que hay una tasa de percolación muy baja, la cual trae por consecuencia un aumento en el escurrimiento y la inhibición de la actividad microbiana.

Generalmente, cuando las costras son muy fuertes, impiden la circulación del oxígeno dentro del suelo, provocando el ahogamiento de las plantas antes de emerger a la superficie (30).

La humedad, estructura y textura del suelo, influyen ampliamente en la dureza de la costra. La costra obstruye mecánicamente la emergencia de las plantas que están emergiendo, aumentando el escurrimiento y la inhibición de la actividad microbiana (24).

2.4.3. Método del Penetrómetro para Medir la Dureza de la Costra

El penetrómetro, es un aparato que asemeja una plántula naciente mecánica, en donde se mide la fuerza ($Lb/P1^2$) necesaria para romper la costra.

El penetrómetro de cono tipo militar, es un instrumento mecánico que consta de una perilla de apoyo, una varilla de penetración, la cual termina en un cono cuya función es la de romper la costra y un anillo indicador, cuya deflexión depende de la dureza de la costra y es registrada en la carátula indicadora.

Existen otros métodos para medir la intensidad del encostramiento del suelo, que son:

1. Módulo de ruptura para simular el encostramiento
2. Otro método es la resistencia a la penetración de una sonda en el suelo (28).

2.4.4. Control de Costra

El encostrado de los suelos se puede controlar o disminuir con la adición de materia orgánica, a través de la incorporación de residuos vegetales, así como estiércoles; ésta lo protege de la acción de las gotas de lluvia, promoviendo la formación de agregados estables que resisten la dispersión. Otro de los beneficios de la aplicación de materia orgánica es mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo; haciendolo más blando y aumentando a la vez su poder de imbibición y a medida que esta se descompone, se va formando humus, el cual impide la formación de costras superficiales, facilitando la penetración del agua y reduciendo la evaporación, permitiendo con esto la presencia de humedad por más tiempo.

Ciertos acondicionadores artificiales también reducen el encostramiento; produciendo una agregación estable.

Hamyari (1981) realizó un trabajo en suelos arcillosos, los cuales trató con Super Slurper al 4% para la reducción de costras, obteniendo una disminución de ésta de 54% (30).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del Experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la UANL, ubicado en el municipio de Marín, N.L., el cual se encuentra a una altitud de 367.3 msnm y con coordenadas geográficas de 25°50' Latitud Norte y 100°00' Longitud Oeste.

3.2. Clima y Suelo

El clima que predomina en esta región según el sistema de Koppen, modificado por Enriqueta García (1973), es identificado de la siguiente manera: BS(h')hx'(e), en forma general, se refiere a un clima semiárido con precipitaciones en verano, registrándose temperaturas que oscilan hasta los 43 a 45°C en verano y en invierno hasta los -5 a -7°C con una media de 18 a 22°C. El tipo de suelo es calcareo, arcilloso, café muy claro, con un pH de 7.5. Con respecto al contenido de materia orgánica, son suelos pobres o moderadamente pobres.

3.3. Materiales y Aparatos Utilizados

3.3.1. Material genético

La semilla de trigo (Triticum aestivum) utilizada en el experimento, presenta las siguientes características agronómicas:

Caracteres	Descripción
Días a floración	91 a 107
Días a madurez fisiológica	150

Caracteres	Descripción
Altura de la planta	100 cm
% de germinación	95
Color de espiga	Crema
Color de grano	Blanco
Calidad del gluten	Fuerte
Reacción a roya del tallo	Resistente
Reacción a roya de la hoja	Resistente
Calidad	harinero

S.A.R.H. (1977)

3.3.2. Materiales varios

Cinta de medir, estacas, hilo, machete, tractor bordeador, rastra, azadon, bolsas de papel, trilladora, balanza, lápiz y libreta de campo, penetrómetro, barrena, equipo de laboratorio de suelos, palas, bolsas de polietileno, cuarto de secado.

3.3.3. Aparato medidor del módulo de ruptura

Este aparato consiste en una plataforma de madera que tiene acoplado un marco del mismo material, así como una balanza granataria.

El marco tiene en el travesaño una navaja de posición ajustable en forma horizontal. Dicha navaja va soldada de una de sus partes filosas a un tornillo, el cual a su vez roscado libremente a una tuerca incrustada en el marco de madera, así la posición de la navaja puede regularse hacia arriba o abajo, haciendo girar el tornillo y la navaja a la derecha o izquierda respectivamente. La función de la navaja es cortar los pequeños bloques que simulan la costra de los diferentes tratamientos.

La balanza granataria está colocada de tal forma que el centro del plato esté jústo debajo de la navaja cortante. En el centro del plato de la balanza está acoplada la base que sostiene a los pequeños bloques. Dicha base es de madera y en ella van incrustadas en forma paralela dos navajas cuyos filos hacen contacto con los pequeños bloques y los sostiene (Figura 3).

Los moldes empleados para la elaboración de los bloques, consiste en rejas, las cuales forman con tiras de madera de 1 cm^2 de espesor. Las medidas son $3.5\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ de altura. Bajo esta reja se encuentra una malla mosquitera cuya función es la de servir de piso permeable a través del cual se humedece las muestras colocadas en los moldes para formar los pequeños bloques.

3.3.4. Penetrómetro tipo Militar

Es un aparato que sirve como un rápido medio para determinar la resistencia de penetración de un suelo.

El instrumento consiste de una perilla tipo T, una varilla de 45 cm de longitud, con un diámetro de 1.5 cm, graduada cada 2.5 cm en el extremo contrario al de la perilla tiene una punta de cono movable con un área de base de 2 cm y una extensión de 3.8 cm, además un anillo probador de 350 unidades de capacidad en la carátula indicadora (Figura 4).

3.3.5. Barrenas de densidad aparente y de caja

La barrena utilizada para determinar densidad aparente, llamada también barrena "Huland", consta de una serie de tubos con rosca que sirven de soporte y apoyo; un martinete, mediante el cual se empuja y se conduce a la penetración y un cilindro de volumen conocido, el cual recoge la mues-

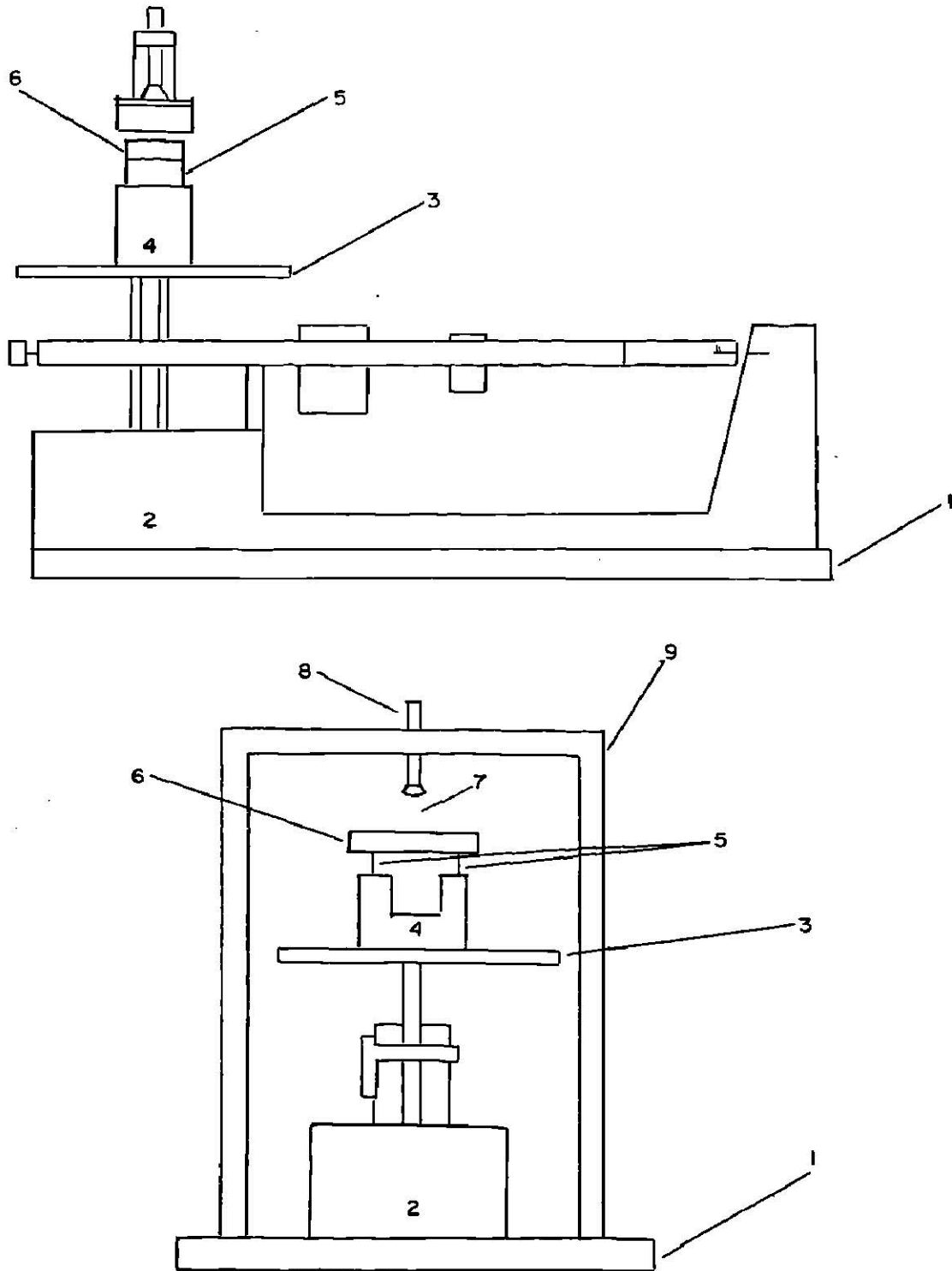


Figura 3. Aparato para la determinación del módulo de ruptura, donde:
 1) base de madera; 2) balanza granataria; 3) plato de la balanza
 4) soporte de madera; 5) navajas que sostienen al ladrillo; 6)
 ladrillo; 7) navaja cortadora; 8) tornillo ajustable y 9) travesaño.

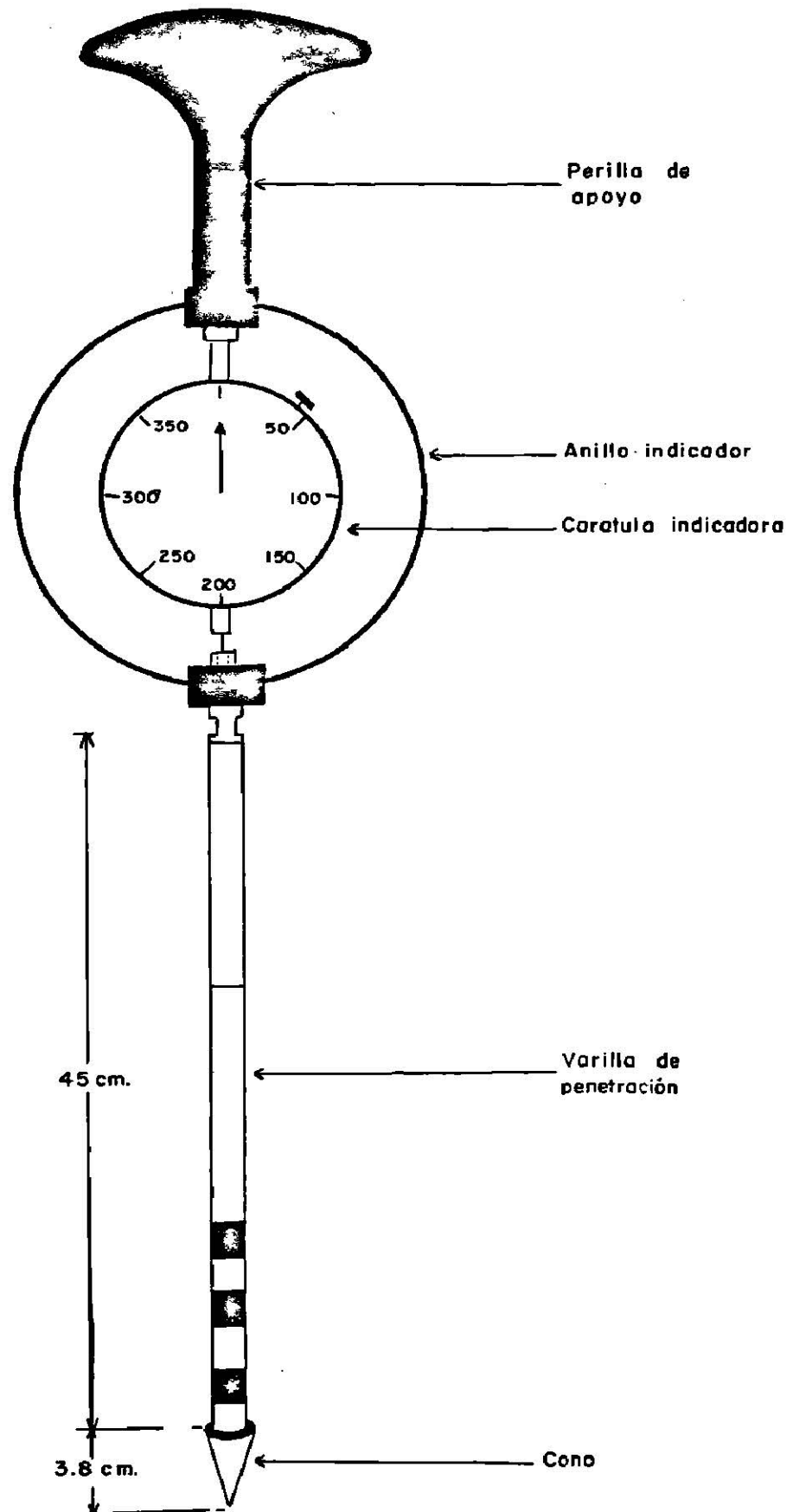


Figura 4. Penetrómetro Modelo CN-970.

tra uniforme.

Por otra parte, la barrena de caja usada en el presente experimento para obtener muestras para determinaciones de módulo de ruptura y M_0 , es una barrena larga, con un cilindro en su parte inferior, el cual recoge la muestra al aplicar una fuerza con un movimiento giratorio por tener el cilindro en su parte inferior dos prolongaciones que sirven como cuchillas, las cuales están encontradas y con su filo socavan el suelo y lo incorporan al cilindro.

3.4. Procedimientos Experimentales

3.4.1. Establecimiento del experimento

El presente experimento forma parte de una serie de trabajos con la finalidad de estudiar el efecto residual de estiércol de cabra sobre las características físicas y químicas del suelo.

Para el estudio del efecto residual del estiércol de cabra, se empezó en el ciclo agrícola de verano de 1983 para lo cual se delimitó un área de 2097 m^2 , en el cual se formaron tres bloques, los cuales nos representan las repeticiones cada una de éstas está formada por 13 unidades experimentales de 8 m de largo por 4 m de ancho, a los cuales se les asignaron los 13 tratamientos respectivamente.

La preparación del terreno consistió en un barbecho y después dos pasos de rastra, la cual se realizó el 25 de julio de 1983. La incorporación del estiércol se realizó el 12 de agosto del mismo año. El fertilizante químico, sulfato de amonio como fuente de nitrógeno fue aplicado al momento de la siembra. En los siguientes ciclos no se realizó ninguna otra aplicación de estiércol, ni fertilizante químico ya que solo se observó como

fue evolucionando el contenido de MO del suelo. Se presenta el orden cronológico en que se desarrollaron estos trabajos (Tabla 2).

Tabla 2. Trabajos de evaluación de costra y efecto residual del estiércol caprino, llevados a cabo a partir del verano de 1983 en el mismo lote experimental.

Ciclo	Cultivo	Fecha de Siembra
1	Frijol	18 - VIII - 1983
2	Trigo	21 - XII - 1983
3	Frijol	9 - VIII - 1984
4	Trigo	19 - XII - 1984
5	Frijol	12 - VIII - 1985
6	Trigo	9 - XII - 1985

Las labores realizadas antes de la siembra fueron las siguientes: se procedió con un corte de maleza del terreno, usando una chapoleadora, retirando la maleza del lote experimental con el fin de que ésta no se incorporara al suelo; se dió un paso de rastra sin derribar los bordos que dividían los tratamientos; el segundo paso de rastra se dió en sentido contrario al primero, para poder mantener los tratamientos en su posición original.

Siguiendo los puntos de referencias se estacó el lote experimental para delimitar los tratamientos y se trazaron los bordos y regaderas, utilizando para ello un tractor con bordeadora de discos.

Las labores llevadas a cabo en el presente experimento se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Labores culturales llevadas a cabo en el presente experimento en orden cronológico.

Fecha	Días Transcurridos	Labor realizada
09-XII - 85	-	Siembra
17-XII-85	8	Primer riego
13- I -86	35	Conteo PPM
21- I -86	43	Segundo riego
27- I -86	49	Primera medición de altura
07- II-86	60	Muestreo de suelo DA y H°
10-II -86	63	Segunda medición de altura
25-II -86	78	Tercera medición de altura
26-II -86	79	Tercer riego
21-III-86	102	Cuarto riego
11-IV -86	123	Lect. penetrómetro
18-IV -86	130	Muestreo de suelo MO y CE Mod. Ruptura y pH.
02- V -86	144	Cosecha

Se tuvo pocos problemas con malezas, las cuales fueron controladas manualmente; además que no fue necesaria la aplicación de ningún producto químico para el control de plagas y enfermedades, ya que éstas no se presentaron.

3.4.2. Diseño Experimental

El diseño utilizado en el presente experimento fue un bloques al azar el cual constó de tres repeticiones y cada repetición consta de 13 tratamientos con los que se generaron 39 unidades experimentales. El arreglo de

estos fue de acuerdo a un cuadrado doble (Figura 5), la cual se hizo con el propósito de probar algunas interacciones de interés estiércol-fertilizante. El diseño fue basado en un arreglo factorial 5x5 del cual se eliminaron 12 de los 25 combinaciones en forma sistemática, las restantes 13 combinaciones tienen un cubrimiento uniforme del espacio de factores (Tabla 4).

La hipótesis estadística planteada es la siguiente:

H₀: No existe diferencia estadística significativa de la(s) variable(s) estudiadas, entre los tratamientos.

H₁: Existe diferencia estadística significativa de la(s) variable(s) estudiadas entre los tratamientos.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la variable bajo estudio

μ : es la media verdadera general

T_i : es el efecto verdadero del i -ésimo tratamiento

B_j : es el efecto verdadero del j -ésimo bloque

E_{ij} : es el error aleatorio asociado a la j -ésima unidad experimental

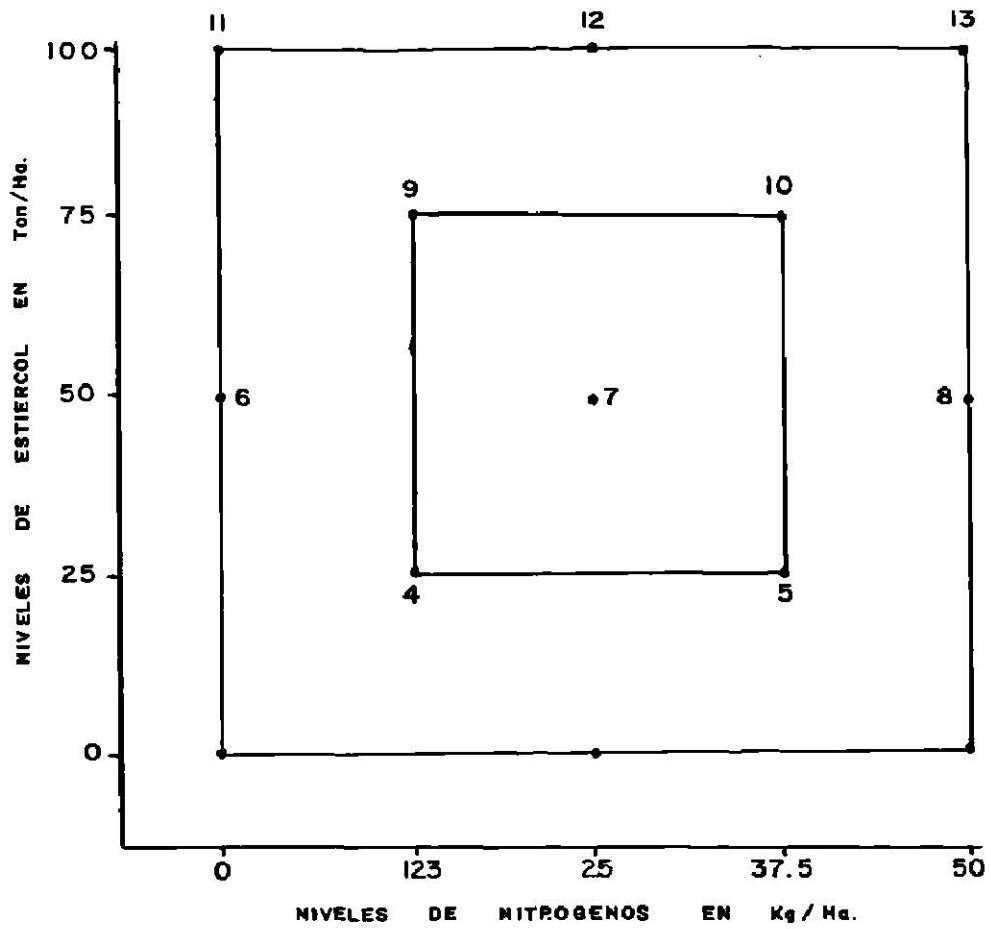


Figura 5. Distribución espacial de los tratamientos empleados de acuerdo al arreglo de un cuadrado doble.

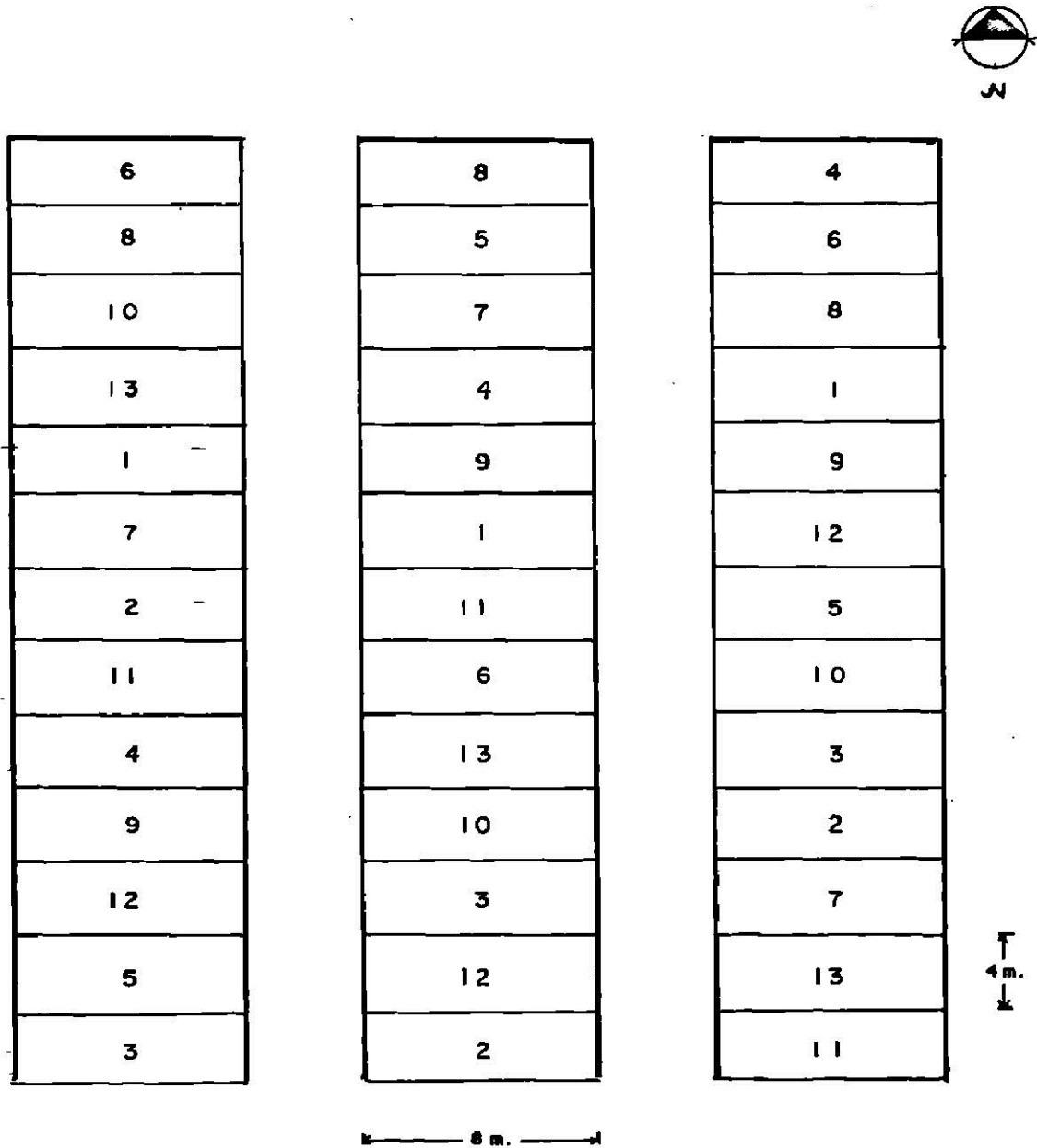


Figura 6. Croquis del experimento y forma en que fueron aleatorizados los tratamientos en el campo.

Tabla 4. Niveles de estiércol (E) y nitrógeno (N), correspondientes a cada tratamiento.

Tratamiento	E (ton/ha)	N (kg/ha)
1	0	0
2	0	25
3	0	50
4	25	12,5
5	25	37,5
6	50	0
7	50	25
8	50	50
9	75	12,5
10	75	37,5
11	100	0
12	100	25
13	100	50

3.5. Procedimiento de Recolección de Datos

3.5.1. Variables con respecto a la planta

Número de plantas por metro cuadrado (NPM). La toma de esta variable se realizó contando el número de plantas emergidas dentro del metro cuadrado, ésta se realizó antes del amacollamiento.

Altura de planta. Se tomó la altura de 10 plantas tomadas al azar dentro de la parcela útil, procediéndose después a sacar un promedio de la altura. Se tomaron tres lecturas de altura, de las cuales las dos primeras se tomaron

desde la base del tallo hasta la punta de la última hoja, y en la tercera y última, se realizó desde la base del tallo hasta la punta de la espiga.

Número de espigas por metro cuadrado (NEM). Después de la cosecha de plantas del metro cuadrado dentro de la parcela útil de cada unidad experimental, se procedió a contar las espigas.

Rendimiento de grano por metro cuadrado (RGM). Después de la cosecha de las plantas dentro del metro cuadrado de la parcela útil de cada unidad experimental, se procedió a trillar y el grano obtenido se obtuvo el peso de grano.

Rendimiento de grano por hectárea (RGH). Se cosechó la parcela útil, eliminándose el metro cuadrado en cada unidad experimental, se procedió a la trilla y el peso obtenido de cada parcela experimental fue de 8 m², que posteriormente fue transformado a toneladas por hectárea.

Peso de paja por metro cuadrado (PPM). Después de la cosecha de las plantas del metro cuadrado de la parcela útil de cada unidad experimental, se pesaron el total de plantas y posteriormente se le restó el peso del grano para así poder obtener el peso de la paja.

3.5.2. Variables con respecto al suelo

Reacción del suelo (pH). El pH se determinó para dos profundidades 0-15 cm y 15-30 cm de cada una de las parcelas experimentales. Después de obtener las muestras, se procedió a secar y tamizarlas, posteriormente se obtuvo la lectura de pH en el laboratorio de suelos.

Contenido de Materia Orgánica (MO). Para la determinación de dicha variable

después de obtener las muestras, se procedió a secarlas y tamizarlas, después fueron llevadas al laboratorio para el análisis. El método usado para la determinación del contenido de MO fue el de Walkley y Black. La determinación de MO fue obtenida a dos profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Conductividad Eléctrica (CE). Se obtuvieron muestras de dos profundidades 0-15 cm y 15-30 cm de cada parcela experimental. Puestas después a secar y tamizarlas, posteriormente se llevó al laboratorio de suelos para la determinación de CE a cada muestra. El método empleado fue el de El Puente de Wheatstone y el valor es expresado en milimhos por centímetro (mmhos/cm)

Módulo de Ruptura (MR). Después de tomar las muestras a dos profundidades 0-15 cm y 15-30 cm se procedió a secarlas y tamizarlas. Posteriormente se coloca el enrejado sobre una plataforma de madera, enseguida se llenan cinco subdivisiones del enrejado de cada muestra de suelo. Se inclina un poco la plataforma, se agrega agua en la parte superior de la plataforma, así el agua ascenderá por capilaridad en cada molde para la formación de los pequeños bloques. Después se trasladaron al cuarto de secado, en donde estará a una temperatura de 50-55°C, el tiempo que tarda en tener peso constante fue de 48 horas. Una vez secos los bloquitos se sacaron del cuarto de secado para posteriormente se monta el aparato para la medición del módulo de ruptura. Enseguida, se coloca el soporte de madera y el ladrillo, posteriormente este peso es destarado para que la báscula esté balanceada a cero, luego la navaja cortante se ajusta de forma que su filo apenas roce la parte media de la superficie del pequeño bloque. Después se va agregando peso a la báscula y registrar el peso que fue requerido para romper cada bloquito, el peso de ruptura se obtuvo del promedio de cinco ladrillos.

Los datos obtenidos fueron sustituidos en la siguiente formula:

$$S = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2bd^2} = \text{dinas/cm}^2$$

Donde:

F = fuerza de ruptura (gramo-peso)

L = distancia de los soportes (5.08 cm)

b = anchura de la base del ladrillo (3.5 cm)

d = grueso del ladrillo (1 cm).

El modulo de ruptura también puede ser expresado en bares o milibares (1 bar = 1000 milibares = 10^6 dinas CM^{-2}). Para un mejor manejo y facilidad en el análisis estadístico, se transformaron los datos de dinas/ cm^2 a bares.

Se presenta un ejemplo a continuación:

Ejemplo: Fuerza \bar{X} = 800 g

$$S = \frac{3(800 \text{ g}) (5.08 \text{ cm})}{2(3.5 \text{ cm}) (1 \text{ cm}^2)}$$

$$S = 1741.7 \text{ g/cm}^2$$

$$S = 1741.7 \text{ g/cm}^2 (980 \text{ CM/SEG}^2)$$

$$S = 1706866 \text{ dinas/cm}^2$$

$$S = 1.706866 \text{ bares}$$

Densidad Aparente (DA). Se tomaron dos muestras de suelo de 0-15 cm y 15-30 cm de profundidad. Las muestras se sacan de la parcela útil con una barrena con un cilindro de volumen conocido. Cada muestra fue colocada en frascos de vidrio que posteriormente fueron colocadas en una estufa, donde se se-

caron hasta tener un peso constate con una temperatura constante de 50°C. Se destara el peso del frasco para obtener el peso de la muestra que posteriormente es dividido entre el volumen del cilindro muestreador (155.6576 cm³) para así obtener la densidad aparente en gramos por centímetro cúbico.

Dureza de la costra media (LP). Esta variable se tomó directamente en el campo, utilizando para ello el penetrómetro de cono (Figura 4). Los valores que se obtienen están en kilogramos/centímetro cuadrado, se tomaron cinco lecturas en cada parcela para obtener valor promedio y utilizando la gráfica del anillo probador, los datos son transformados a Lb/plg², después a g/cm², posteriormente a dinas/cm² y finalmente a bares.

Humedad del suelo (H°). Las muestras obtenidas para la densidad aparente se tomaron la lectura de peso antes de meterlas a la estufa y después de sacarlas. Con la fórmula siguiente se determina el porcentaje de humedad:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{PSH} - \text{PSS}}{\text{PSS}} \times 100$$

Donde:

PSH = peso suelo húmedo

PSS = peso suelo seco

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos para las variables bajo estudio se presentan en la Tabla 5; en la Tabla 6 se presenta la prueba de Tuckey de la comparación múltiple de medias de las variables bajo estudio que resultaron ser estadísticamente significativas.

En la Tabla 5 se define a S.C.T. a la suma de cuadrados de tratamientos; S.C.E. a la suma de cuadrados del error; F cal el valor de la F calculada; N.S. Diferencia no significativa; * diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0.05$); ** diferencia altamente significativa entre tratamientos ($P \leq 0.01$); \bar{X} gral, es la media general para cada variable; g. de l a los grados de libertad para cada fuente de variación; C.M.E. al cuadrado medio del error; % C.V. al por ciento del coeficiente de variación.

En ciclos anteriores se obtuvieron variables significativas como en el tercero y cuarto ciclo; por tal motivo, este sexto ciclo se llevó a cabo con la finalidad de comparar los resultados obtenidos anteriormente.

Las variables significativas estadísticamente fueron: rendimiento kg/ha (X15) y humedad de 15-30 cm de profundidad (X21).

Rendimiento en kg/ha

Se encontró una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos probados. Mediante el método de Tuckey en comparación múltiple de medias (Tabla 6) se encontró que no hay diferencia entre medias, observándose que los tratamientos que produjeron los valores más altos fueron el 1 y 11, 9, 8 ($\bar{X} = 4522.67, 4477.00, 4388.00$ y 4252.00 respectivamente) y los que produjeron los valores más bajos el 13, 5, 4, 12 ($\bar{X} = 3456.67, 3437.33,$

2928.67, 2510.00 respectivamente). Mediante el análisis de regresión lineal múltiple, solo el 16% de la variación ($R^2 = 0.16656$) es explicado por el modelo propuesto al inicio (Tabla 7). Para tener seguridad en el modelo de procedió a realizar la falta de ajuste, la cual nos indicó que el modelo propuesto no es el adecuado, procediéndose a encontrar un modelo adecuado de acuerdo a las regresiones posibles y se obtuvo un $R^2 = 0.14733$ para el mejor modelo, que es el siguiente:

$$g = 4278.440 - 54.08860 X_2 + 1.001918 X_2^2 - 0.084086 X_1 X_2$$

para fines de investigación, se procedió a obtener un modelo con datos codificados, obteniéndose así un modelo (Tabla 8) para poder observar la respuesta estimada a la fertilización para el trigo, cuya respuesta se presenta en la Figura 7, en donde se observa que al aumentar la dosis de estiércol combinada con la no aplicación de nitrógeno, se produjeron los mejores rendimientos. Con la aplicación de 100 ton/ha de estiércol y 0 kg/ha de nitrógeno se obtiene el mayor rendimiento que es de 4771.10 kg/ha. La combinación de 0 ton/ha y 25.0 kg/ha de estiércol y nitrógeno respectivamente se obtiene el rendimiento más bajo que es de 3391.47 kg/ha.

Humedad de 15-30 de profundidad

Se encontró una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos probados. Se llevó a cabo el método de Tuckey en la comparación múltiple de medias (Tabla 6). Se encontró que los tratamientos que produjeron los valores más altos fueron el 7, 3, 13, 1 ($\bar{X} = 8.52; 7.97; 7.46; 7.37$ respectivamente) y los que produjeron los valores más bajos fueron el 12, 10, 8, 6, 2 ($\bar{X} = 4.75; 4.66; 4.27; 4.06; 3.26$ respectivamente). Mediante el análisis de regresión lineal múltiple, solo el 6% de la variación ($R^2 = 0.06077$) es explicado por el modelo propuesto al inicio (Tabla 7). Se procedió a rea

Tabla 5. Resumen de los análisis de varianza de las variables estudiadas en el experimento de la Evaluación del efecto residual de estiércol de cabra.

Var.	S.C.T.	S.C.E.	F.cal.	Sig.	X Gral.	Gl. E.	Cl F	C.M.E.	C.V.
X01	36250.660	139021.969	0.880	NS	268.33	12	14	5792.582	28.26
X02	1.590	3.923	0.638	NS	2.01	12	24	0.163	20.00
X03	51788.652	526167.961	0.690	NS	323.19	12	22	5734.907	23.43
X04	29.807	69.398	0.596	NS	15.94	12	24	2.892	10.66
X05	293.866	427.482	0.244	NS	33.07	12	24	17.812	12.76
X06	440.123	700.247	0.304	NS	47.45	12	24	29.177	11.38
X07	2.248	2.722	0.142	NS	2.32	12	24	0.113	14.48
X08	0.850	2.051	0.622	NS	2.10	12	24	0.085	13.88
X09	0.145	0.227	0.291	NS	7.56	12	24	0.009	1.25
X10	0.237	0.258	0.098	NS	7.54	12	24	0.011	1.39
X11	0.551	2.008	0.861	NS	1.35	12	24	0.084	21.46
X12	1.196	2.327	0.456	NS	1.30	12	24	0.097	23.95
X13	0.974	0.918	0.056	NS	1.38	12	24	0.038	14.12
X14	0.404	1.323	0.813	NS	1.34	12	24	0.055	17.50
X15	12458705.00	10144511.0	0.048	*	3777.68	12	22	461114.125	17.97
X16	31541.018	111544.836	0.880	NS	266.97	12	22	5070.220	26.67
X17	289569.68	404589.125	0.280	NS	321.11	12	22	18390.414	42.23
X18	2.009	5.227	0.704	NS	1.65	12	23	0.227	28.87
X19	2.857	4.098	0.265	NS	1.71	12	23	0.178	24.67
X20	83.939	331.241	0.890	NS	6.79	12	24	0.890	13.89
X21	95.250	69.162	0.017	*	5.81	12	24	2.882	29.21

Tabla 6. Resumen de las pruebas de Tuckey de las variables con diferencia significativa entre tratamientos a los 856 días de incorporado el estiércol:

Rendimiento (kg/ha)		Humedad (15-30)	
T ₁	4522.67	T ₇	8.52
T ₁₁	4477.00	T ₃	7.97
T ₉	4388.00	T ₁₃	7.46
T ₈	4252.67	T ₁	7.37
T ₂	4024.00	T ₅	6.12
T ₆	3986.00	T ₄	5.90
T ₁₀	3946.67	T ₁₁	5.66
T ₇	3752.67	T ₉	5.58
T ₃	3742.67	T ₂	4.75
T ₅	3437.33	T ₁₀	4.66
T ₄	2928.67	T ₈	4.27
T ₁₂	2510.00	T ₆	4.06
		T ₂	3.26

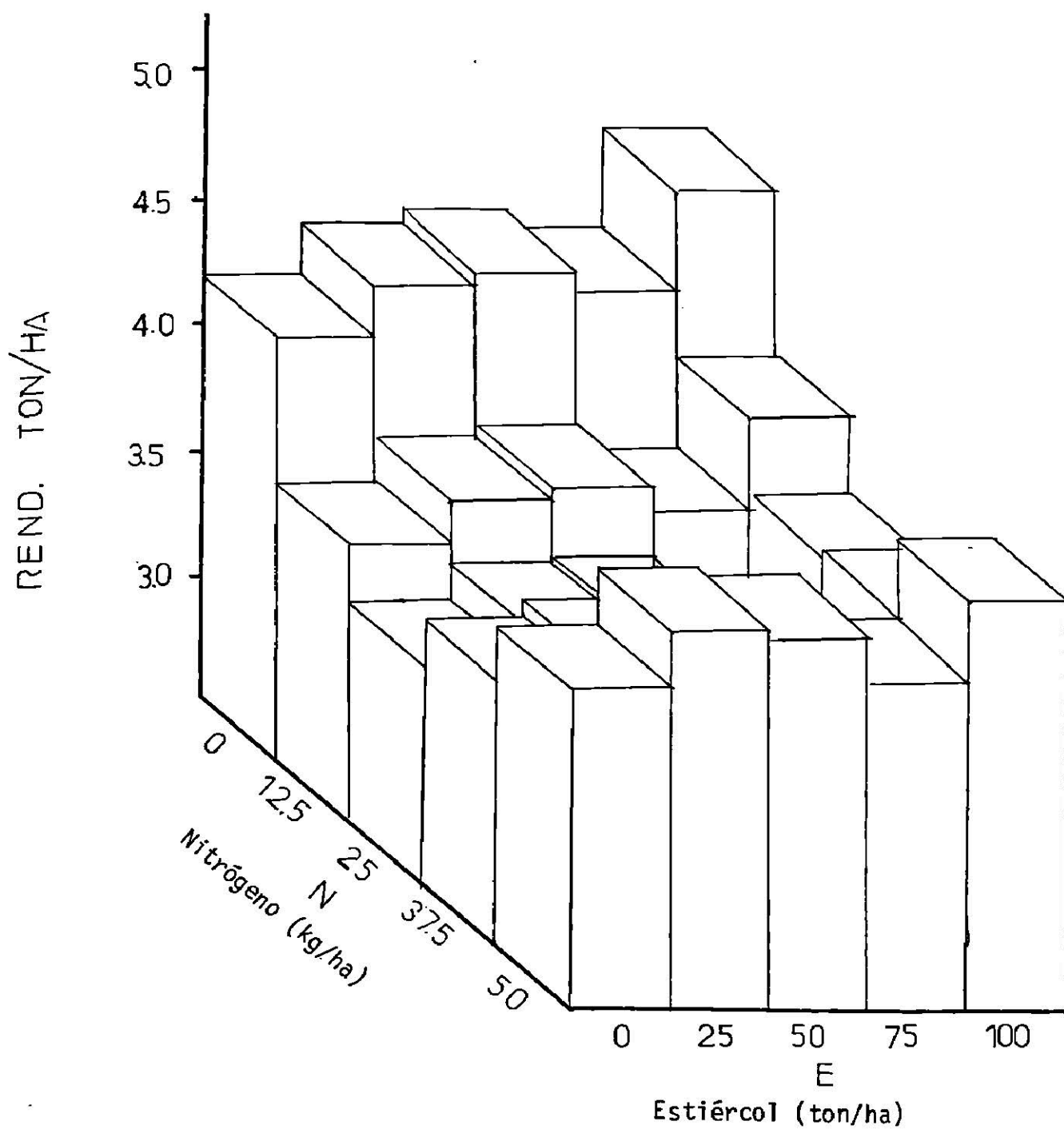


Figura 7. Respuesta al rendimiento cuando el N y E se presentan a diferentes niveles, con modelo codificado a los 856 días.

Tabla 7. Listado de los modelos completos de las variables significativas a los 856 días.

	Rend. (kg/ha)	H° (15-30 cm)
β_0	4186.317	6.610915
β_1	10.54728	-0.03809864
β_2	-59.09813	-0.02731188
β_3	-0.1100555	0.0003289402
β_4	1.092184	0.0007038830
β_5	-0.06883061	
Sig.	**	*
R^2	0.16656	0.06077
C.M.E.	46111.125	2.882

Tabla 8. Listado de los modelos codificados de las variables significativas a los 856 días.

	Rend. (kg/ha)	H° (15-30 cm)
β_0	3557.666	5.267007
β_1	-54.47594	-0.1166131
β_2	-99.13070	0.1616608
β_3	-68.78477	0.1067507
β_4	170.6536	0.1470049
β_5	-21.50960	0.05386421
R	0.16656	0.5005
Sig.	NS	NS

Rend = Rendimiento (kilogramos/hectárea)

H° = Humedad

lizar la prueba de falta de ajuste, lo cual nos indicó que el modelo propuesto no es el indicado, por lo que se procedió a encontrar un modelo adecuado de acuerdo a las regresiones posibles y se obtuvo una $R^2 = 0.06077$ para el mejor modelo reducido que es el siguiente:

$$Y = 8.610915 - 0.03809864 X_1 - 0.02731188 X_2 + 0.0003289402 X_1^2 + 0.0007038830 X_2^2$$

Para propósitos de investigación, se procedió a obtener un modelo con datos codificados y obteniendo así un modelo (Tabla 8) para poder observar la respuesta estimada a la fertilización para el trigo, cuya respuesta no fue lo que se esperaba.

Esta variable se analizó con una sola toma de muestras de suelo, por tal motivo estos datos están incompletos, ya que era necesario tomar varias muestras a diferentes intervalos de tiempo y profundidades para observar las variaciones que podrían manifestarse en el contenido de humedad.

Se realizó un análisis de correlación en donde la variable altura, se correlacionó con la variable materia orgánica de 0-15 cm en forma significativa ($P \leq 0.05$) con un 0.3115, lo que indica de que si aumenta el contenido de materia orgánica, aumentará también la altura.

Para fines del presente experimento, se procedió a realizar una comparación de modelos de regresión para ciertas variables, con el fin de observar la relación que guardan las variables propuestas. Los modelos de regresión que se propusieron son: Regresión Lineal, Regresión Cuadrática, Regresión Exponencial y Regresión Logarítmica, cuyos valores de R^2 obtenidos son muy bajos. En la Tabla 9 se resumen los resultados de las regre

siones propuestas, mostrando solamente el valor más alto de la R^2 de los cuatro modelos en cada relación de las variables propuestas.

Resultados obtenidos de las evaluaciones de los diferentes ciclos

En la Tabla 10 se muestran las variables que resultaron significativas a los 360 días después de la incorporación del estiércol.

La variable de modulo de Ruptura de 0-15 cm, resultó altamente significativa ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos probados. Se llevó a cabo la comparación múltiple de medias mediante el método de Tuckey (Tabla 11). Por medio de regresión lineal simple se encontró el modelo cuadrático que explica el 70% de la variación ($R^2 = 0.70104$). En la Tabla 10 se muestra el modelo propuesto para esta variable y en la Figura 8 se observa la respuesta de la aplicación de estiércol y nitrógeno con respecto al modulo de ruptura. Se puede apreciar que cuando se aumenta la dosis de estiércol y nitrógeno, la resistencia del suelo a la ruptura es mucho menor, cuando la cantidad de estiércol es baja, es necesario aplicar mucho mayor fuerza para que sufra ruptura el suelo. La mejor dosis se puede ver que es la de 100 ton/ha de estiércol y 50 kg/ha de nitrógeno para que el suelo sufra ruptura con muy poca fuerza. En la figura podemos ver que a medida que se disminuye la dosis de estiércol, es necesaria más fuerza para poder realizar ruptura en el suelo.

Posteriormente se realizó la prueba de ajuste, la cual nos indica que el modelo propuesto no se ajusta a la distribución de los datos encontrados. Utilizando el procedimiento de todas las regresiones posibles, se encontró que solamente el efecto lineal del estiércol y el de la interacción estiércol-nitrógeno tuvieron mayor influencia significativa (Tabla 12).

Tabla 9. Resumen de modelos de regresiones para ciertas variables.

	Regresión Lineal	Regresión Cuadrática	Regresión Exponencial	Regresión Logarítmica
X10 vs X16				0.06948
X11 vs X07		0.04412		
X13 vs X09		0.06067		
X13 vs X10		0.08384		
X13 vs X11				0.09449
X14 vs X02				0.11554
X18 vs X09		0.06485		
X19 vs X12				0.14370
X20 vs X09				0.10183
X20 vs X10		0.10209		

Tabla 10. Listado de los modelos ajustados de las variables significativas a los 360 días.

	L.M.R.	P.G.P.U..	P.M.S.P.	P.G.P.	L.P.
β_0	3.613726	1.218746	20.95127	14.84371	3.396121
β_1	-0.01564832	0.01024061	0.5263078	0.2269051	-0.00522863
β_2	0.0286157	0.01757969	0.2716639	0.05207741	0.003737739
β_3	0.00007191422	-0.000073934	-0.004007139	0.0018093	0.000005863
β_4	-0.0003630086	0.000312796	-0.003361907	-0.000496	-0.000142145
β_5	-0.0002874195	0.000027654	-0.0005913707	0.0000407	0.00004106
R^2	0.70104	0.50226	0.49966	0.4457	0.32953
Sig.	**	**	**	**	*

L.M.R. = Lectura modulo de ruptura

P.G.P.U.= Peso del grano por parcela útil

P.M.S.P= Peso de la materia seca por planta

L.P. = Lecturas del penetrómetro

P.G.P. = Peso de grano por planta

Tabla 11. Resumen de las pruebas de Tuckey y Duncan de las variables con diferencia significativa entre tratamientos. A los 360 días de incorporado el estiércol.

Trat.	Var. X09		Var. X12		Var. X13		Var. X14		Var. X17	
	Medias	Trat.	Medias	Trat.	Medias	Trat.	Medias	Trat.	Medias	Trat.
3	4.20	13	1.59	8	24.69	7	43.83	1	3.452	
4	3.97	11	1.56	7	23.77	8	45.00	4	3.383	
5	3.93	8	1.51	5	22.55	12	40.00	5	3.314	
2	3.75	9	1.50	6	21.96	5	29.17	2	3.314	
1	3.61	6	1.50	12	21.14	6	37.50	7	3.245	
9	2.93	10	1.49	13	20.82	9	37.50	8	3.176	
6	2.85	4	1.32	9	20.56	13	35.83	3	3.176	
11	2.79	5	1.27	11	20.27	11	34.17	12	3.153	
10	2.77	7	1.22	10	19.71	10	33.33	10	3.107	
7	2.71	12	1.19	4	18.54	4	30.77	6	3.084	
8	2.59	1	1.17	2	17.08	2	26.67	11	3.015	
12	2.51	3	1.07	1	14.73	3	23.33	13.	2.876	
13	1.88	2	1.06	3	14.30	1	21.67	9	2.854	

X09 = Lectura módulo de ruptura 0-15 cm
X12 = Peso de grano por parcela útil
X13 = Peso de grano por planta
X14 = Peso de la materia seca por planta
X17 = Lectura de penetrometro

Se encontró una diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) en la variable peso de grano por parcela útil entre los tratamientos probados. Se realizó la comparación múltiple de medias mediante el método Duncan (Tabla 11). El modelo propuesto para esta variable se muestra en la Tabla 10, obtenido por regresión lineal simple con solo 50% de variación ($R^2=0.50226$). En la Figura 9 se puede apreciar como el rendimiento va aumentando conforme se aumenta la dosis de estiércol. Los mejores rendimientos que se obtienen son con la combinación de altas dosis de estiércol y nitrógeno. La mejor combinación que se presenta es la de 50 ton/ha de estiércol y 50 kg/ha de nitrógeno, que nos da un rendimiento de 3.27 ton/ha y la combinación que más bajos rendimientos produce es la de 25 ton/ha y 0 kg/ha de estiércol y nitrógeno respectivamente, con una respuesta de 1.42 ton/ha. Se puede ver claramente que después de 360 días de haber incorporado el estiércol, el efecto de éste aún está presente.

Con la prueba de falta de ajuste que se realizó, se concluyó que el modelo propuesto no se ajusta a los datos encontrados. Por medio de todas las regresiones posibles, se encontró que solamente el efecto lineal y efecto cuadrático del estiércol tuvieron la mayor influencia significativa (Tabla 12).

La variable de peso de grano por planta, resultó con una diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos probados. Se obtuvo la comparación múltiple de medias por medio de Duncan (Tabla 11). En la Figura 10, se puede observar el modelo propuesto, obtenido por medio de regresión lineal simple y solo explica el 50% de la variación ($R^2 = 0.50226$). La Figura 10 nos permite observar como el rendimiento por planta va aumentando conforme se eleva la dosis de estiércol. Con la

Tabla 12. Listado de Modelos Reducidos de las variables significativas a los 360 días.

	M.R. (0-15 cm)	P.P.U. (ton/ha)	P.P.(g)	P.M.S.(g)	L.P.
β_0	3.897094	1.09796	15.64017	24.32232	3.346121
β_1	-0.01171275	-0.0094164	0.2282887	0.527811	-0.0036152
β_2					
β_3		-0.0000587	-0.0183362	-0.0041700	
β_4					
β_5	-0.000157185				
Sig.	**	**	**	**	*
R ²	0.65263	0.36979	0.43086	0.46464	0.28296
C.M.E.	0.20917	0.03873	9.62958	46.878	0.4699

M.R. = Modelo de Ruptura
P.P.U.= Peso de grano de la parcela útil
P.P. = Peso de grano por planta
P.M.S.= Peso de la materia seca por planta
L.P. = Lectura del penetrómetro

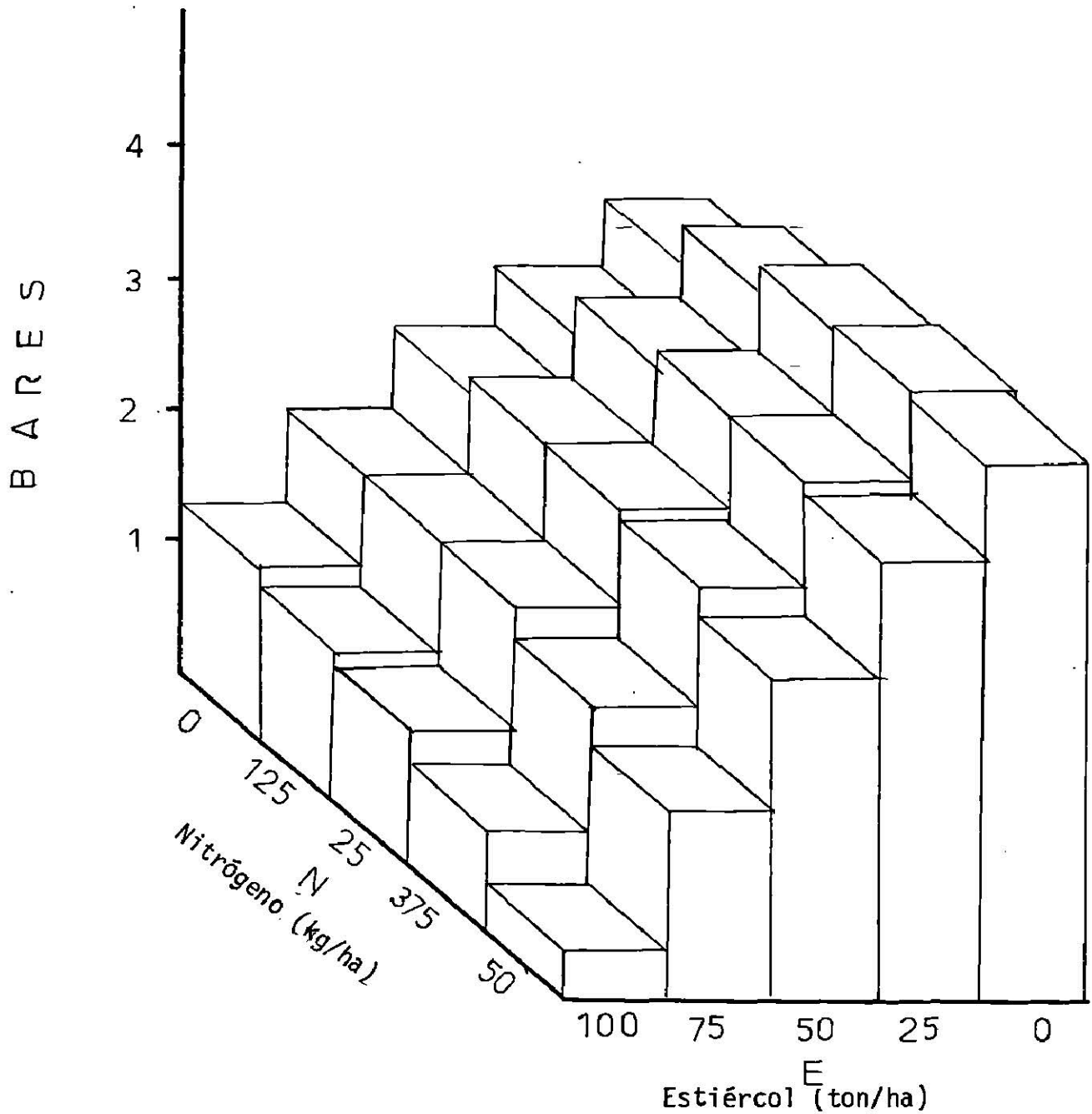


Figura 8. Respuesta del Módulo de Ruptura de 0-15 cm cuando el N y E se presentan a diferentes niveles a los 360 días.

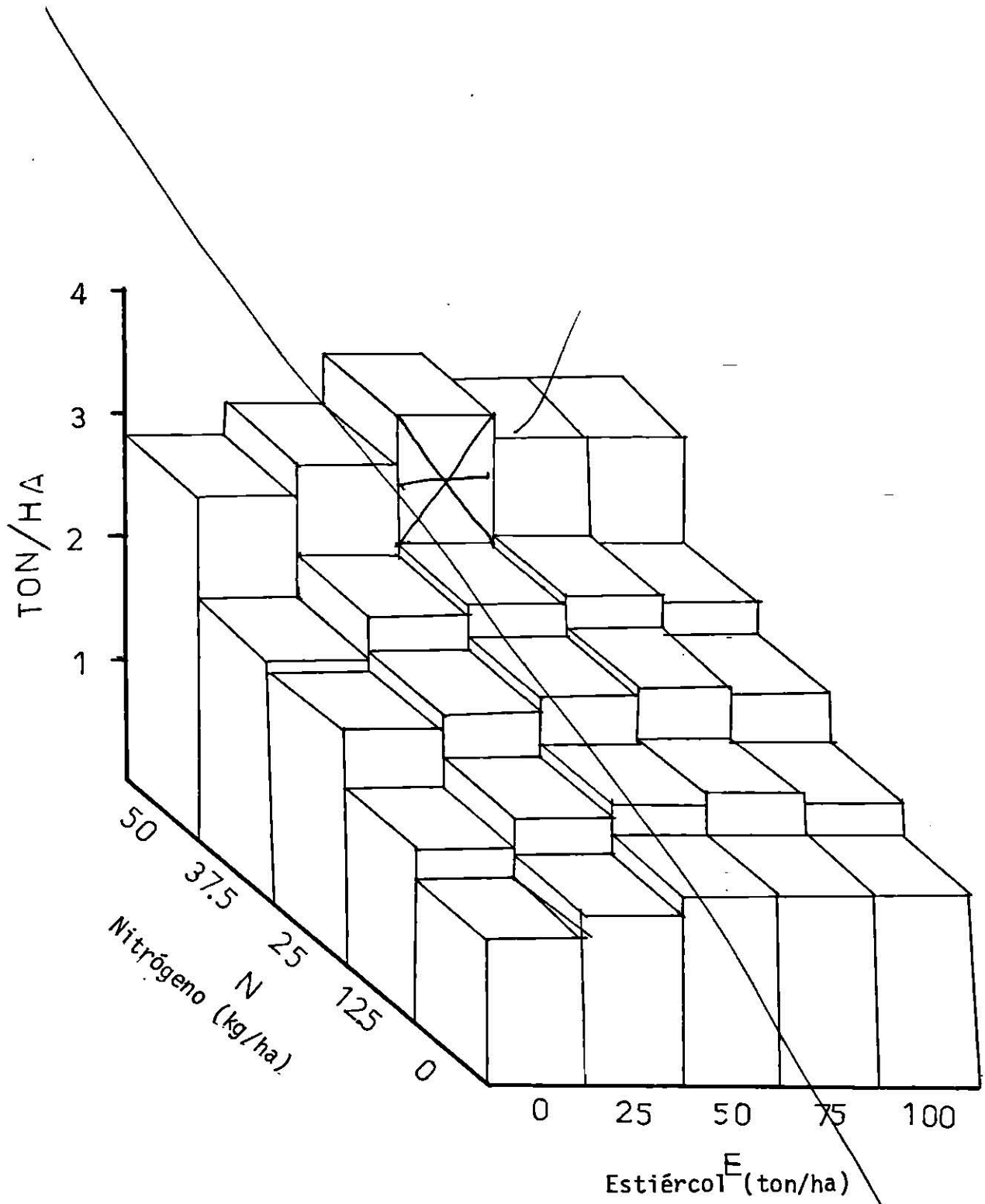


Figura 9. Respuesta del peso de grano por parcela útil, cuando el N y E se presentan a diferentes niveles a los 360 días.

combinación de 50 ton/ha de estiércol y 50 kg/ha de nitrógeno nos da un rendimiento de 22.92 g/planta, mientras que la de 25 ton/ha y 0 kg/ha de estiércol y nitrógeno respectivamente, nos dan un rendimiento bajo de 19.38 g/planta. Se puede apreciar que el aumento de la dosis de estiércol ayuda a incrementar el rendimiento por planta.

Al realizarse la prueba de falta de ajuste, nos indicó que el modelo propuesto no se ajusta, por tal motivo se procedió a la utilización de las regresiones posibles, se concluyó que el efecto lineal y cuadrático del estiércol, ya que ambas tienen un mayor valor significativo (Tabla 12).

Respecto a la variable peso de la materia seca por planta, se encontró una diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) mediante el método de Tuckey se llevó a cabo la comparación múltiple de medias (Tabla 11). Se puede observar el modelo propuesto en la Tabla 10, que propuesto, que mediante la regresión lineal simple se obtuvo y que solo explica el 49.99% ($R^2 = 0.49996$) de la variación total. Las respuestas estimadas para esta variable se muestra en la Figura 11, en donde se puede observar como aumenta el peso de la materia seca por planta, conforme se aumenta la cantidad de estiércol. El máximo de lo obtenido fue de 41.68 gramos, esto es cuando se aplica 75 ton/ha de estiércol y 37.5 kg/ha de nitrógeno. Por otro lado, cuando se aplicó la combinación de 25 ton/ha de estiércol y 0 kg/ha de nitrógeno, solamente se obtuvo un peso de 31.60 gramos, siendo éste el más bajo, los mejores aumentos de peso de materia seca se obtienen cuando se aplica 50 y 75 ton/ha de estiércol, con la combinación del nitrógeno.

El modelo propuesto de acuerdo a la prueba de falta de ajuste, no es el adecuado y que el efecto lineal cuadrático de estiércol son los que

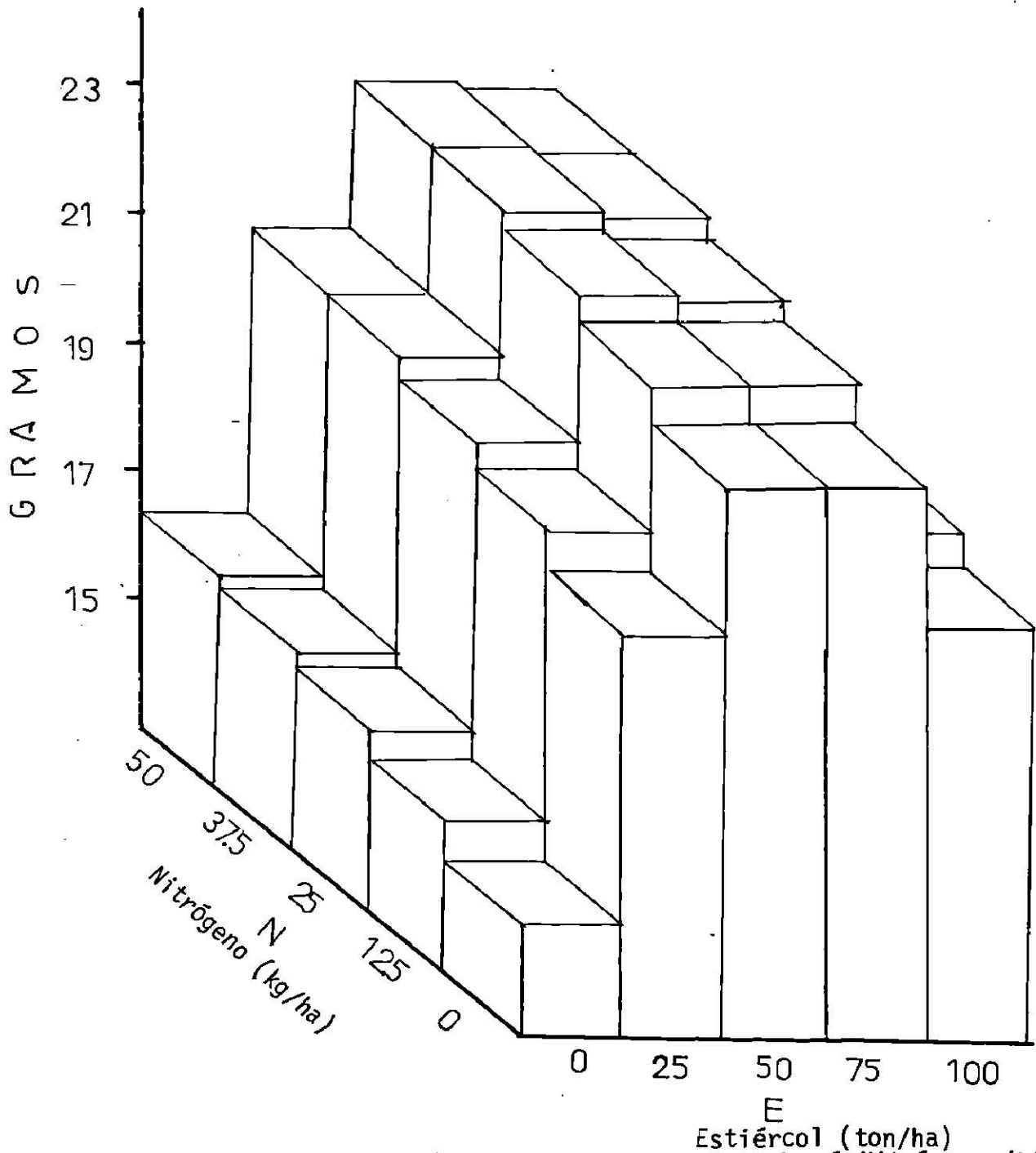


Figura 10. Respuesta del peso de grano por planta cuando el Nitrógeno (N) y Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles a los 360 días.

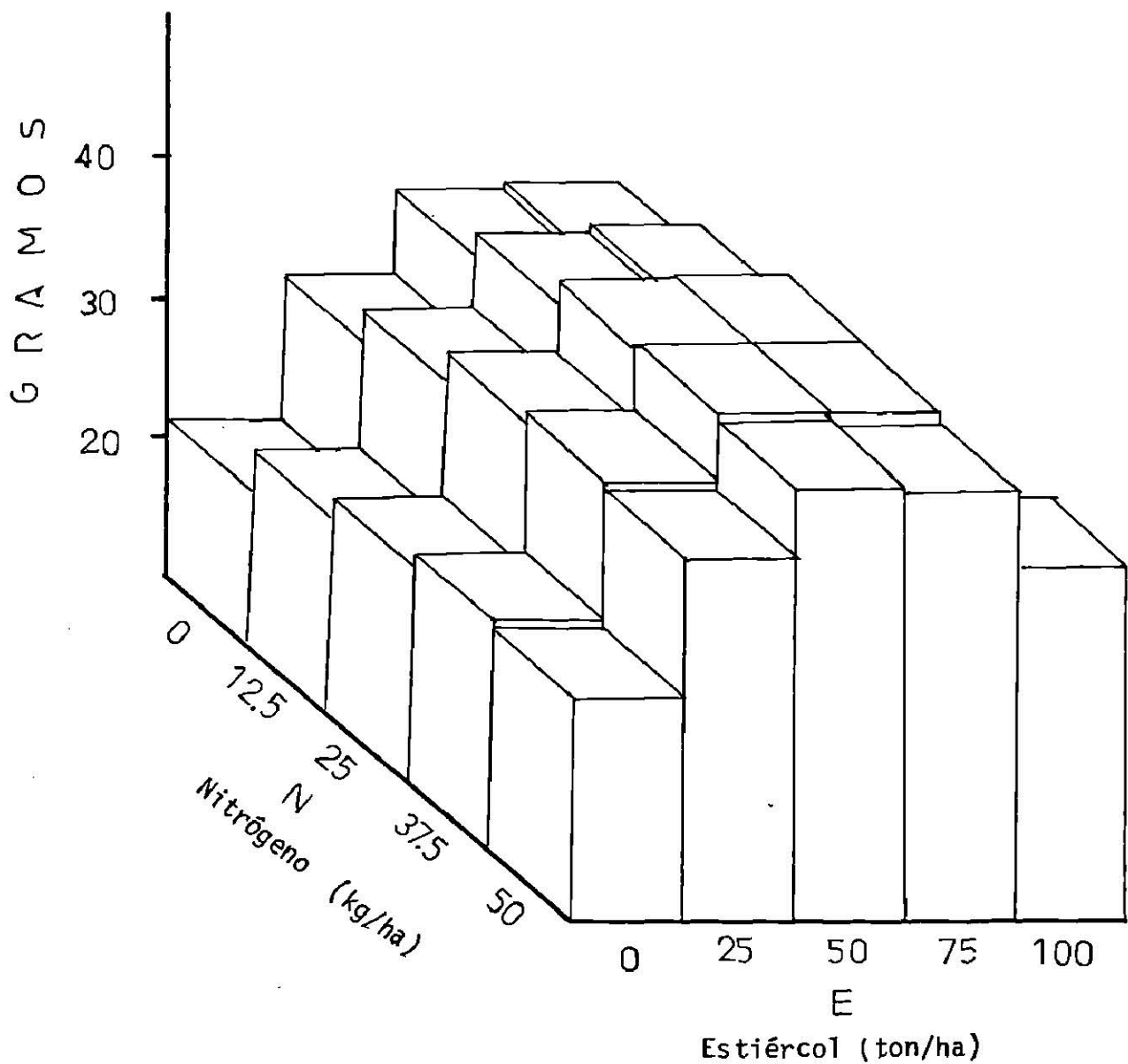


Figura 11. Respuesta del peso de la materia seca por planta cuando el Nitrógeno (N) y Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles a los 360 días.

Tabla 13. Comparación múltiple de medias por Tuckey para las variables significativas a los 501 días.

Lec. Altura	No. de Espigas	Rdto. g/m ²	Rdto. ton/ha
T ₁₃ 5.59	T ₁₁ 649.33	T ₉ 545.33	T ₁₃ 5.34
T ₁₀ 5.56	T ₁₃ 555.00	T ₈ 515.00	T ₁₂ 5.19
T ₈ 5.35	T ₁₀ 548.67	T ₁₀ 495.67	T ₁₀ 4.89
T ₁₁ 5.33	T ₉ 547.00	T ₁₁ 478.00	T ₆ 4.86
T ₁₂ 5.25	T ₇ 524.67	T ₁₂ 473.00	T ₈ 4.69
T ₉ 5.20	T ₈ 521.00	T ₁₃ 463.33	T ₉ 4.23
T ₇ 5.14	T ₁₂ 503.33	T ₆ 457.33	T ₄ 3.91
T ₆ 5.08	T ₆ 500.67	T ₇ 418.00	T ₁₁ 3.85
T ₄ 4.66	T ₄ 421.00	T ₄ 336.33	T ₅ 3.73
T ₂ 4.51	T ₂ 339.67	T ₅ 332.67	T ₂ 3.68
T ₁ 4.21	T ₅ 337.33	T ₂ 302.33	T ₁ 3.50
T ₃ 3.79	T ₁ 330.00	T ₃ 248.33	T ₇ 3.37
	T ₃ 305.33	T ₁ 243.33	T ₃ 2.43

Tabla 14. Listado de los modelos ajustados de las variables significativas a los 501 días (4°Ciclo en trigo).

	Rend. (ton/ha)	Rend. (g/m ²)	No. Esp.	Lect. Alt. (cm)
β_0	3.87433	247.8638	335.2855	4.266031
β_1	0.01461102	6.050642	5.129088	0.0242209
β_2	-0.02689600	-0.3215602	-2.837039	-0.0009676043
β_3	-0.00011929	-0.03647224	-0.02326399	-0.0001540300
β_4	-0.0000721553	0.01171074	0.04987690	-0.00008012137
β_5	0.0005224314	-0.0039843	-0.009098023	0.0001402354
Stg.	*	**	**	**
R ²	0.39691	0.64813	0.70760	0.58204

Rend. (ton/ha) = Rendimiento (toneladas/hectárea)

Rend. (g/m²) = Rendimiento de 1 m² en gramos

No. Esp. = Número de espigas

Lect. Alt. = Lectura de altura

Tabla 15. Listado de los modelos codificados de las variables significativas del 4º ciclo.

	Rend. (ton/ha)	Rend. (g/m ²)	No. Esp.	Lec. Alt. (cm)
β_0	4.265485	453.5152	482.4545	5.193031
β_1	0.3935595	57.59524	64.38095	0.3080953
β_2	0.03541668	0.8095239	-9.976191	0.0254761
β_3	-0.07455898	-22.79518	-14.54004	-0.09626893
β_4	0.01127436	1.829816	7.793289	-0.01251894
β_5	0.1632598	-1.245098	-2.843137	0.04382352
R^2	0.39691	0.64813	0.70760	0.58204
Sig	**	**	**	**

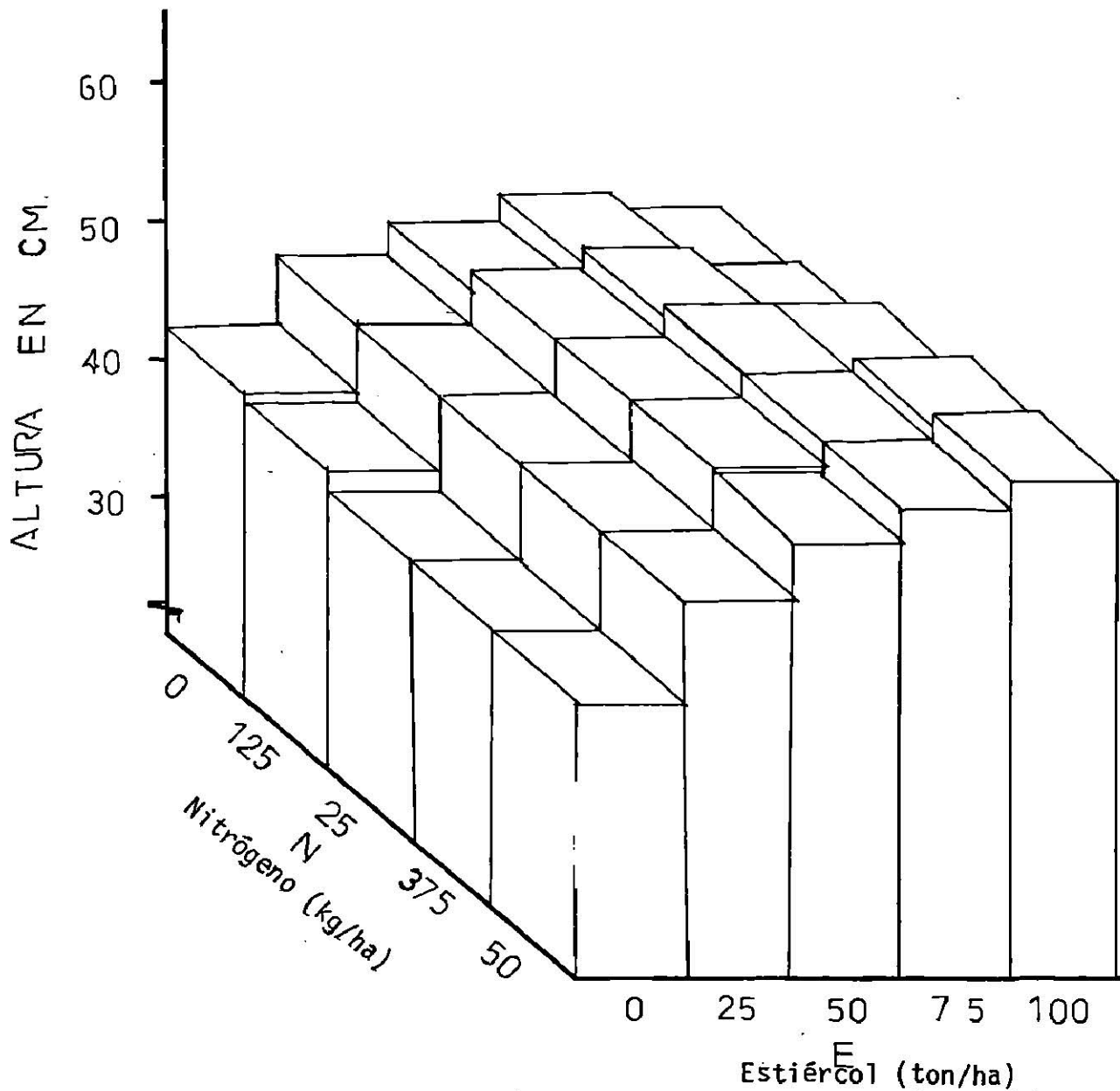


Figura 12. Respuesta a la altura de plantas, cuando el Nitrógeno (N) y Estiércol (E) se presentan a diferentes niveles con el modelo codificado a los 501 días.

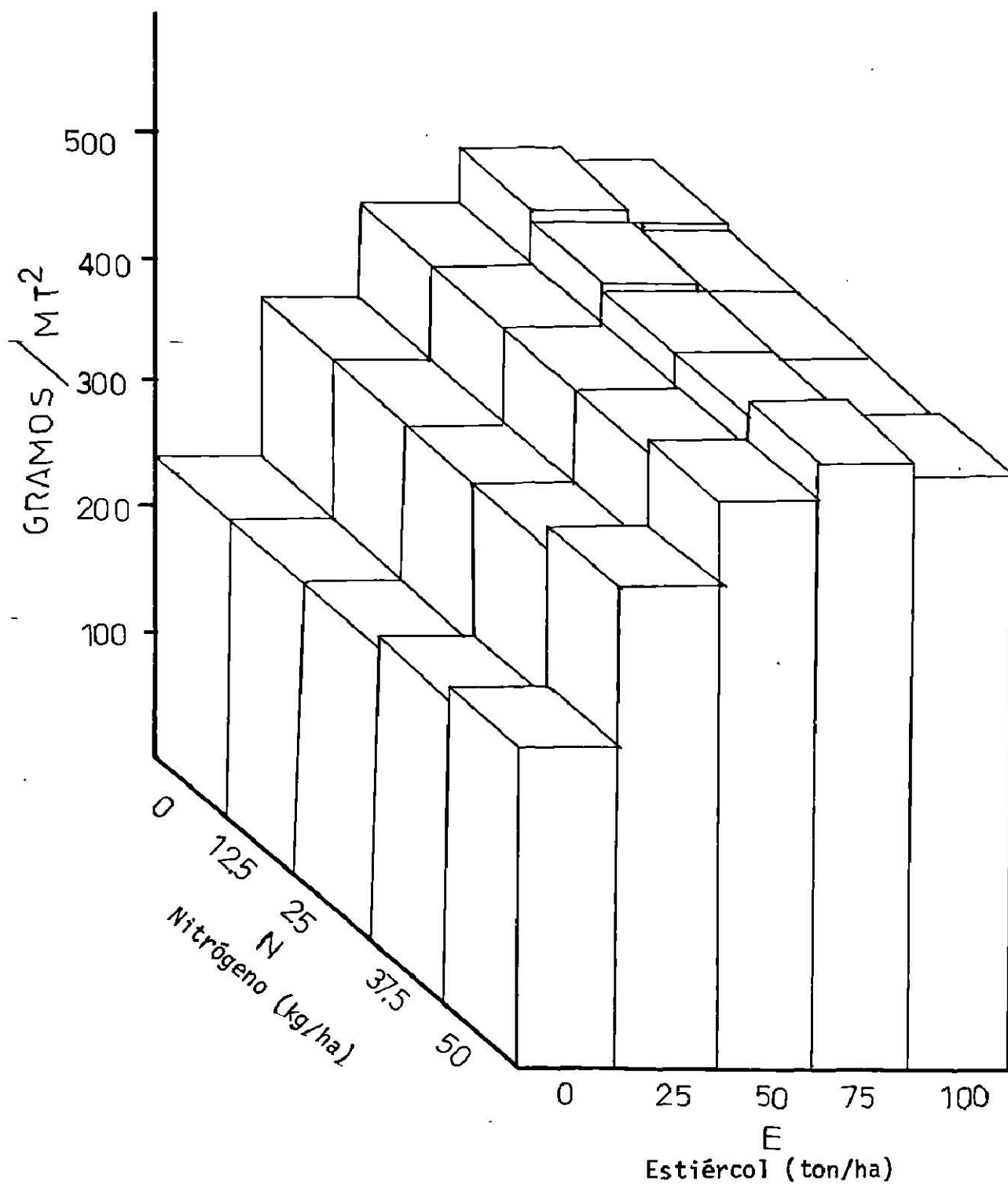


Figura 13. Respuesta al rendimiento gramos/m² cuando el Nitrógeno (N) y estiércol (E) se presentan a diferentes niveles con el modelo codificado a los 501 días.

tienen mayor influencia significativa (Tabla 12).

A los 501 días de la aplicación del estiércol, podemos observar en la Tabla 13 la comparación múltiple de medias por el método Tuckey, de las variables que resultaron significativas.

Mediante el análisis de regresión lineal múltiple, se obtuvieron los modelos para cada variable significativa (Tabla 14). Las respuestas estimadas con estos modelos no fueron muy apropiados o adecuados a los datos que se obtuvieron en el campo, por tal motivo, se procedió a obtener modelos con datos codificados. En la Tabla 15 se muestran los modelos obtenidos para cada variable significativa.

La respuesta estimada para la variable lectura de altura, se muestra en la Figura 12, donde se puede apreciar que la cantidad de estiércol aplicado influye en la altura de la planta. La mayor altura se obtiene con la combinación de 100 ton/ha de estiércol y 50 kg/ha de nitrógeno, que fue de 56.00 cm y la menor altura se obtuvo con la aplicación de 25 ton/ha de estiércol y 0 kg/ha de nitrógeno que fue de 47.75 cm. A medida que se aumenta la dosis de estiércol y de nitrógeno, se tiene mayor respuesta con respecto a la altura. Se procedió a realizar la prueba de falta de ajuste, la cual nos indicó que el modelo se ajusta a los datos obtenidos.

Con respecto a la variable rendimiento por método cuadrado, se presenta en la Figura 13, la respuesta estimada de acuerdo al modelo condificado (Tabla 15). En forma general, se puede apreciar que al ir aumentando la cantidad de estiércol, el rendimiento por metro cuadrado se aumenta. La combinación que nos da un rendimiento de 496.50 gramos que es el más alto es 75 ton/ha de estiércol y 0 kg/ha de nitrógeno, mientras que con 25 ton/ha t 12.5 kg/ha de estiércol y nitrógeno respectivamente se obtie-

ne el rendimiento más bajo que es de 372.89 gramos. La cantidad de 50 kg/ha de nitrógeno es la que más influye en rendimiento, en combinación con la dosis de estiércol. Posteriormente se realizó la prueba de falta de ajuste, la que nos indicó que el modelo se ajusta a los datos obtenidos.

Dosis óptima fisiológica y dosis óptima económica

La dosis optima fisiológica (D.O.F.) a los 360 días se obtuvo mediante la derivación de la ecuación de predicción con respecto al estiércol y al nitrógeno, obteniéndose dos ecuaciones:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 E + \beta_2 N + \beta_3 E^2 - \beta_4 N^2 + \beta_5 EN$$

$$\frac{de}{dy} = \beta_1 + 2\beta_3 E + \beta_5 N$$

$$\frac{dn}{dy} = \beta_2 + 2\beta_4 N + \beta_5 E$$

sustituyendo los valores de β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 (Tabla 10), de la variable peso de grano por planta, las ecuaciones quedan de la siguiente manera:

$$0,2269051 + 0.003618662E + 0.00004078387N$$

$$0,05207741 - 0.0009920042N + 0.00004078387E$$

$$0.003618662E + 0.00004078387N = -0.2269051$$

$$0.0004078307E - 0.0009920042N = -0.05207741$$

procediéndose a resolver las ecuaciones simultáneas con dos incógnitas, se obtuvo la cantidad óptima fisiológica de estiércol y nitrógeno, la cual fue:

$$E = -63,26$$

$$N = 49,896$$

Para poder determinar la dosis óptima económica (D.O.E.) es necesario tomar en cuenta los costos de insumos y precios de garantía de frijol. Para obtener el valor de la D.O.E. se deriva la ecuación de predicción con respecto al estiércol y nitrógeno y la igualamos a la relación inversa de precios (Tabla 18 en Apéndice).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 E + \beta_2 N + \beta_3 E^2 + \beta_4 N^2 + \beta_5 EN$$

$$\beta_1 + 2\beta_3 E + \beta_5 N = \text{RIPE}$$

$$\beta_2 + 2\beta_4 N + \beta_5 E = \text{RIPN}$$

sustituyendo, tenemos:

$$0.2269051 + 0.003618662E + 0.00004078387N = 0.0000540$$

$$0.05207741 - 0.0009920042N + 0.00004078387E = 0.00152$$

resolviendo las ecuaciones simultáneas, obtenemos la cantidad de D.O.E. de estiércol y nitrógeno, la cual fue de:

$$E = -63.23$$

$$N = 48.36$$

En la Tabla 16 se muestran las cantidades de la D.O.F. para los diferentes ciclos analizados y en la Tabla 17 las cantidades de D.O.E.

Tabla 16. Dosis óptima fisiológica del Estiércol (E) y Nitrógeno (N) para los diferentes ciclos analizados.

	D.O.E.			
	E		N	
Frijol (360 días):				
Peso de grano por planta	-63.26	ton/ha	49.896	kg/ha
Trigo (501 días):				
Rendimiento g/m ²	82.10	ton/ha	15.52	kg/ha
Rendimiento ton/ha	162.4	ton/ha	40	kg/ha
Trigo (856 días):				
Rendimiento ton/ha	39.07	ton/ha	28.28	kg/ha

Tabla 17. Dosis óptima económica del Estiércol (E) y Nitrógeno (N) para los diferentes ciclos analizados.

	D.O.E.			
	E		N	
Frijol (360 días):				
Peso de grano por planta	-63.23	ton/ha	48.36	kg/ha
Trigo (501 días):				
Rendimiento g/m ²	82.09	ton/ha	15.57	kg/ha
Rendimiento ton/ha	-18.24	ton/ha	-34.37	kg/ha
Trigo (856 días):				
Rendimiento ton/ha	39.09		28.28	kg/ha

V. CONCLUSIONES

1. A los 856 días (6° ciclo) de incorporado el estiércol caprino, con los datos obtenidos se concluye que existe todavía efecto residual.
2. Después de 856 días (6° ciclo) se manifestó el efecto residual en las variables de rendimiento toneladas por hectárea ($P \leq 0.05$) y humedad 15-30 cm ($P \leq 0.05$).
3. La residualidad del abono a los 360 días (3° ciclo) se manifestó en las variables lectura del módulo de ruptura 0-15 cm ($P \leq 0.01$), peso de grano de la parcela útil en toneladas por hectárea ($P \leq 0.01$), peso de grano por planta en gramos ($P \leq 0.01$), peso de la materia seca por planta en gramos ($P \leq 0.01$) y en la lectura del penetrómetro ($P \leq 0.05$).
4. A los 510 días (4° ciclo) de incorporado el estiércol, el efecto residual se manifestó en las variables de lectura de altura en centímetros ($P \leq 0.01$), número de espiga ($P \leq 0.01$), rendimiento en gramos por metro cuadrado ($P \leq 0.01$), rendimiento en toneladas por hectárea ($P \leq 0.05$).
5. A los 856 días (6° ciclo) de incorporado el estiércol, se encontró que la variable altura, está correlacionada con el contenido de materia orgánica, lo que indica que a mayor cantidad de materia orgánica influirá en la altura.
6. En general, a los 360 días (3° ciclo) de incorporado el estiércol, el tratamiento 8 (50 ton/ha de estiércol y 50 kg/ha de nitrógeno) fue el mejor.

7. A los 510 días (4° ciclo) de incorporado el estiércol en la variable rendimiento en gramos por metro cuadrado, los mejores tratamientos que mostraron mejor efecto son el 13 (100 ton/ha de estiércol y 50 kg/ha de nitrógeno), 11 (75 ton/ha de estiércol y 37.5 kg/ha de nitrógeno), 8 (50 ton/ha de estiércol y 50 kg/ha de nitrógeno).
8. Se observó que a los 360 días (3° ciclo) de incorporado el estiércol el efecto residual se manifestó claramente en la variable módulo de ruptura 0-15 cm, ya que a medida que se aumentó la cantidad de estiércol, la fuerza de ruptura disminuye, siendo el tratamiento 13 (100 ton/ha de estiércol y 50 kg/ha de nitrógeno) el que nos dá los mejores resultados.
9. A los 360 días (3° ciclo) de incorporado el estiércol, se observó que los tratamientos con 50 y 75 ton/ha de estiércol son los que manifiestan mayor influencia en la producción de materia seca por planta.
10. A los 856 días (6° ciclo) de incorporado el estiércol, se observa que el efecto del estiércol va disminuyendo, debido a que los rendimientos estimados varían, aún y cuando la dosis de estiércol sea alta.
11. Se encontró a los 501 días (4° ciclo) una dosis óptima económica de 82.09 ton/ha de estiércol y 15.57 kg/ha de nitrógeno para el rendimiento por metro cuadrado.
12. A los 856 días (6° ciclo) de incorporado el estiércol, se encontró que la dosis óptima económica es de 39.09 ton/ha de estiércol y 28.28 kg/ha de nitrógeno para el rendimiento en toneladas por hectárea.

13. A los 856 días (6° ciclo) de incorporado el estiércol, no se manifestó una disminución en el módulo de ruptura.

VI. BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ACOSTA S., R. 1975. Efecto residual de las aplicaciones de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la producción de cosecha. VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México. 1:341.
2. AGUIRRE C., J.E. 1982. Prácticas de campo y laboratorio para análisis de suelos. Facultad de Agronomía de la UANL. Marín, N.L. p. 42.
3. ALEXANDER, M. 1980. Introducción a la Microbiología del Suelo. Editor AGT. S.A. pp. 23-24.
4. BAVER, C.D. 1930. The effect of organic matter upon several physical properties of soil. Jour. Amer. Soc. Agr. 22(8):704.
5. BAVER, L.D.; Q.H. GARDNER; W.R. GARDNER. 1973. Física de Suelos. Ed. Hispano-Americana. 1a. edición. México. pp. 78, 138, 232.
6. BLASCO, L.M. 1981. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura OEA (IICA). Colegio Superior de Agricultura Tropical. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. pp. 2-3.
7. BUCKMAN, H.O. 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simon, S.A. España. p. 427.
8. BUOL, S.W.; F.D. HOLE; R.J. McCRAKEN. 1981. Genesis y Clasificación de Suelos. Ed. Trillas. México. p. 89.
9. CAMPOS de J.S., M.G. ANAYA. 1973. Efecto de la captación de lluvia, estiércol y rastrojos sobre la humedad del suelo y producción de la asociación maíz-frijol. Agrociencia. 52:45-62.
10. CERVANTES, S.T. 1978. Análisis de los recursos genéticos disponibles a México. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. p. 95.
11. DUCHAUFOUR, D. 1975. Manual de Edafología. Ed. Toray-Masson, S.A. Barcelona, España. Pp. 124, 134.
12. 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 de frijol (Phaseolus vulgaris). Tesis FAUANL. pp. 41, 45, 46, 59.

13. FASSBENDER, H.W. 1975. Química de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. pp. 97, 119, 121.
14. FISTZPATRICK, E.A. 1978. Introducción a la ciencia del suelo. Traducido por Gaudencio F.M. Ed. Publicaciones Cultura. México. 75-76.
15. GARZA, M. 1954. Trigos españoles. Instituto de Investigaciones Agronómicas. España. p. 25.
16. GAUCHE, G. 1971. El suelo. tratado de pedología agrícola y sus características agronómicas. Ed. Omega. Barcelona. pp. 534-535.
17. GAVANDE, A.S. 1972. Física de suelos, principios y aplicaciones. Ed. Limusa-Wiley, S.A. México. p. 163.
18. GONZALEZ, N.J. 1984. Efecto de encostramiento de los suelos en la germinación y emergencia de las plántulas. Seminario de Tesis FAUANL. p.
19. GROS, A. 1976. Abonos, guía práctica de la fertilización. Traducido por A. Domingo V., Sexta edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 53-54.
20. HARDY, F. 1970. Edafología Tropical. Traducido por Rufo B. Ed. Herrero. Hnos Sucs., S.A. México. pp. 152-153.
21. HENIN, S.; R. GRAS; G. MONIER. 1972. El perfil cultural. Estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi-Prensa. p. 283.
22. KRAMER, R.J. 1974. Relaciones hídricas de suelo y plantas. Traducido por Leonor T. Ed. Edutex. México. p. 64.
23. LEON, A.R. 1984. Nueva Edafología. Ed. Grupo Gaceta, S.A. México. p. 50.
24. Maiti, R.K. 1986. Morfología, Crecimiento y Desarrollo del Sorgo. Colegio de Graduados, FAUANL. p. 1-23.
25. MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO. 1974. VII Guajajuato Gto., Evaluación de residuos orgánicos establecidos (compost) objetivos del basurero de Monterrey, N.L., desde el punto de vista de su utilización agrícola 2:210-211.

26. MILLARD, C.E.; L.M. TURK; H.D. FOTH. 1971. Fundamentos de la Ciencia. CECSA. México pp. 14, 52, 71, 225.
27. MORRE, T.R. 1981. Controls on the decomposition of organic matter in subarctic sprocce-lichen woodland soil. Soil Sci. 131:(2)107-112.
28. NUÑEZ R., J. 1986. Problemas del encostramiento del suelo en relación con la producción de algunos cultivos básicos en Galeana, N.L. Tesis FAUANAL. pp. 26-27, 32.
29. ORTIZ V., B. 1975. Edafología. Escuela Nacional de Agricultura (UACH) Chapingo, México. pp. 17, 59-60, 67, 76, 78, 95, 96-98, 99, 100, 102, 143.
30. PARRA S., J.M. 1985. Efecto de la residualidad de la gallinaza en el cultivo del trigo (Triticum vulgare) en suelos de Marín, N.L. Tesis FAUANL. pp. 11, 13-14, 23-30.
31. POELHMAN, J.M. 1965. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Ed. Limusa-Wiley, S.A. México. p. 124.
32. RICO M., J.M. 1981. Estiercoles como aportadores de nitrógeno al suelo. FAUANL. pp. 2-3, 7-8, 13.
33. ROBLES S., R. 1976. Producción de granos y forrajes. Ed. Limusa. México. pp. 185, 193-196.
34. RUIZ O., M. 1975. Tratado elemental de Botánica. 13a. edición. Ed. ECLALSA. México. p. 594.
35. SAUCEDO Q., F.A. 1986. Efecto residual del abonado con una interacción 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 de trigo (Triticum aestivum) bajo riego en Marín, N.L. Tesis FAUANL. pp. 89 y 91.
36. TAMHAME, R.V.; D.P. MOTIRAMANI y S.P. BALI. 1978. Suelos: su química y fertilidad en suelos tropicales. Ed. Diana. México. p.
37. THOMPSON, L.M. 1962. El suelo y su fertilidad. Ed. Reverte. México. pp. 36-37, 88-92.

38. TISDALE, S.L. y W.L. NELSON. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. UTEHA. México., D.F. pp. 146-170, 445.
39. WOODING R., G. 1967. Los suelos su origen, constitución y clasificación. Introducción a la Edafología. Ed. OMEGA, S.A. Barcelona. pp. 234-239.

VII. APENDICE

Tabla 1. Resumen de los principales parámetros estadísticos de las variables estudiadas en el presente experimento.

Variable	Media Graí.	Mínimo	Máximo	Desviación Estandar
X01	268.333	158.00	484.00	71.213
X02	2.008	1.155	2.973	0.387
X03	323.189	175.000	485.000	70.617
X04	15.945	11.800	18.600	1.640
X05	33.073	24.700	54.750	4.576
X06	47.450	29.200	54.750	5.484
X07	2.321	1.360	3.105	0.377
X08	2.101	1.360	2.760	0.294
X09	7.562	7.080	7.860	0.263
X10	7.545	6.950	7.840	0.279
X11	1.349	0.900	2.000	0.266
X12	1.303	0.700	2.000	0.305
X13	1.377	1.023	1.935	0.299
X14	1.338	1.012	1.796	0.216
X15	3777.676	1340.000	5120.000	854.454
X16	266.973	127.000	441.000	66.578
X17	321.108	120.000	756.000	142.466
X18	1.652	0.868	2.854	0.471
X19	1.705	0.896	2.973	0.439
X20	6.788	2.252	15.697	3.497
X21	5.814	2.203	9.572	2.122

Tabla 2. Datos climáticos registrados durante el experimento.

Días	Diciembre		Enero		Febrero		Marzo		Abril	
	T°C	pp(mm)	T°C	pp(mm)	T°C	pp(mm)	T°C	pp(mm)	T°C	pp(mm)
1	21.0		13.0		20.5		14.5		24.3	
2	11.5		13.5		20.5		19.0		27.0	
3	10.0		12.0		22.0		22.0		26.0	
4	15.0		18.5		17.0		19.0	9.8	25.7	
5	15.5		12.0		18.0		20.3		26.0	
6	10.5		10.5		15.5		21.1		25.5	
7	13.5		15.0		15.0		20.0		26.0	
8	15.2		3.5		16.5		22.5		26.5	
9	20.0		7.0		10.0	0.6	26.0		24.3	
10	20.0		9.0		10.0		21.60		24.2	
11	19.5		11.0		6.5		28.0		26.0	
12	7.5		12.5		6.3	1.7	24.5		29.0	
13	8.0		12.0		10.0	0.2	23.5		29.5	
14	5.5		11.0		18.5		22.0		28.0	
15	7.2		12.0		22.0		22.5		24.0	
16	8.5		15.0		24.0		22.0		22.5	
17	9.5		17.0		28.0		25.5		25.5	
18	15.2		18.0		23.5		23.0		24.0	
19	9.5		18.5		27.0		16.5		28.0	
20	10.8	2.6	17.5		25.0		17.0		25.5	
21	14.0	3.8	18.5		19.0		14.0		25.0	
22	16.2		18.0		19.0		17.0		24.0	
23	17.2		16.0		14.5		18.0		23.0	
24	14.0		19.0		19.0		20.0		24.0	
25	9.0		18.5		19.3		21.3		25.0	
26	13.2		16.0		22.5		22.0		25.5	
27	15.2		9.0		20.3		22.0		28.5	
28	15.0		12.0		16.5		23.5		26.0	11.4
29	7.3		19.0				22.0		24.0	12.5
30	20.0		18.0				22.3		24.0	
31	20.5		18.0				24.0			

DOSIS OPTIMA ECONOMICA

Para la obtención de la D.O.E. se tomaron en cuenta los costos de los insumos (estiércol y nitrógeno), así como el precio del producto.

Para calcular el costo de aplicación del estiércol se consideró que para la aplicación de una tonelada de estiércol se requiere un día, tres hombres, siendo el sueldo mínimo de \$416.00 por día, dándonos en total \$1,248.00 más \$200.00 de gastos de acarreo.

Para calcular el costo del nitrógeno usando como fuente Sulfato de Amonio (S.A.) que tiene 20.5% de N. El costo de una tonelada de S.A. fue de \$6,986.00, con lo cual tenemos que 1 kg de nitrógeno cuesta \$34.07; más los costos de aplicación y acarreo de 1 ton de S.A. fueron de \$1,390.00

El precio de garantía del frijol en noviembre de 1984 fue de \$29,500.00; más costos de cosecha y acarreo fue de \$2,650.00. El precio de garantía del trigo en mayo de 1985 fue de \$37,000.00 más los costos de cosecha y acarreo fue de \$6,000.00. El precio de garantía del trigo en Mayo de 1986 fue de \$53,000.00 más los costos de cosecha y acarreo fue de \$8,600.00.

Valores y costos unitarios utilizados en los análisis de D.O.E.

Costo de 1 kg de N (S.A.)	\$ 34.07
Costo de aplicación y acarreo de 1 kg N.	<u>6.78</u>
	\$ <u>40.85</u>
Costo de 1 kg de estiércol	\$ 1.25
Costo de aplicación y acarreo de 1 kg de estiércol.	<u>0.20</u>
	<u><u>\$ 1.45</u></u>
Precio de 1 ton de frijol (Nov. 1984)	\$29,500.00
Costo de cosecha y acarreo de 1 ton de frijol.	<u>2,650.00</u>
	<u><u>\$26,850.00</u></u>
Precio de 1 ton de trigo (mayo 1985)	\$37,000.00
Costo de cosecha y acarreo de 1 ton de trigo	<u>6,000.00</u>
	<u><u>\$31,000.00</u></u>
	<u>=====</u>

Precio de 1 ton de trigo (mayo 1986)	\$53,000.00
Costo de cosecha y acarreo de 1 ton de trigo	<u>8,600.00</u>
	<u>\$44,400.00</u>
	=====

Después de haber obtenido estos costos, se derivó la ecuación de predicción con respecto al estiércol y el nitrógeno y se igualó a la relación inversa de precios del estiércol (RIPE) y del nitrógeno (RIPN).

$$\text{RIPE} = \beta_1 + 2\beta_3E + \beta_5N$$

$$\text{RIPN} = \beta_2 + 2\beta_4N + \beta_5E$$

Tabla 4. Procedimiento utilizado para la obtención de la relación inversa de precios (RIP) para los diferentes ciclos.

Frijol (360 días)	
RIPE	RIPN
$\frac{1.45}{26850} = 0.0000540$	$\frac{40.85}{26850} = 0.00152$
Trigo (502 días)	
$\frac{1.45}{31000} = 0.0000467$	$\frac{40.85}{31000} = 0.00131$
Trigo (856 días)	
$\frac{1.45}{44400} = 0.0000327$	$\frac{40.85}{31000} = 0.00092$

