

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



EFFECTO RESIDUAL DEL ESTIERCOL DE VACUNO, EN
ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO
Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO DEL TRIGO
AL SEXTO CICLO DE EVALUACION, EN MARIN, N. L.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

LUDIVINA MENCHACA MARIN

MARIN, N. L.

OCTUBRE DE 1987

T
SB191
.W5
M45
c.1



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



EFFECTO RESIDUAL DEL ESTIERCOL DE VACUNO, EN
ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO
Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO DEL TRIGO
AL SEXTO CICLO DE EVALUACION, EN MARIN, N. L.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA

LUDIVINA MENCHACA MARIN

MARIN, N. L.

OCTUBRE DE 1987

7603

[Handwritten signature]

T
SB 191
.W5
M45

040.633
FA 18
1987
C.5



Biblioteca Central
Magna Solidaridad



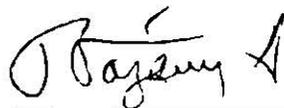
BUNOI RANGEL FILAS
UANL
FONDO
TESIS LICENCIATURA

Handwritten signature or mark, possibly "Hesys".

EFFECTO RESIDUAL DEL ESTIERCOL DE VACUNO, EN ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO DEL TRIGO AL SEXTO CICLO DE EVALUACION, EN MARIN, N.L.

TESIS QUE PRESENTA LUDIVINA MENCHACA MARIN, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA.

COMISION REVISORA



Ph.D. RIGOBERTO E. VAZQUEZ ALVARADO
Asesor Principal



ING. M.C. FRANCISCO RODRIGUEZ ESQUIVEL
Asesor Auxiliar

ING. JOSE LUIS TAPIA RIVERA
Asesor Auxiliar

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES:

DANIEL MENCHACA PUENTE

MA. LUISA MARIN DE MENCHACA

Con amor. A quienes estaré eternamente
agradecida, por su apoyo y confianza
que me han brindado siempre.

A MIS HERMANOS:

Consuelo y Sergio

Jose Luis y Amalia

Carlos A.

Leticia y José Angel

Lucía

A MIS SOBRINOS

A MI NOVIO:

JOSE ANTONIO DELGADO RANGEL

Por su comprensión y ayuda

AGRADECIMIENTOS

Al Ph.D. RIGOBERTO VAZQUEZ ALVARADO, asesor principal, quien con su ayuda y sugerencias me guió en el desarrollo de éste trabajo.

Al ING. M.C. FRANCISCO RODRIGUEZ ESQUIVEL, y al ING. JOSE - LUIS TAPIA RIVERA, miembros del comité consejero, por su ayuda en la revisión del presente estudio.

A ANTONIO DURON ALONSO, por su gran ayuda en la realización de los análisis estadísticos del presente estudio.

A JESUS REYHLANDER ALVARADO, por su ayuda brindada en el -- desarrollo del presente estudio.

A ROSA ELIA PEREZ, por su eficiente labor que desempeñó para realizar éste trabajo.

A MI ESCUELA

A MIS MAESTROS

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

INDICE

Pág.

1.	INTRODUCCION.....	1																																			
2.	REVISION DE LITERATURA.....	4																																			
2.1.	Generalidades sobre el Cultivo del Trigo.....	4																																			
2.1.1.	Origen e importancia.....	4																																			
2.1.2.	Taxonomía del trigo.....	5																																			
2.1.3.	Descripción botánica del trigo.....	5																																			
2.1.4.	Fecundación y hábito de crecimiento del trigo.....	8																																			
2.1.5.	Condiciones ecológicas y edáficas.....	8																																			
2.2.	Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos Encos <tr> <td> 2.2.1.</td> <td>Propiedades físicas.....</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td> 2.2.1.1.</td> <td>Estructura.....</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td> 2.2.1.2.</td> <td>Textura.....</td> <td style="text-align: right;">11</td> </tr> <tr> <td> 2.2.1.3.</td> <td>Color.....</td> <td style="text-align: right;">11</td> </tr> <tr> <td> 2.2.1.4.</td> <td>Densidad aparente.....</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> <tr> <td> 2.2.1.5.</td> <td>Infiltración.....</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> <tr> <td> 2.2.1.6.</td> <td>Permeabilidad.....</td> <td style="text-align: right;">14</td> </tr> <tr> <td> 2.2.1.7.</td> <td>Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....</td> <td style="text-align: right;">15</td> </tr> <tr> <td> 2.2.2.</td> <td>Propiedades químicas.....</td> <td style="text-align: right;">15</td> </tr> <tr> <td> 2.2.2.1.</td> <td>Conductividad eléctrica</td> <td style="text-align: right;">16</td> </tr> <tr> <td> 2.2.2.2.</td> <td>Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.).....</td> <td style="text-align: right;">17</td> </tr> <tr> <td> 2.2.2.3.</td> <td>Reacción del suelo (pH).....</td> <td style="text-align: right;">18</td> </tr>	2.2.1.	Propiedades físicas.....	10	2.2.1.1.	Estructura.....	10	2.2.1.2.	Textura.....	11	2.2.1.3.	Color.....	11	2.2.1.4.	Densidad aparente.....	12	2.2.1.5.	Infiltración.....	12	2.2.1.6.	Permeabilidad.....	14	2.2.1.7.	Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....	15	2.2.2.	Propiedades químicas.....	15	2.2.2.1.	Conductividad eléctrica	16	2.2.2.2.	Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.).....	17	2.2.2.3.	Reacción del suelo (pH).....	18
2.2.1.	Propiedades físicas.....	10																																			
2.2.1.1.	Estructura.....	10																																			
2.2.1.2.	Textura.....	11																																			
2.2.1.3.	Color.....	11																																			
2.2.1.4.	Densidad aparente.....	12																																			
2.2.1.5.	Infiltración.....	12																																			
2.2.1.6.	Permeabilidad.....	14																																			
2.2.1.7.	Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....	15																																			
2.2.2.	Propiedades químicas.....	15																																			
2.2.2.1.	Conductividad eléctrica	16																																			
2.2.2.2.	Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.).....	17																																			
2.2.2.3.	Reacción del suelo (pH).....	18																																			

2.2.2.4. Materia orgánica (M.O.).....	18
2.3. La Materia Orgánica del Suelo.....	19
2.3.1. Funciones de la materia orgánica.....	19
2.3.2. Composición general de la materia orgánica.	21
2.3.3. Clases de organismos del suelo que intervie nen en la descomposición de la M.O.....	22
2.3.4. Descomposición de la materia orgánica.....	27
2.3.4.1. Composición del humus.....	28
2.3.4.2. Influencia del medio ambiente en - la descomposición de la materia or gánica.....	29
2.3.5. Ciclo del nitrógeno.....	31
2.4. Encostramiento del Suelo.....	34
2.4.1. Mecanismos de formación de costras.....	34
2.4.2. Factores que determinan la formación de cos tras.....	36
2.4.3. Módulo de ruptura.....	37
2.4.4. Resistencia del suelo a la penetración:pene trómetro.....	38
2.5. Estiércol como Aportador de M.O. al Suelo.....	39
2.5.1. Disponibilidad del estiércol.....	39
2.5.2. Composición del estiércol.....	40
2.5.3. Cuidado y conservación del estiércol.....	42
2.5.4. Efecto residual del estiércol.....	44
2.5.5. Efecto de la aplicación del estiércol en el mejoramiento de las propiedades físicas y -	

	pág.
químicas del suelo.....	46
2.5.5.1. Efecto de la aplicación del es--- tiércol a la estructura del suelo	46
2.5.5.2. Efecto de la aplicación del es--- tiércol sobre el contenido y dis- ponibilidad de nutrientes en el - suelo.....	48
2.5.5.3. Efecto de la aplicación del es--- tiércol sobre la infiltración y - capacidad de retención de agua -- del suelo.....	51
2.5.5.4. Efecto de la aplicación del es--- tiércol sobre la densidad aparen- te del suelo.....	52
2.5.5.5. Efecto de la aplicación del es--- tiércol sobre la capacidad de in- tercambio catiónico (C.I.C.) del- suelo.....	53
2.5.5.6. Efecto de la aplicación del es--- tiércol sobre la conservación del suelo.....	55
3. MATERIALES Y METODOS.....	57
3.1. Localización del Experimento.....	57
3.2. Materiales y Aparatos.....	58
3.3. Procedimientos Experimentales.....	63
3.3.1. Establecimiento del experimento.....	63

	Pág.
3.3.2. Diseño experimental.....	67
3.4. Procedimiento de Recolección de Datos.....	71
3.4.1. Variables con respecto a la planta.....	71
3.4.2. Variables con respecto al suelo.....	72
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	79
5. CONCLUSIONES.....	99
6. RESUMEN.....	102
7. SUMMARY.....	104
8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	107
9. APENDICE.....	114

15	Resumen de las correlaciones llevadas a cabo en las variables estudiadas.....	117
16	Procedimiento utilizado para la obtención de la relación inversa de precios (RIP) en frijol y trigo..	122

FIGURAS

Figuras del texto:

1	Ciclo del Nitrógeno (Fuente: Tisdale y Nelson).....	33
2	Vista lateral y anterior del aparato ideado para hacer las determinaciones de 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, 7. navaja cortadora, 8. tornillo ajustable y 9. travesaño.....	60
3	Penetrómetro utilizado para determinar la dureza de la costra directamente en el campo.....	61
4	Distribución espacial de los tratamientos empleados, de acuerdo a el arreglo de un cuadrado doble.	69
5	Croquis del experimento y forma en que fueron aleatorizados los tratamientos en el campo.....	70

6	Ilustración de un ladrillo de tamaño natural con las dimensiones consideradas para determinar el módulo de ruptura.....	76
7	Solución gráfica para la determinación del óptimo -- económico de nitrógeno y estiércol en el cultivo del frijol.....	90
8	Solución gráfica para la determinación del óptimo -- económico de nitrógeno y estiércol en el cultivo del trigo.....	91
9	Respuesta estimada del rendimiento de frijol cuando el estiércol y nitrógeno se presentan a diferentes niveles.....	94
10	Respuesta estimada del rendimiento del trigo cuando el estiércol y nitrógeno se presentan a diferentes niveles.....	95
11	Respuesta estimada de la dureza de la costra del <u>sue</u> lo (L.P.) cuando el estiércol y nitrógeno se presentan a diferentes niveles.....	97

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS	Contenido	Pág.
<u>Tablas del texto:</u>		
1	Producción de estiércol fresco de varias especies de ganado registrada en México en 1970. Fuente: GUANO--MEX, 1970.....	40
2	Composición porcentual media del estiércol fresco -- (sólido y líquido) de algunos animales de granja. Fuente: Teuscher.....	41
3	Trabajos de evaluación de costra y efecto residual - del estiércol de vacuno, llevados a cabo a partir -- del verano de 1983 en el mismo lote experimental....	64
4	Labores culturales llevadas a cabo en el presente - experimento en orden cronológico.....	65
5	Niveles de estiércol (E) y nitrógeno (N), correspon- dientes a cada tratamiento.....	66
6	Niveles de estiércol al 13% de humedad aplicadas el verano de 1983, en cada tratamiento.....	66
7	Resumen de los análisis de varianza de las varia--- bles estudiadas del experimento de la evaluación -- del efecto residual del estiércol de vacuno en el - ciclo de Dic-85 a Abril-86.....	79

8	Resultado de los análisis de varianza para algunas variables en los ciclo anteriores.....	82
9	Resultado de las pruebas de medias de Tuckey para las variables con diferencia significativa entre tratamientos.....	83
10	Modelos desarrollados para las variables que fueron significativas en los diferentes ciclos.....	85
11	Dosis óptima económica y fisiológica del estiércol (E) y nitrógeno (N) para frijol y trigo mediante el método matemático.....	85
12	Dosis óptima económica de estiércol (E) y nitrógeno (N) para frijol y trigo mediante el método gráfico...	86

Tablas del apéndice:

13	Resumen de los principales parámetros estadísticos de las variables estudiadas en el presente experimento.....	115
14	Datos climatológicos, precipitación pluvial y temperatura promedio diaria en grados centígrados del período vegetativo del cultivo del trigo.....	116

ABREVIATURAS DEL TEXTO

PPM	Plantas por metro cuadrado
APM	Altura de la primera medición
ASM	Altura de la segunda medición
ATM	Altura de la tercera medición
LP	Lectura de penetrómetro
EPM	Espigas por metro cuadrado
RGM	Rendimiento de grano por metro cuadrado
RPM	Rendimiento de paja por metro cuadrado
CE ₁	Conductividad eléctrica de 0-15 cm
CE ₂	Conductividad eléctrica de 15-30 cm
pH ₁	pH - 0-15 cm
pH ₂	pH - 15-30 cm
MO ₁	Materia orgánica de 0-15 cm
MO ₂	Materia orgánica de 15-30 cm
DA ₁	Densidad aparente de 0-15 cm
DA ₂	Densidad aparente de 15-30 cm
RGH	Rendimiento de grano por hectárea
H° ₁	Humedad de suelo de 0-15 cm
H° ₂	Humedad de suelo de 15-30 cm
MR ₁	Módulo de ruptura de 0-15 cm
MR ₂	Módulo de ruptura de 15-30 cm

1. INTRODUCCION

En México en la actualidad se vive una época de crisis, - debido a que se registra un crecimiento acelerado de la población, por lo que la producción agrícola no es satisfactoria para cubrir las demandas de alimentos, siendo urgente encontrar soluciones que resuelvan el problema de la alimentación. Estas soluciones pueden ser de dos tipos: la primera es ampliar las áreas de cultivo, pero esto solo puede hacerse en proporciones muy limitadas; y la segunda es incrementar el rendimiento por unidad de superficie cultivada, lo cual es más factible.

Dado que el suelo es el medio en el cual crecen los cultivos, es necesario mejorar sus condiciones físico-químicas para un adecuado desarrollo, así como los nutrientes requeridos por la planta para poder aumentar el rendimiento por unidad de área.

La forma mediante la cual se provee al suelo de los nutrientes esenciales para los cultivos es mediante la fertilización. Actualmente en nuestro país, el uso de abonos minerales está muy difundido por ser un factor muy importante en la producción de cosechas, pero el abuso de éstos a largo plazo es causa de daños al suelo. Es necesario por lo tanto buscar otra opción; ésta puede ser el uso de abonos orgánicos, los cuales al contrario de los minerales no causan daño al suelo. Los abonos orgánicos proporcionan al suelo materia orgánica (M.O.), la cual mejora las propiedades físicas y químicas del suelo como: reduce la densidad aparente, mejora la estructura-

aumenta la captación y retención de humedad, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, regula el pH, favorece la disponibilidad de nutrientes, etc. Existen diversas fuentes de materia orgánica, como son: aguas negras, abonos verdes, residuos de cosechas, compost y estiércoles. El estiércol es el abono orgánico de mayor importancia, dado el aumento del ganado de engorda y lechero en estabulación, así como las explotaciones avícolas.

En el noreste de México, se tienen diversos problemas debido a las características de suelo que predominan: suelos arcillosos, calcáreos, pobres en M.O. y con baja disponibilidad de nutrientes. Otro problema presente en estos suelos es la formación de costras compactas después de un riego o una lluvia, las cuales dificultan la emergencia de las plántulas, disminuye la infiltración del agua, aumenta la escorrentía, inhibe la actividad microbiana, etc.

Todos estos problemas pueden ser disminuidos o corregidos por la aplicación de estiércol al suelo. A pesar de todos los beneficios que trae consigo, la información que se tiene en la región es muy escasa, por lo que se realizó el presente estudio, cuyos objetivos son:

1º Determinar si existe efecto residual de la aplicación de estiércol de vacuno realizada el verano de 1983, observando la evolución 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 del trigo.
- 3° Determinar las dosis aplicadas que han tenido un mayor efecto residual en el suelo, que se reflejen en una mayor pro-ducción del cultivo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades sobre el Cultivo del Trigo

2.1.1. Origen e importancia.

El trigo (Triticum aestivum) es originario del antiguo continente, muy posiblemente en la región comprendida entre Palestina, la India y el Turquestán; se sabe que fué cultivado en China 3000 años antes de nuestra era.

En México se introdujo el cultivo del trigo por los españoles a principios de la década de 1520. El cultivo del trigo, se encuentra ampliamente extendido en muchas partes del mundo, quizá por ser una especie que tiene 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 que producen más trigo son: la Unión Soviética, China, Estados Unidos, Canadá, India, Francia, Italia, Australia y Argentina; y los países que más exportan son: Estados Unidos, Canadá, Australia, Unión Soviética y Argentina.

La importancia del trigo en México, y de acuerdo con el área y producción, ocupa el cuarto lugar con 857,000 has, y 2 400 000 ton. de semilla. 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 (36).

2.1.2. Taxonomía del trigo.

División:	Embryophyta siphonogama
Subdivisión:	Angiospermas
Clase:	Monocotyledoneas
Orden:	Glumifloras
Familia:	Gramináceas
Subfamilia:	Festucoideas
Tribu:	Ordeas
Subtribu:	Triticeae (Hordeae)
Género:	<u>Triticum</u>
Especie:	<u>aestivum</u>

2.1.3. Descripción botánica del trigo.

Raíz.- Al producirse la germinación de la semilla del trigo, emite la plúmula y produce las raíces temporales. Las raíces permanentes nacen después de que emerge la plántula en el suelo, éstas nacen de los nudos que están cerca de la superficie del suelo, que son las que sostienen a la planta en el aspecto mecánico y en la absorción del agua y los nutrientes del suelo hasta su maduración (36).

Tallo.- El tallo crece de acuerdo a las variedades, normalmente de 60 a 120 cm., para facilitar la recolección mecánica; sin embargo existen trigos enanos que tienen una altura de 25 a 30 cm. y trigos muy altos de 120 a 180 cm, que dan una relación paja-grano muy alta y viceversa. Desde el punto de vista comercial, los trigos semi-enanos de 50 a 70 cm, son los más conve-

nientes.

En estado de plántula, los nudos están muy juntos y cerca de la superficie del suelo; a medida que va creciendo la planta ésta se alarga, además emite brotes que dan lugar a otros tallos que son los que constituyen los macollos variables en número, de acuerdo con el clima, variedad y suelo, que también producen espiga y en esto radica el mayor o menor rendimiento de algunas variedades (36).

Hoja.- En cada nudo nace una hoja, ésta se compone de vaina y limbo o lámina, entre éstas dos partes existe una parte que recibe el nombre de cuello de cuyas partes laterales salen unas prolongaciones que se llaman aurículas y entre la separación del limbo y el tallo o caña existe una parte membranosa que recibe el nombre de lígula. La hoja tiene una longitud que varía de 15 a 25 cm, y de 0.5 a 1 cm, de ancho. El número de hojas varía de 4 a 6 y en cada nudo nace una hoja, excepto los nudos que están debajo del suelo que en lugar de hojas producen brotes o macollos (36).

Espiga.- La espiga del trigo está formada por espiguillas dispuestas alternadamente en un eje central denominado raquis. Las espiguillas contienen de 2 a 5 flores que posteriormente formarán el grano que queda inserto entre la lema que es la envoltura exterior del grano, y la palea o envoltura interior del grano. La primera y segunda flor está cubierta exteriormente por las glumas. En algunas variedades de trigo, la lema queda casi totalmente cubierta por la gluma, mientras que en otras la

gluma sólo cubre aproximadamente dos terceras partes de la lemma.

No todas las flores que contiene la espiguilla son fértiles, de aquí que el número de granos por espiguilla varíe desde dos hasta cuatro. El número de espiguillas varía de 8 a 12 según sean las variedades y la separación entre ellas es variable también, lo que da la longitud total de la espiga. La flor del trigo se compone de un estigma y alrededor nacen las anteras que tienen un filamento que se alarga conforme vá desarrollándose el estigma hasta que adquiere un aspecto plumoso que es precisamente cuando se encuentra receptivo. Cuando llega a éste estado, las anteras están próximas a reventarse soltando el polen sobre el estigma. La polinización se efectúa en su mayor parte estando las anteras dentro de la palea y la lemma (36).

Fruto.- El fruto empieza a desarrollarse después de la polinización, alcanzando su tamaño normal entre 30 a 45 días. El fruto es un grano o carióspside de forma ovoide con una ranura o pliegue en la parte ventral. En un extremo lleva el gérmen y en el otro tiene una pubescencia que generalmente le llaman brocha. El grano está protegido por el pericarpio de color rojo o blanco según las variedades, el resto que es en su mayor parte del grano está formado por el endospermo, ésta a su vez puede ser de color blanco almidonoso y córneo o cristalino (36).

2.1.4. Fecundación y hábito de crecimiento del trigo.

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 que se formaron. La for-- mación se inicia en el extremo superior de la espiga y conti-- núa en ambas direcciones. La floración continúa durante el -- día, requiriéndose de 2 a 3 días para la completa floración de una espiga. Las glumas suelen abrirse durante el proceso de - floración, las anteras asoman entre las glumas y parte del po-- len 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. Normalmente la polinización cruzada es-- menor del uno por ciento. Si las condiciones son desfavora--- bles para la abertura de las glumas, las anteras pueden derra-- mar su polen sin asomar exteriormente (36).

Por lo que se refiere a su hábito de crecimiento el C.I.M. M.Y.T. reporta que los trigos pueden ser de tipo primaveral o tipo invernal. Los trigos invernales requieren de un período-- de vernalización en estado de plántula de 12 a 15 semanas a - 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 a su floración (39).

2.1.5. Condiciones ecológicas y edáficas.

El trigo se produce en regiones templadas y frías situadas

desde unos 15 a 60° de latitud norte y 27° de 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 temperaturas mejores para una buena producción de trigo oscilan entre 10 y 25°C bajo las condiciones de temperatura en regiones trigueras de México.

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 es el trigo, se les llama plantas de fotoperíodo largo (días largos) o plantas de noches cortas. En general, la reducción de la longitud del día atrasa la floración de las plantas de invierno.

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 (36).

2.2. Propiedades físicas y químicas de los suelos encostrados.

El objetivo de éste punto, es mencionar las principales propiedades físicas y químicas del suelo y dar énfasis a el comportamiento de éstas características en los suelos con problemas de encostramiento.

2.2.1. Propiedades físicas.

2.2.1.1. Estructura.- La estructura se refiere a la disposición de las partículas del suelo en grupos o agregados. Los agregados naturales se denominan grumos; por su parte la palabra terrón designa una masa de suelo formada de manera artificial -- (10,34).

Los agregados del suelo se clasifican en cuatro tomando como base su forma: prismática, blocosa, esferoidal y de placa. En los suelos con problemas de enconstramiento predominan generalmente las partículas de arcilla sobre las de arena y limo, y se arreglan preferentemente en estructura laminar. Cuando éstos suelos están mojados se encuentran sujetos a presión, las placas de arcilla húmeda actúan como lubricante y es posible su orientación produciendo los suelos lodosos. El secado de las arcillas humedecidas produce efectos de cementación suficientemente fuertes para mantener la agregación, aún si el suelo es rehumedecido. La estabilización de agregados, después de la deshidratación, es el resultado de la floculación debida a la concentración mayor de sales, al secado irreversible de materiales orgánicos mucilaginosos, a la precipitación del carbonato de calcio (CaCO_3) o a la deshidratación irreversible de los hidróxidos de fierro y aluminio. El apelmazamiento de los agregados del suelo disminuye el tamaño de los macroporos, la permeabilidad y la aereación, haciendose difícil las labores de cultivo, debido a lo terrenoso y duro del suelo (31).

2.2.1.2. Textura.- La textura se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla en el suelo. La textura de un horizonte de suelo es un carácter casi permanente, ya que la textura no cambia durante un período muy largo de tiempo. La clasificación de textura se basa en la cantidad de partículas menores de 2 mm de tamaño (20,31).

En los suelos con problemas de encostramiento se ha observado que las texturas que presentan son arcillosas o cercanas a ella. La arcilla junto con los coloides orgánicos y los óxidos de fierro y aluminio, constituyen los agentes cementantes responsables de la formación de agregados. Sin embargo, si la fracción arcillosa es abundante y existe poca materia orgánica en el suelo, la fuerza de cohesión de la arcilla en condiciones de sequedad será muy alta, favoreciéndose la formación de costras duras (30).

2.2.1.3. Color.- El color del suelo varía mucho entre las diversas clases de suelos, así como dentro de los distintos horizontes de un corte de suelo. Es una característica observable con facilidad y constituye un criterio en la descripción y clasificación de los suelos. Los colores del suelo se miden más convenientemente por comparación con la Carta de Colores de Suelos de Munsell. Las variaciones en el color del suelo se deben, principalmente al contenido de materia orgánica, la naturaleza del material parental, el clima y el contenido de sílice, cal y otras sales (20,30,40).

En los suelos con problemas de encostramiento, predominan las coloraciones claras, debido a la pobreza de materia orgánica, a pesar que estos suelos puedan ser ricos en arcilla, la cual produce también coloraciones oscuras, éstas a veces no se presentan, debido a la naturaleza calcárea del material parental y a la acumulación de CaCO_3 y otras sales, que se observan en éstos debido al clima seco y mal drenaje (30).

2.2.1.4. Densidad aparente.

La densidad aparente del suelo es el peso por unidad de volumen del mismo, secado en estufa. Comúnmente se expresa en gramos por centímetro cúbico (gr/cm^3). El volumen considerado incluye las partículas sólidas del suelo y el espacio poroso. La densidad aparente aumenta con la profundidad, debido a que son más bajos los niveles de materia orgánica, menor agregación y más compactación (20,27,31,40).

En los suelos encostrados los valores de densidad aparente son altos, ya que a pesar de la abundancia de arcilla son muy pobres en materia orgánica, por lo que la agregación no es adecuada y el suelo se compacta (31).

2.2.1.5. Infiltración.- La infiltración se refiere a la entrada descendente o movimiento del agua a través de la superficie del suelo.

Los factores principales que controlan la magnitud del movimiento del agua en la infiltración son:

- 1° Porcentaje de arena, limo y arcilla en el suelo (textura).
A texturas más gruesas, mayor infiltración.
- 2° Estructura del suelo. Suelos con grandes agregados estables al agua tienen proporciones de infiltración más altas.
- 3° Materia orgánica. Altas proporciones de M.O. sin descomponer propician mayor infiltración.
- 4° Profundidad del suelo. A menor profundidad del suelo, menor y más lenta infiltración.
- 5° Cantidad de agua en el suelo. Los suelos húmedos tienen menor infiltración que los suelos secos.
- 6° Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración que los suelos fríos.

La magnitud de la infiltración se clasifica como sigue:

- Muy lenta: si la velocidad de infiltración es menor de 0.25 cm de lámina de agua por hora.
- Lenta: de 0.25 a 1.75 cm/h.
- Media: de 1.75 a 2.5 cm/h.
- Rápida: mayor de 2.5 cm/h.

Los suelos con problemas de encostramiento tienden a reducir la infiltración del agua, debido a que la costra representa un obstáculo al paso del agua, por otra parte el alto contenido de arcilla y bajo contenido de materia orgánica de éstos suelos, son también causa de la lenta infiltración (30,31, 40).

2.2.1.6. Permeabilidad.- Son las características que determinan la rapidez con la que el aire y el agua se mueven a través del suelo. El agua se moviliza en el suelo como líquido o como vapor principalmente a través de los macroporos. Esto significa - que entre más grande y numerosos sean los poros mayor será la permeabilidad (20).

La permeabilidad depende básicamente de;

- 1° Estructura. Cuanto mayor sean los agregados del suelo, mayor cantidad de macroporos y mayor será la permeabilidad.
- 2° Profundidad del suelo. La permeabilidad disminuye con la -- profundidad, a medida que las capas del subsuelo son más - compactas, la compactación reduce los macroporos.
- 3° Textura. A texturas más gruesas la permeabilidad aumenta.
- 4° Contenido de sales en el agua. A mayor contenido de sales la permeabilidad disminuye.
- 5° Cantidad de agua en el suelo. A medida que el suelo se vuelve más seco la permeabilidad disminuye.

Las clases propuestas para indicar la permeabilidad consideran las siguientes láminas de agua:

Muy lenta: menos de 0.15 cm/h

Lenta: 0.15-0.5 cm/h

Moderada: 0.5-1.5 cm/h

Rápida: 15-25 cm/h

Muy rápida: más de 25 cm/h

La permeabilidad en los suelos encostrados es de lenta a moderada debido a las características de estos suelos como son: textura fina, pobre agregación del suelo, bajo contenido de materia orgánica y en ocasiones, la presencia de capas impermeables (caliche, arcilla, material madre, etc.) a poca profundidad de los suelos encostrados (30,31,40).

2.2.1.7. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente. La capacidad de campo es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de las fuerzas de gravedad. Es el agua que conserva el suelo después de una lluvia o de un riego una vez drenados los excedentes por gravedad. La fuerza con que el agua es retenida en este punto es de $1/3$ de atmósfera (27).

El punto de marchitez permanente es el porcentaje de contenido de humedad de un suelo en el que la planta se marchita y es incapaz de recobrase. La fuerza con que el agua se encuentra retenida en este punto es de 15 atmósferas aproximadamente (25,38).

El agua aprovechable por la planta es la que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez y está influenciada por algunos factores como: estructura, textura y materia orgánica principalmente. Por lo que en los suelos encostrados debido a la compactación se reduce la cantidad de agua que pueden retener (27,30).

2.2.2. Propiedades químicas.

2.2.2.1. Conductividad eléctrica.- La conductividad eléctrica - se usa para indicar la concentración total de componentes ionizados en las soluciones. Nos indica la presencia o ausencia de sales. Las sales en solución tienen propiedades electrolíticas y conducen una corriente eléctrica. Cuando se tiene alta proporción de sales solubles, la conductividad eléctrica es elevada. La conductividad se mide en milimhos por centímetro ---- (mmho/cm). Los suelos se clasifican según su salinidad y pH - de la manera siguiente:

Suelos salinos. Estos suelos tienen un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15 y una conductividad eléctrica mayor de 4 mmhos/cm y tienen un pH menor de 8.5. Por lo general estos suelos tienen una costra superficial de sales blancas que son en su mayor parte sulfatos y cloruros de calcio, magnesio y sodio. Estas sales disueltas en el agua se mueven hacia la superficie donde quedan como una costra cuando el agua se evapora.

Suelos alcalinos o sódicos. Estos suelos tienen un porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15. Tienen una conductividad eléctrica menor de 4 mmhos/cm y un pH arriba de 8.5. Estos suelos son de color oscuro ya que la materia orgánica se disuelve y se deposita sobre el terreno al evaporarse el agua - dejando la costra de color oscuro.

Suelos salino-sódicos. Estos suelos tienen un porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15. Tienen una conductividad eléctrica mayor de 4 mmhos/cm y un pH mayor de 8.5. Entre las-

sales solubles de este tipo de suelos se encuentran el carbonato y bicarbonato de sodio. Los suelos de éste tipo son impermeables y se nota una costra de color café oscuro sobre la superficie del terreno después que el agua se evapora (13,40).

En las regiones áridas con suelos encostrados, donde la precipitación es escasa y las temperaturas son elevadas, existe una tendencia a la acumulación de sales solubles cerca de la superficie. Durante la época lluviosa, éstas sales pueden moverse a las capas inferiores del suelo, pero después de la estación de lluvias, la evaporación intensa promovida por las altas temperaturas, lleva de nuevo las sales a la superficie. Las sales solubles de Ca y Mg no provocan deterioración de la estructura del suelo como lo hacen las de Na (40).

2.2.2.2. Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.).- Se denomina capacidad de intercambio catiónico a la adsorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación subsecuente de uno o más iones retenidos por el núcleo. Se expresa en miliequivalentes por 100 gr. de suelo. En general, en cuanto más arcilla haya en un suelo, tanto más elevado es la C.I.C. El intercambio de cationes tiene lugar casi por completo en las superficies de los cristales de arcilla y de las partículas de humus. Esto se debe a que estas superficies tienen una carga negativa neta y por consiguiente atraen iones positivos (cationes) (31,40).

Los suelos con problemas de encostramiento en teoría tendrían un C.I.C. alto, por su condición arcillosa, sin embargo,-

cuando la arcilla predominante es la montmorillonita de tipo ex pansivo, la cual es común en suelos encostrados la C.I.C. disminuye. Esto se explica, debido a que los iones se movilizan al interior entre los cristales de arcilla cuando ésta se encuentra húmeda (expandida), al deshidratarse y venir la con tracción los iones quedan atrapados e inaprovechables para las plantas. La escasez de M.O., la cual actúa como regulador de la humedad, hace que la con tracción de la arcilla sea más abrupta. Ocorre también un proceso de intercambio de aniones aunque a escala menor al intercambio catiónico. El $H_2PO_4^-$, SO_4^- y el NO_3^- pueden intercambiarse por este proceso que ocurre principalmente en suelos con pH menores a 7 (30,40).

2.2.2.3. Reacción del suelo (pH).- El pH es una medida de la acidez activa de los suelos y es el resultado de reacciones químicas complejas, donde se suceden disociaciones iónicas que, obrando en distintos sentidos dan como resultado el pH del sue lo. El pH depende de la composición del material madre y de las condiciones climáticas y topográficas de la zona.

Los suelos con problemas de encostramiento de esta región presentan pH elevados, debido a que son pobres en materia orgánica y a la escasez de lluvias, por lo que las sales disueltas principalmente las de calcio, no se drenan; además, la actividad microbiana productora de compuestos ácidos es menor (30,31).

2.2.2.4. Materia orgánica (M.O.).- La M.O. proviene de los resi duos vegetales y animales parcialmente descompuestos. Los resi

tos vegetales deriyan tanto de los cultivos como de las plantas naturales y de los llamados abonos verdes. Los restos animales provienen de los animales muertos, tanto de la fauna general como de la fauna edáfica y de las deyecciones y abonos orgánicos como el guano, estiércoles, compost, etc. El estiércol es el tema principal del presente estudio ya que en el experimento se empleó estiércol de vacuno como fuente de M.O. por lo que se tratará con mayor detenimiento (36).

2.3. La Materia Orgánica del Suelo

Los suelos orgánicos contienen gran cantidad de M.O. más del 20% , en cambio los suelos minerales que son los más comunes y en los cuales se desarrollo la agricultura contienen menos del 20%. La acumulación de la M.O. es favorecida en áreas de precipitación abundante, baja temperatura, vegetación nativa de pastos o drenaje deficiente. La M.O. ejerce un gran impacto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (31).

2.3.1. Funciones de la materia orgánica.

1. Los residuos orgánicos que se encuentran en la superficie del suelo, reducen el impacto de las gotas de lluvia y favorecen la infiltración lenta del agua, por lo que la escorrentía y la erosión se reducen y aumenta la cantidad de agua -- aprovechable para la planta.
2. La descomposición de la M.O. produce sustancias y aglutinan

tes microbianos que ayudan a estabilizar la estructura del suelo manteniendola en estado granular suelto, abierto, lo cual favorece una buena aireación y permeabilidad.

3. Las raíces de las plantas al descomponerse dejan conductos a través de los cuales penetra el agua, favoreciendo su almacenamiento que posteriormente será aprovechada por las plantas.
4. La M.O. fresca suministra alimento para los organismos del suelo. Algunos animales excavan en el suelo permitiendo -- así a las raíces obtener oxígeno y liberar el CO_2 al desarrollarse las plantas (31,40).
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 (11,31).
7. Las pérdidas de agua por evaporación son menores cuando se dispone de cubiertas de residuos orgánicos en el suelo (11, 31,40).
8. La M.O. al descomponerse produce diferentes nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Al ser liberados éstos nutrientes satisfacen las necesidades de las plantas, cuando las condiciones son favorables.
9. Un suelo con alto contenido en M.O. tiene mayor capacidad de agua aprovechable para el desarrollo de las plantas que

el mismo tipo de suelos con menor contenido de M.O.

10. La M.O. ayuda en la capacidad amortiguadora de los suelos - atenuando los cambios químicos rápidos que se presentan al fertilizar y/o agregar caliza (11,31,40).
11. Al descomponerse la M.O. libera ácidos orgánicos que ayudan a disolver minerales y ponerlos a disposición de las plantas (31).
12. La M.O. descompuesta (humus) constituye un almacén de los cationes intercambiables y aprovechables: K, Ca y Mg. Temporalmente el humus también retiene al amonio en forma intercambiable y aprovechable.
13. La M.O. tiene la función de hacer el fósforo más fácilmente aprovechable en suelos ácidos ya que al descomponerse libera citratos, oxalatos, tartratos y lactatos, los cuales se combinan más fácilmente con el Fe y el Al que con el P, lo que dará como resultado menos hierro soluble y fosfato de aluminio y por lo tanto mayor fósforo disponible (11, 31).
14. Los ácidos orgánicos liberados de la M.O. en descomposición ayudan a reducir la alcalinidad de los suelos.
15. La M.O. sirve como fuente de energía para el desarrollo de los organismos del suelo (40).

2.3.2. Composición general de la materia orgánica.

La composición de la M.O. del suelo y, en especial, del hu

mus del suelo, ha sido un problema difícil para los químicos de suelos. Una de las dificultades principales al investigar el problema es la imposibilidad de aislar la M.O. de la parte mineral del suelo.

La M.O. es una sustancia muy compleja, cuyos materiales varían en proporción dependiendo del tipo de residuo, animal o vegetal y su estado de descomposición. Dichos materiales son:

1. Hidratos de carbono
2. Lignina
3. Taninos y fenoles
4. Grasas, aceites, ceras y resinas
5. Proteínas, péptidos y aminoácidos libres
6. Pigmentos
7. Acidos orgánicos
8. Minerales como calcio, fósforo, azufre, hierro, magnesio y potasio.

En gran parte, la lignina y proteínas constituyen el mayor porcentaje de la M.O. en los suelos; este porcentaje varía del 25 al 30%. En cambio los carbohidratos contribuyen con 5-16% del total de la M.O. (11,40).

2.3.3. Clases de organismos del suelo que intervienen en la composición de la M.O.

Los grupos de organismos más importantes del suelo se -- dan a continuación:

Bacterias.- En suelos cultivados exceden en número y clases a todos los otros organismos. Son organismos unicelulares muy pequeños, que raras veces exceden $0.005 \text{ mm}\phi$; la mayoría -- pertenece al rango del tamaño de partículas coloidales. Sus -- formas son variadas, redondas, espirales o alargadas, predomi-- nando estas últimas en el suelo.

Según sus requerimientos de energía se clasifican en dos grupos:

1. Bacterias heterotróficos: pueden obtener su energía y carbono de sustancias orgánicas complejas. Estas se subdividen en: fijadoras de nitrógeno que pueden ser simbióticas o no-simbióticas estas últimas pueden ser aerobias o anaerobias; y las que requieren nitrógeno fijado, estas se subdividen en formadoras y no formadoras de esporas que a su vez pueden ser aerobias o anaerobias.
2. Bacterias autotróficas: obtienen su energía de la oxidación de elementos o compuestos inorgánicos, su carbón del CO_2 y, su nitrógeno y minerales de compuestos orgánicos. Se les -- considera las formadoras de NO_2 , NO_3 y las oxidantes del azu-- fre y del hierro, así como las que actúan sobre el hidróge-- no y sus compuestos (31).

Hongos.- Los hongos son especialmente útiles en el suelo -- porque dividen la celulosa, la lignina y la goma resistente en cierta forma, así como los azúcares, almidones y proteínas que se descomponen con más facilidad. Estos varían en su estructu-- ra y tamaño, no poseen clorofila y su energía y carbono lo ob--

tienen de la M.O.

Según su morfología se clasifican en tres grupos:

1. Levaduras y hongos parecidos a levaduras: estos son escasos en los suelos y no son de importancia en el desarrollo y la productividad.
2. Mohos: incluyen varios hongos filamentosos, son los más --- abundantes y más importantes en la productividad del suelo.
3. Hongos, propiamente dicho: abundan principalmente en suelos forestales (31).

Actinomicetos: Morfológicamente son intermedios entre las bacterias y los hongos. Se parecen a las bacterias porque -- son unicelulares y a los hongos filamentosos porque producen -- una maraña muy profusa y ramificada. Algunos actinomicetos se - reproducen por medio de esporas las que tienen semejanza con cé-
lulas bacterianas. Por su óptimo desarrollo requieren de un - pH de 6.0 a 8.0. En suelos de escasa humedad se desarrollan - mejor que las bacterias. Abundan en suelos orgánicos no muy -- ácidos. Estos microorganismos atacan y descomponen a la mate--
ria orgánica liberando los nutrimentos que contiene; además --- aparentemente son capaces de atacar al humus el que sería muy - lentamente descompuesto por las bacterias, de aquí que tengan una función muy importante desde el punto de vista de la ferti-
lidad del suelo, al ayudar en el ciclo del nitrógeno (10,31).

Algas.- Son plantas microscópicas formadoras de clorofi--

la. Se encuentran distribuidas en la capa superficial del suelo, donde la humedad y luz son disponibles. La humedad del --suelo es un factor ecológico muy importante en su distribución-- ya que en suelos húmedos existen muchas más especies que en --suelos secos.

Las algas obtienen su nitrógeno y minerales del suelo, el carbono del CO_2 de la atmósfera y utilizan la energía del sol. En ausencia de la luz, actúan en forma similar a los hongos ya que utilizan la energía derivada de la descomposición de la materia orgánica. La mayoría de las algas son de tamaño microscópico, unicelulares o de estructura filamentosa. Además de ayudar a la descomposición de la materia orgánica, ejercen una acción solvente sobre ciertas rocas y minerales afectando así la formación de suelos. Fomentan la fijación del nitrógeno en simbiosis con el azotobacter.

Se clasifican en tres grupos:

1. Verde-azuladas
2. Verdes
3. Diatomeas (10,31).

Protozoarios.- Se les considera las formas más simples de vida. Son animales de tamaño microscópico y unicelulares pero más grandes que las bacterias y de actividad más complejas.

Se agrupan en tres grupos:

1. Ciliados
2. Flagelados

3. Amibas

Los tres grupos son muy abundantes en los suelos. Sus hábitos nutricionales no son bien conocidos, aunque es cierto que en el suelo dependen de la M.O. como fuente de alimento. Algunos grupos pueden ingerir bacterias afectando el desarrollo de las plantas (31).

Nemátodos.- De acuerdo con sus requerimientos alimenticios se clasifican en:

1. Los que se alimentan de la M.O. en descomposición; son los más abundantes en la mayoría de los suelos.
2. Los que se alimentan de lombrices, otros nemátodos, parásitos de plantas, bacterias, protozoos y similares.
3. Aquellos que infestan las raíces de las plantas superiores, pasando una parte del ciclo de su vida embebidos allí. La mayoría son de tamaño microscópico. Estos son los más importantes desde el punto de vista agrícola.

No todas las actividades de los nemátodos son perjudiciales para el desarrollo de las plantas superiores ya que ayudan en promover una mezcla íntima de la M.O. y mineral en el suelo y en el desdoblamiento de materiales orgánicos. También mejoran la aireación del suelo (31).

Lombrices.- La lombriz de tierra es quizá el grupo más importante de macroorganismos que habitan el suelo. Estos organismos prefieren suelos húmedos con abundancia de M.O. y calcio aprovechable. Se considera que en algunos suelos, éstos organismos pueden pasar varias toneladas de suelo anualmente a --

través de sus cuerpos, produciendo una mayor aprovechabilidad - de los nutrientes por las plantas (32).

2.3.4. Descomposición de la materia orgánica.

La descomposición de la M.O. tiene dos funciones para la - microflora: abastecerla de suficiente energía para el crecimiento y suministrar carbono necesario para la formación de nuevos-materiales celulares.

La característica principal de los organismos del suelo, es la captura de energía y carbono para la síntesis celular. A este proceso, por el cual el sustrato se convierte en carbón - protoplasmático, se le conoce como asimilación. Al mismo tiempo que el carbón se asimila, otros nutrientes serán también asimilados y no podrán ser utilizados por las plantas, proceso que se conoce como inmovilización. Si la composición celular promedio de la microflora es de 50% de C y 5% de N, la cantidad de N inmovilizada será 1/10 del C que entrará en la producción de -- las células microbianas (3).

Las plantas de los cultivos, generalmente tienen la misma-cantidad de C, pero su cantidad de N puede ser comparada utilizando la proporción C:N. Las pajas de los cereales y otros residuos vegetales pobres en N no llegan a un C:N superior a 50, es decir que por cada gramo de N tiene 50 gramos de C por lo - que se descompone lentamente debido a la escasez de N el cual - es necesario para las actividades de los microorganismos. Las-leguminosas llegan a una relación C:N promedio de 20, pues con-

tienen una mayor cantidad de proteínas en sus tejidos, por lo que son descompuestas más rápidamente (36).

Según Sabey, citado por Rodríguez, un compuesto orgánico agregado al suelo, cuyo C:N sea mayor de 30 es atacado por los microorganismos liberándose mucho CO_2 , que es un gas que se pierde o se transforma en ácido carbónico en la solución del suelo, inmovilizándose además el nitrógeno del suelo. Luego cuando desciende la relación C:N entre 15 y 30 los microorganismos solo utilizan el nitrógeno del residuo agregado y cuando el C:N baja de 15 son los microorganismos los que comienzan a liberar el nitrógeno soluble para las plantas, extraído del residuo original; es decir que antes lo usaron para su propio desarrollo y luego lo liberan (10,36).

En general, los microorganismos atacan inicialmente los compuestos más fácilmente degradables y aumentan su número, así como la cantidad de nuevos compuestos que sintetizan. Tan pronto como el alimento fácilmente degradable se consume, el número de microorganismos disminuye y los microbios remanentes atacan a los compuestos resistentes. Con el tiempo, todos estos compuestos se vuelven indistinguibles del humus original que tenía el suelo.

2.3.4.1. Composición del humus.- El humus es la fracción activa de la M.O. Para los suelos agrícolas se define como la porción bien descompuesta y estabilizada de la M.O. del suelo. Es de color negro y tiene un carácter coloidal, formando un complejo con las arcillas. El humus a diferencia de los coloides minera

les es amorfo y no cristalino. El área superficial y capacidad adsorptiva del humus es mucho mayor que la de la arcilla. Las arcillas del suelo absorben solamente del 15 a 20% de agua, --- mientras que el humus absorbe del 80 a 90% bajo las mismas condiciones (31,36).

El humus está formado de tres principales grupos de com--- puestos orgánicos: lignina modificada, la cual es muy resistente a la descomposición microbiana; las proteínas que están protegidas por la lignina y arcilla; y los poliurónidos que son -- sintetizados por organismos del suelo (27,31).

2.3.4.2. Influencia del medio ambiente en la descomposición de la materia orgánica.- La mineralización de la materia orgánica-agregada al suelo es afectada por varios factores ambientales como son: temperatura, humedad, suministro de oxígeno, pH, nutrientes inorgánicos y la proporción C:N de los restos vegetales son los principales. La edad de la planta y su contenido de lignina también rigen la descomposición.

La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que determina la rapidez con que los materiales naturales son metabolizados. La mineralización es menor a temperaturas bajas y se incrementa conforme se eleva la temperatura -- hasta llegar a un nivel óptimo entre 30 a 40°C.

El aire estimula la mineralización ya que la degradación de los principales constituyentes vegetales disminuye similarmente con el descenso del suministro de O_2 . Pero para que se-

lleve a cabo una buena descomposición es necesario tener también una humedad adecuada. Ya que si la humedad es muy alta, la oxigenación del suelo será inadecuada, y por el contrario, si el agua es escasa aunque haya una buena aireación, no habrá una rápida descomposición de la M.O. En general, se ha observado que la mineralización es mayor alrededor del 60 a 80% de la capacidad de retención de agua en el suelo (3).

El pH también determina el tipo de microorganismos involucrados en el ciclo del carbono de cualquier hábitat. La descomposición de la M.O. se lleva a cabo con más facilidad en suelos neutros que en suelos alcalinos.

El nitrógeno es una sustancia nutritiva clave para el crecimiento microbiano y por lo tanto para la degradación de la M.O. Si el contenido de nitrógeno es alto en el sustrato, la descomposición es rápida; por el contrario si el contenido de nitrógeno es bajo la descomposición es lenta por que su relación C:N es estrecha. Por otro lado los materiales ricos en lignina son metabolizados con menor rapidez que los productos pobres en lignina. Por lo que los tejidos jóvenes se metabolizan más rápidamente que los tejidos de plantas maduras.

La velocidad de descomposición también está regida por el tamaño de las partículas orgánicas sujetas al ataque. Por lo que los materiales de partículas pequeñas son degradados más fácilmente que los de partículas más grandes (3).

2.3.5. Ciclo del nitrógeno.

En todos los suelos existen al cabo del año considerables entradas y salidas de nitrógeno acompañadas de muchas transformaciones complejas. Estas transformaciones ocurren simultáneamente pero a menudo los pasos individuales efectúan objetivos opuestos. Esta sucesión de reacciones químicas constituyen lo que se conoce con el nombre del "Ciclo del Nitrógeno" (ver Figura 1) (3,10).

Una pequeña parte del gran reservorio de N_2 en la atmósfera es convertido en compuestos orgánicos por algunos microorganismos de vida libre o por una asociación planta-microorganismo que torna al elemento directamente aprovechable por la planta. El N presente en las proteínas y ácidos nucleicos de los tejidos vegetales es usado por los animales. En el cuerpo animal el nitrógeno se convierte a otros compuestos simples y complejos. Cuando los animales y las plantas son sujetas a la degradación microbiológica, el N orgánico es liberado como amonio (NH_4), que a su vez es utilizado por la vegetación o es oxidado a nitrato (NO_3^-). Este ión puede perderse por lixiviación, servir como nutriente vegetal o puede ser reducido alternativamente a amonio (NH_4) o a N_2 gaseoso que escapa a la atmósfera completándose el ciclo (3).

La mineralización de los compuestos nitrogenados orgánicos se produce etapa por etapa en tres reacciones esenciales: la aminización, amonificación y nitrificación.

a) Aminización o aminificación: Es una de las etapas finales de la descomposición de los materiales nitrogenados, que -- consiste en la descomposición hidrolítica de las proteínas y la liberación de aminas y aminoácidos. Esta función la realizan -- organismos heterótrofos que incluyen numerosos grupos de bacterias y hongos (10,45).

b) Amonificación: Las aminas y los aminoácidos liberados -- de la aminización, son utilizados por grupos de organismos hete -- rótrofos con la liberación de compuestos amoniacales.

El amoníaco liberado sufre diversos destinos en el suelo:

1. Puede ser convertido a nitritos y nitratos por el proceso de nitrificación.
2. Puede ser absorbido directamente por las plantas superiores.
3. Puede ser fijado en una forma no utilizable biológicamente, -- por algunos minerales arcillosos.
4. Puede escaparse al aire (10,45).

c) Nitrificación: La nitrificación es un proceso aeróbico -- que implica la producción de nitritos y luego a nitratos a par -- tir de sales de amonio. La nitrificación comprende dos etapas, -- las cuales son realizadas por grupos diferentes de bacterias.

La primera etapa de la nitrificación es catalizada por -- las bacterias del género Nitrosomonas. En esta etapa el amoní -- co es convertido a nitrito (NO_2^-).

La segunda etapa de la nitrificación, es la transformación -- de nitritos a nitratos (NO_3^-) y la realizan bacterias del género

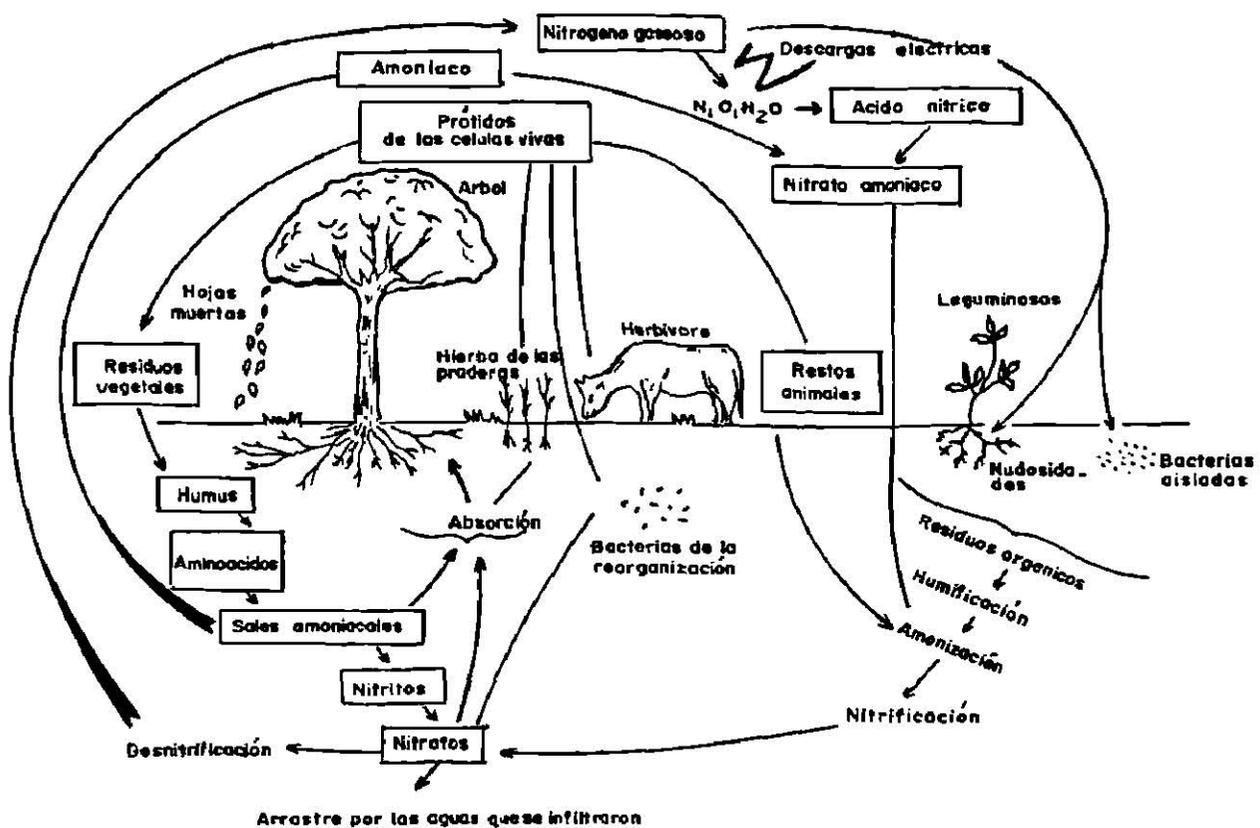


Figura 1. Ciclo del Nitrógeno (Fuente: Tisdale y Nelson).

Nitrobacter (3,45).

2.4. Encostramiento del Suelo

Las costras en la superficie de los suelos son comunes, -- particularmente en zonas áridas y semiáridas en donde se tienen pocas cantidades de M.O. en el suelo y la cubierta vegetal es -- escasa. Estas costras tienen efectos directos en el crecimiento de la planta y un efecto indirecto en los procesos del suelo. El efecto directo en el crecimiento de la planta incluye la -- obstrucción mecánica a la emergencia de la plántula que está -- germinando y daño a las raíces mediante la formación de torcedu ras, debido a la baja penetrabilidad de las mismas. El efecto -- indirecto de la costra en el suelo, incluye una disminución en la tasa de percolación de agua, aumento en el escurrimiento y -- la inhibición de la actividad microbiana (22).

Grandes extensiones de tierras de cultivo son replantadas -- cada año, como resultado de las pérdidas en la emergencia, re-- sultantes de las costras, producidas por las lluvias. Dichas -- pérdidas, no sólo involucran el costo de la operación del re-- plante y de la semilla, sino también el retraso, el cual puede -- resultar en pérdidas de cosecha debido a un período disponible -- muy corto para desarrollarse.

2.4.1. Mecanismos de formación de costras.

Chen, et al. (1980), citados por Nieto, distinguen dos -- tipos de costras por sus mecanismos de formación:

a) costras estructurales, las cuales se forman como resultado del impacto de las gotas de lluvia y b) costras deposicionales, formadas por la traslocación de finas partículas de suelo y su deposición a cierta distancia de su localización original. Sin embargo, el mecanismo general por el cual se dá lugar a la formación de costras es muy similar para los dos tipos (30).

Las costras del suelo se forman como resultado de la compactación superficial del suelo, debido a una fuerza externa. Esta fuerza es debido al 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 instantánea la disgregación de los agregados, seguida por la dispersión y orientación de las partículas más finas y la obstrucción de los poros al penetrar estas partículas en el suelo, formándose en la superficie una zona compacta de mayor densidad global.

Según McIntyre, citado por Evans, la costra formada consta de dos partes: la primera es una capa delgada de aproximadamente 0.1 mm de espesor, que se forma en la superficie por compactación resultado de la acción de las gotas de lluvia; la segunda capa se forma inmediatamente debajo de la superficie, las partículas dispersas que surgen del choque son arrastradas por el agua que se filtra, obstruyendo los poros y formando una capa de porosidad disminuída, reduciendo la permeabilidad unas 200 veces, en comparación con la que tendría un suelo sin disturbio, en cuanto a la capa superficial, su permeabilidad es reducida 2000 veces aproximadamente (9,17,22).

Las condiciones de sequedad y la fuerza de tensión superfi

cial causan una interacción y reorientación de las partículas dispersas, dando lugar a una contracción del suelo. En fotografías tomadas por Evans y Buol de un suelo arcilloso, se muestra que el arreglo de las partículas está orientada paralelamente al suelo, también se observa la ausencia de poros grandes -- (17,30).

2.4.2. Factores que determinan la formación de costras.

La formación de costras superficiales, está determinada -- por factores externos e internos.

1. Factores externos: En suelos desnudos, la causa natural que determina el encostramiento es el impacto de las gotas de lluvia. El choque de las gotas de lluvia cargadas de -- energía cinética, provocan la disgregación de la estructu-- ra superficial en partículas individuales o agregados de me-- nor tamaño.

Otro factor de gran importancia en el encostramiento de los suelos, es el anegamiento que se presenta cuando la intensidad de la lluvia es superior a la velocidad de infiltra-- ción o durante el riego. El anegamiento hace posible la se-- dimentación de las partículas de mayor tamaño, quedando sus-- pendidas las de menor tamaño.

2. Factores internos: Entre los factores internos están: el gra-- do de estructuración y la estabilidad de los agregados. Cuan-- do las partículas individuales del suelo se encuentran fuerte-- mente unidas en agregados, el esfuerzo realizado por la llu--

via o cualquier otro agente productor de dispersión, será mucho mayor. Suelos con una alta estructuración y estabilidad estructural, los problemas de encostramiento serán derivados solamente de lluvias muy intensas. Por el contrario, suelos con baja estructuración, la sola saturación del suelo producirá costras muy resistentes.

Los suelos que presentan estructuras mal desarrolladas y fácilmente disgregables, son por lo común bajas en M.O., altos en cuanto a contenido de limo y arena muy fina en relación a la arcilla. Los dos principales agentes de estructuración y estabilidad, son la M.O. y la arcilla (38).

2.4.3. Módulo de ruptura.

Los suelos de compactación normal fuertemente secados en el campo, tienen gran dureza y cohesión. El grado de esta cohesión varía con la estructura del suelo, pues la porosidad determina el número de partículas por unidad de volumen, y la porosidad está relacionada con el número de contactos superficiales. La cohesión de los suelos secos se determina midiendo la resistencia a la ruptura de un pequeño ladrillo desecado fabricado con una muestra de suelo. En general, el procedimiento para determinar el módulo de ruptura, consiste en secar al aire una muestra de suelo, colocarla luego en un molde rectangular, se remoja bien y se somete luego a secado a más o menos 50°C de temperatura. El ladrillo resultante se rompe aplicando presión en su parte media. La fórmula para determinar el módulo de rup

tura S (dinas/cm²) de un ladrillo es la siguiente:

$$S = 3FL/2 bd^2 \quad \text{donde:}$$

F (dinas), es la fuerza de ruptura, L es la distancia en centímetros entre las barras que sostienen al ladrillo, b es el ancho y d el espesor del ladrillo en centímetros. El resultado, también puede expresarse en bares ($1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dinas/cm}^2$).

El módulo de ruptura se emplea como un índice del encostamiento del suelo en base a las dos siguientes suposiciones: a) las propiedades físicas del ladrillo simulan las costras naturales y b) el módulo de ruptura representa la fuerza de las plántulas para romper éstas costras (9,21).

2.4.4. Resistencia del suelo a la penetración: penetrómetro.

La resistencia de un suelo a la penetración de un instrumento de sondeo es un índice integrado del grado de compactación del suelo, contenido de humedad, textura y tipo de mineral de arcilla. En otras palabras es un índice de la resistencia del suelo en las condiciones bajo las que se toma la medición. Es una determinación que implica la consistencia y estructura del suelo. La cantidad de penetración por unidad de fuerza aplicada a un suelo determinado varía con la forma y tipo de instrumento empleado.

A medida que el penetrómetro entra en el suelo, sufre la resistencia que muestra el suelo al esfuerzo cortante, que implica la fricción interna y la cohesión (9).

Según Figueroa, citado por Salcedo, el contenido de hume-

dad del suelo ejerce una influencia muy notable en las lecturas del penetrómetro. A medida que decrece el contenido de humedad del suelo, hay un aumento en la resistencia del suelo a la penetración, lo que demuestra que la resistencia del suelo será mayor, a medida que las partículas del suelo se acercan unas a otras, durante el proceso de desecación (38).

El penetrómetro proporciona información sobre la resistencia y la compactación del suelo, si se toma en consideración -- que los datos obtenidos son el resultado de una acción conjunta de ciertos factores como son: la humedad, textura y tipo de arcilla del suelo (38).

2.5. Estiércol como Aportador de M.O. al suelo

2.5.1. Disponibilidad del estiércol.

En México, se producen anualmente unas 7;500,000 toneladas de estiércol en base seca, de las cuales el 74% corresponde al estiércol de bovino, 6% al estiércol porcino y un 3,5% de gallinaza (8). La cantidad de estiércol que cada animal produce depende de varios factores como son la edad, raza, estado de salud y tipo de alimento que el animal recibe, por lo tanto los valores que se manejan se refieren solamente a promedios. Tirado, citado por Nieto (30), nos presenta los resultados obtenidos del inventario ganadero realizado por GUANOMEX en 1970 (ver Tabla 1).

Tabla 1. Producción de estiércol fresco de varias especies de ganado registrada en México en 1970, Fuente: GUANOMEX, 1970.

Espece	Millones de cabeza	Estiércol fresco millones de ton/año
Bovino	26	36.5
Caprino	9	1.8
Aves	122	1.7
Ovino	5	1.0
Equino	11	4.8
Porcino	10	3.3
Total		49.1

Traves, indica que una cabeza de ganado bovino de tamaño medio produce diariamente de 15-25 lts. de excremento líquido y unos 20 kg. de excremento sólido (44).

Flores, en un estudio realizado en la región centro del estado de Nuevo León, encontró que la cantidad de estiércol producido por vaca por año fué aproximadamente de 1400 kgs. hasta 4320 kg., ésta variación se debe principalmente a la diferencia de edades, ya que se consideraron vacas de menos de un año hasta ocho años. Observó también que el 85% de los entrevistados utilizan el estiércol como abono para cultivos hortícolas y otros cultivos (18).

2.5.2. Composición del estiércol,

El estiércol está constituido por dos componentes el sólido-

do y el líquido (10,24,27,35). El estiércol sólido contiene un poco más de la mitad del nitrógeno, casi todo el ácido fosfórico y alrededor de la tercera parte del potasio. Obviamente, la composición del estiércol puede variar mucho de acuerdo a diferentes factores como: clase y edad del animal, tipo de alimento, cama usada, manejo y almacenamiento que se le dé (10,24, -- 47). La composición química del estiércol fresco (sólido y líquido) de algunos animales de granja se observan en la Tabla 2 (42).

Tabla 2. Composición porcentual media del estiércol fresco (sólido y líquido) de algunos animales de granja. Fuente: Teuscher (42).

Especie	Humedad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bovino	80	0.55	0.23	0.60
Caprino	70	0.45	0.30	0.90
Aves	10	1.5	1.0	0.40
Ovino	65	1.45	0.50	0.13
Equino	60	0.70	0.25	0.75
Porcino	85	0.50	0.35	0.40

Ortega, citado por Nieto, realizó un análisis bioquímico de estiércol seco de vacuno, obteniendo un 4,2% de almidón, --- 10,74% de hemicelulosa, 5,48% de celulosas y 4,29% de lignina, -- fuentes de carbono para los organismos heterótrofos del suelo, -- por lo que su presencia estimulará el desarrollo de las pobla--

ciones microbianas (30).

El agua es uno de los constituyentes más variables del estiércol. La cantidad de agua contenida es mayor en el estiércol de vaca y de cerdo, por lo que éstos estiércoles no se calientan con facilidad cuando se amontonan, por lo que se les dá el nombre de estiércoles fríos. Los estiércoles de gallina, oveja y equino tienen un menor contenido de agua, por lo que se les dá el nombre de estiércoles calientes, porque se calientan con facilidad cuando se amontonan (47).

Se ha comprobado que la aplicación de estiércol sólido mejora la estructura del suelo, en cambio el estiércol líquido -- tiene una menor influencia sobre la estructura debido a su poca cantidad de M.O. que suministra (24).

2.5.3. Cuidado y conservación del estiércol.

La calidad del estiércol como abono, depende de factores como el manejo y cuidado que se le dé. Los métodos comunes de manejo poco cuidadoso en los establos y la aplicación retrasada del estiércol causa la pérdida de una gran parte de su valor antes de que éste llegue al campo (27).

Existen dos técnicas básicas para recoger y almacenar el estiércol. Una técnica abarca sólo el estiércol sólido y se realiza mediante su acarreo ya sea manual o mecánica. Generalmente el estiércol se almacena al aire libre, perdiéndose gran parte del nitrógeno. La otra técnica -- de recolección aprovecha tanto la parte sólida como la líquida. Se efectúa mediante canales recolectores que conducen los dese

chos a una fosa donde se almacenan. Esta técnica se aplica --- principalmente en granjas modernas, con uso de poca mano de --- obra (4).

Cuando el estiércol sólido se guarda al aire libre, la lixivación causa la pérdida del 35% de potasio, 20% de nitrógeno y hasta 7% de fosfatos en una estación. Además hay pérdidas -- gaseosas, el 10% del nitrógeno puede volatilizarse en forma de gas nitrógeno o amoníaco (24,42,47).

Para evitar las pérdidas de nutrientes del estiércol se recomienda compactarlos perfectamente con la finalidad de excluirles el aire, mantenerlos con la humedad adecuada, cubrirlo con una cubierta o techo para protegerlo contra el medio ambiente, ya que más o menos, la mitad del valor fertilizante del abono se pierde durante varios meses de exposición a la lluvia y al sol (27,40,42,47).

Permitir la acumulación del estiércol en los pisos de establos o en lugares cubiertos o cerrados, es un medio práctico y eficiente de almacenamiento. Si se ha utilizado suficiente cama, el fertilizante líquido es absorbido, el pisoteo de los animales compactará el estiércol y las pérdidas por fermentación se mantendrán al mínimo (27).

Otro método para conservar el estiércol consiste en depositarlo en zanjas. Se coloca una cama de paja o basura de granja debajo de cada animal cada noche, para la abosrción de orina. Cada mañana deben mezclarse bien la cama empapada de orina y -- los excrementos y llevarse a la zanja del abono. Una vez que -

el depósito está lleno, se cubre usando una capa de tierra, y a los tres meses, el abono estará listo para su uso (40),

Cuando no se dispone de un lugar adecuado para almacenar - el estiércol lo mejor es aplicarlo al campo a medida que se va sacando de los establos, e incorporarlo inmediatamente al suelo para evitar así importantes pérdidas de nitrógeno (25,41). Heck, citado por Thompson, expuso estiércol de vacuno durante diferentes períodos de tiempo a 20°C. Determinó que en 12 horas se -- perdió el 7.7% del nitrógeno total, el 23.4% en 36 horas y el - 36.2% en 7 días (43),

2.5.4. Efecto residual del estiércol.

El estiércol presenta un efecto residual en el suelo debido a que sus reservas nutritivas no son accesibles inmediatamente para la planta.

Baeyens (1970), citado por Villarroel, menciona que es necesario distinguir dos efectos del estiércol en el suelo, uno - relativamente inmediato y uno remanente. En suelos arenosos, - el estiércol actúa durante el primer año especialmente, mien--- tras que en suelos francos o pesados el efecto del estiércol -- subsiste incluso hasta el cuarto año(46).

Hall citado por Buckman, menciona experimentos en los cuales encontraron que el efecto de la aplicación de 32 ton/ha. de estiércol durante 8 años, fueron observables cuarenta años después del último tratamiento (10),

Arreola, citado por Salcedo, menciona que la adición de 30 a 40 ton. métricas de estiércol a cultivos experimentales, produjeron efectos residuales observables por 5 a 6 años. Además se observó efecto residual en las características físicas del suelo, ya que la compactación del suelo se redujo durante los dos primeros años, y la estabilidad de los agregados se incrementó por 4 años (38).

Crowther, citado por Russell, demostró en un suelo ligero-constantemente cultivado con trigo o cebada durante 50 años, -- que el contenido de nitrógeno descendía desde 0.16 a 0.10% durante ese período si no se le aplicaba estiércol de cuadra, pero se mantenía aproximadamente a ese nivel cuando se le suministraba de 15 a 18 ton/ha. (37).

Herron and Erhart en 1965, realizaron un estudio en un suelo limoso calcáreo, encontrando que cada tonelada de estiércol de bovino que se aplicaba al suelo, producía un incremento en el rendimiento de sorgo de grano, equivalente al que producían 11 libras de Nitrógeno químico por acre (59.5 kg N/ha).

Su valor residual decrece aproximadamente la mitad cada -- año, hasta llegar al cuarto año después de la aplicación del -- estiércol, quedando un residuo de dos libras de N por acre --- (10.9 kg de N/ha.) (23).

Meek, Graham y Doroyan (1982), realizaron un estudio para medir el efecto residual del estiércol en algunas características del suelo, el experimento tuvo una duración de nueve años, y se realizó en un suelo calcáreo arcillo-limoso, en el Valle -

Imperial, California. Se detectó que en el estrato de 0-60 cm. de profundidad el fósforo aprovechable, era el doble en aquellos tratamientos que recibieron 180 ton/ha de estiércol que en los testigos. También se detectó en este estrato que el potasio intercambiable se incrementó significativamente, aunque su cantidad decreció marcadamente después del tercer año de haberse aplicado el estiércol, tal vez a causa de su lixiviación. El contenido de M.O. en el estrato de 0-30 cm también se incrementó, del 1 al 3% en donde se aplicó estiércol. La pérdida anual de M.O. después de la aplicación de estiércol fué del 5 al 7% - (25).

Lund y Basil (1980), citados por Nieto, llevaron a cabo un experimento durante cuatro años, en donde aplicaron abono de bovino en dosis que iban de 0 a 270 ton/ha. Encontraron que, en el transcurso de los cuatro años, la cantidad tomada de N por los cultivos de mijo perla y centeno utilizados en la rotación, aumentó significativamente, así como también se incrementó la movilidad del P, K y Mg en el suelo (30).

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

2.5.5.1. Efecto de la aplicación del estiércol en la estructura del suelo.- El mayor agente en la producción de granulación es probablemente la M.O. Una cantidad adecuada de M.O, favorece una buena estructura del suelo (10,47),

El humus y la arcilla poseen propiedades electroquímicas -

que son efectivas probablemente en la organización y estabilización de los agregados del suelo.

Al adicionarle al suelo estiércol, proporcionamos M.O., la cual es de mucha importancia, ya que modifica los efectos de la arcilla. Probablemente exista una relación química entre la degradación de la M.O. y las moléculas de los silicatos. La granulación de un suelo arcilloso no puede ser provocada adecuadamente sin la presencia de una cierta cantidad de humus (10).

Elizondo, afirma que la aplicación de grandes cantidades de M.O. en cualquiera de sus formas, produce un notable incremento en la agregación del suelo inmediatamente después de ser incorporada (14).

Robinson, citado por Elizondo, indica que la M.O. asociada con la arcilla y posiblemente adsorbida por ésta, constituye la fracción más efectiva en la estabilización de los agregados (14).

Mazurak, et al. (1977), citados por Nieto, encontraron que al aplicar 390 ton/ha de estiércol se aumentó la estabilidad de los agregados de un suelo migajón arcillo-arenoso, afirmando que dicha estabilidad está asociada con la conversión a largo plazo de la M.O. a humus, ya que el efecto benéfico se observó aún cuatro años después de aplicado el abono al suelo. En otro estudio, estos mismos autores explican que en un suelo abonado, los agregados fueron separados con más facilidad por el impacto de las gotas de lluvia que en los testigos; sin embargo, la dureza de la costra fué menor y la estabilidad de los agrega

dos separados fué mucho mayor en el suelo donde se aplicó el estiércol, por lo que los agregados no son fácilmente arrastrados y la superficie del suelo permanece abierta a la entrada -- del agua (30).

Chaudhri, et al. citado por Escobedo, encontraron que aplicando pequeñas cantidades de estiércol en bandas directamente arriba de los surcos, induce a la formación de grietas las cuales disminuyen, la fuerza requerida por la plántula para emerger (15).

2.5.5.2. Efecto de la aplicación del estiércol sobre el contenido y disponibilidad de nutrientes en el suelo.- Cuando se agrega estiércol al suelo, se está agregando nutrientes al suelo. Pero éste no es solo fuente de nutrientes, sino que ayuda a que el suelo retenga y aproveche los elementos suministrados por los fertilizantes (5).

Adiciones de M.O. constituyen una aportación de nutrientes y pueden favorecer según varios experimentos, la transformación de minerales bastante estables a formas más solubles y activas-- que proporcionarán elementos esenciales a la planta (29).

El estiércol es una magnífica fuente de fósforo que aún a dosis bajas incrementa substancialmente su disponibilidad en el suelo. Además de proporcionar fósforo al suelo el estiércol ha ce más asimilable el fósforo nativo del mismo (8).

Hannaper, et al. (1964), citados por Abbott y Tucker, encontraron que los tratamientos con M.O. incrementan el movimiento del fósforo en suelos calcáreos, Este incremento estuvo aso

ciado con el incremento del fósforo orgánico en la solución del suelo. Además, el trabajo mostró que el fósforo nativo del suelo también fué movilizado por la población microbiana (1). Cuando se aplica estiércol al suelo, dá como resultado un incremento en la actividad biológica del mismo, y esto trae como consecuencia un incremento en la disponibilidad de nutrientes para las plantas (8).

Chesnin y Mazurak (1977), citados por Escobedo, aplicaron estiércol de bovino en un suelo Tipico Arguidoll a razón de 0, 90, 180 y 360 ton/ha por año, durante cuatro años, los niveles de fósforo se incrementaron. El fósforo mineralizado se movilizó de una profundidad de 10 cm a una de 60 cm durante los cuatro años (15).

Estudios realizados en nuestro país como en la Comarca Lagunera, revelan que la aplicación de 20 ton de estiércol proporcionan 300 kg de nitrógeno, de los cuales solo 75 kg se mineralizan el primer año; proporciona además 220 kg de P_2O_5 que paulatinamente incrementan su disponibilidad en el suelo (8).

Ponsica, et al. (1983), aplicaron abono de bovino y gallinaza en un suelo, a razón de 6, 9 y 12 ton/ha encontrando un incremento en el contenido de N, P y K del suelo cuando se utilizaron 9 y 12 ton/ha en ambos estiércoles (32).

Herron y Erhart (1965), en el experimento llevado a cabo en un suelo calcáreo, aplicando estiércol de bovino, encontraron que éste es una buena fuente de nitrógeno para el sorgo de grano, además el efecto residual se extendió hasta cuatro años-

después de su aplicación (23).

Robinson, citado por Nieto, observó que la aplicación de distintos abonos al suelo, aumentó la cantidad de NO_3 y NH_4 como fuente de N en los primeros 25 cm del suelo (30).

Wallingford, et al. (1975), citados por Escobedo, encontraron que en dos años de aplicación de estiércol de bovino, se incrementó la disponibilidad de Fe, Zn, Mn y en menor grado el Cu. Escobedo cita además a Chesnin y Mazurak (1977), los cuales realizaron un experimento con estiércol de bovino, encontrando que las aplicaciones de abono tuvieron un efecto relativamente mayor en los niveles de Zn, Fe y Mn que en el nivel de Cu en el suelo (15).

Thomas y Mathers (1979), citados por Nieto, reportan que la aplicación de abonos orgánicos redujo la clorosis férrica y aumentó el crecimiento del sorgo en un suelo calcáreo, y que la utilización de sulfato de hierro en cambio, no dió ningún resultado en la reducción de la clorosis (30).

Estudios realizados en Texas, han mostrado que el estiércol es una magnífica fuente de hierro y zinc en suelos calcáreos, como los de la región lagunera. Aún a dosis bajas de 11 ton/ha se duplicaron los rendimientos en suelos de baja disponibilidad de hierro. La alta disponibilidad de hierro en el estiércol se explica en base a su acción quelatante propiciada debido a la presencia de M.O. (8).

2.5.5.3. Efecto de la aplicación del estiércol sobre la infiltración y capacidad de retención de agua del suelo.- La aplicación de estiércol al suelo mejora las condiciones físicas del mismo. Ya que el estiércol actúa como un acondicionador del suelo mejorando la estabilidad de los agregados y por lo tanto mejorando la capacidad de retención de agua (8).

Además la M.O. tiene una gran influencia en la capacidad de retención de agua de un suelo, que por sí presenta valores deficientes.

La infiltración y captación de humedad del suelo, son procesos que están muy íntimamente relacionados con la estabilidad estructural, ya que la cantidad de agua que entra al suelo será mayor si se tienen estructuras granulares y estables, (43).

Mohammed, et al. (1977), en un estudio con estiércol de bovino, abono de pescado y compost, encontraron que el estiércol de bovino influyó más que los otros dos en la capacidad de retención de agua, seguido por el abono de pescado y por último el compost (28).

Meek, et al. (1982), encontraron que el usar estiércol en suelos calcáreos arcillosos, había una correlación negativa entre la infiltración de agua (horas) y la M.O., es decir, a mayor cantidad de M.O. en el suelo, menor tiempo le toma a el agua infiltrarse. Determinaron que un incremento del 1% en el contenido de M.O., disminuyó en un 31% el tiempo de infiltración (25).

El estiércol al ser incorporado al suelo no solo aumenta la infiltración sino que también disminuye la evaporación del agua del suelo, especialmente cuando se incorpora superficialmente, por lo que su uso puede ser una estrategia para utilizar el agua más eficientemente en donde no se cuenta con éste recurso.

Gilbertson (1979), Van Doren y Allmaras (1978), citados por Campos, aseguran que la aplicación de estiércol y rastrojo reducen la evaporación directa del agua, aumentan la infiltración, la capacidad de retención de humedad y la fertilidad del suelo. Campos, et al. (1983), realizaron un estudio en Chapin-go, Mex., aplicaron estiércol en cantidades de 0, 5 y 10 ton/ha y rastrojo en cantidades de 0 y 5 ton/ha, en un suelo migajón arenoso. Los resultados obtenidos indicaron que el estiércol produjo un aumento de la humedad retenida a capacidad de campo de 16.4 a 20% de contenido de humedad (12).

Unger y Stewart (1974), citados por Nieto, encontraron que la aplicación de abono de establo, no incrementó el contenido de agua en las capas superficiales del suelo, sin embargo, observaron que la evaporación disminuyó. Ellos atribuyen esto a que el agua debió moverse a mayores profundidades en el suelo, donde el agua es menos susceptible a perderse por evaporación y se conserva mejor para su consumo por las plantas (30).

2.5.5.4. Efecto de la aplicación del estiércol sobre la densidad aparente del suelo.- Suelos con alto contenido de M.O. y --

una buena agregación, tendran valores de densidad aparente más-bajos.

La adición de estiércol en grandes cantidades, tiende a - disminuir la densidad aparente de los suelos superficiales (31).

Mohammed, et al. (1977), encontraron que al incorporar estiércol de bovino al suelo, disminuía la densidad aparente --- (28).

Ponsica, et al. (1983), encontraron que al aplicar estiércol de bovino y gallinaza en dosis de 12 ton/ha en un suelo -- calcáreo disminuía la densidad aparente de 1.33 gr/cm^3 a 1.31 y 1.29 gr/cm^3 respectivamente (32).

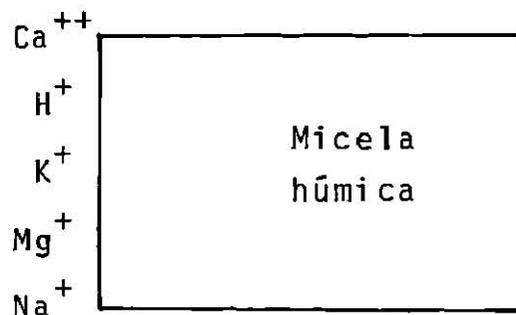
Unger y Stewart (1974), citados por Nieto, encontraron que al aplicar estiércol de bovino a razón de 268 ton/ha a un suelo arcilloso del estado de Texas, la densidad aparente del mismo disminuyó de 1.37 gr/cm^3 en el testigo a 1.12 g/cm^3 en los - tratamientos con estiércol (30).

Los cambios en la densidad aparente son más notables a dosis altas, superiores a los 60 ton/ha por año, especialmente - durante los primeros años (8).

2.5.5.5. Efecto de la aplicación del estiércol sobre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) del suelo.- Las plantas - utilizan los iones que se hallan en la solución acuosa del suelo y los adsorbidos en la superficie de las partículas coloidales. Los coloides son de dos tipos: minerales (arcillas) y orgánicos (humus) (36). La C.I.C. de un suelo está afectada por-

la naturaleza y la cantidad de los coloides minerales y orgánicos. La C.I.C. de las arcillas de silicato varía de 8 a 150 meq por 100 gr. de suelo, mientras que la C.I.C. del humus bien desarrollado, se encuentra entre valores de 150 a 300 meq por 100 gr de suelo. El humus y la arcilla son complejos coloidales que tienen similar organización. La lignina modificada, los poliurónidos, las proteínas arcillosas y algunos otros constituyentes, funcionan como micelas complejas. Bajo condiciones ordinarias, éstas se encuentran cargadas negativamente, pero en lugar de estar constituidas de sílice, oxígeno, aluminio y fierro como los cristales de silicato, las micelas húmicas están compuestas en su mayoría de carbono, hidrógeno y oxígeno con menores cantidades de nitrógeno, azufre, fósforo y otros elementos. Las cargas negativas proceden de los grupos $-COOH$ (carboxilo) y $-OH$ (hidroxilo), de los cuales una parte del H puede ser reemplazado por el intercambio de un catión.

Las micelas húmicas, tales como las partículas de arcilla, llevan un conjunto de cationes adsorbidos (Ca^{++} , H^+ , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , etc) como se muestra a continuación:



Cuando el coloide húmico se satura con H^+ , se incrementa la disponibilidad de ciertos nutrientes base como el Ca, K y

Mg. Parece que un humus-H, al igual que en el caso de la arcilla-H, es el que actúa como ácido ordinario y puede reaccionar con minerales del suelo, de tal forma que puede extraer sus bases. El humus ácido tiene una extraña capacidad de intervenir como transferente, puesto que el ácido orgánico es comparativamente fuerte. Una vez efectuado el intercambio, las bases así afectadas se liberan en condiciones de adsorción débil y de esta forma son fácilmente asimilables por las plantas superiores. La siguiente reacción nos ilustra bien este fenómeno (10).



K adsorbido y disponible
para las plantas

Blasco (1981), citado por Nieto, afirma que en suelos de trópico, la C.I.C. dependiente de la M.O., puede llegar a significar el 80% de la C.I.C. total del suelo (30).

McIntosh y Varney (1973), citados por Escobedo, realizaron un estudio, durante cinco años en un suelo arcilloso. Aplicaron abono orgánico y N de fuente química. Sus resultados muestran que hubo un aumento en la C.I.C. (15).

2.5.5.6. Efecto de la aplicación del estiércol sobre la conservación del suelo.- Las adiciones de M.O. producen efectos benéficos en las condiciones físicas del suelo, ya que contribuyen al control de la erosión de la siguiente forma: aumentan la agregación del suelo, amortiguan el impacto de las gotas de lluvia, mantienen una alta velocidad de infiltración, reducen -

el arrastre de las partículas del suelo y aumentan la capacidad de retención de humedad (41).

Terrazas (1977), en un estudio realizado en la cuenca del Valle de México, evaluó la adición de 10 ton/ha de estiércol de bovino en los cultivos de maíz, asociación maíz-frijol y cebada, encontrando que la pérdida de suelo disminuyó en un 49% en el cultivo de la cebada, un 34% en el cultivo del maíz y solo un 8% en la asociación maíz-frijol (41).

Nieto menciona un estudio realizado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, donde se observó que la --- aplicación de desechos animales a un suelo que tenía 74% de arena, 20% de limo y 6% de arcilla, redujo la erosión eólica. Se observó que, al menos 30 ton/acre (33.62 ton/ha) de desechos -- animales incorporados con el arado, ó 15 ton/acre (16.81 ton/ - ha) esparcidos sobre la superficie del suelo, redujeron las per didas del suelo causados por el viento de 4.48 ton/ha en los -- testigos, a menos de 0.56 ton/ha (88% de reducción en las per didas de suelo) (30).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del experimento

El presente estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (F.A.U.A.N.L.), ubicada en el municipio de Marín, N. L. en el ciclo agrícola de invierno 1985-1986. Las coordenadas geográficas del campo experimental son: 25°53' latitud norte y 100°3' longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 367.3 metros.

El clima en la región según la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García es el siguiente:

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

donde los términos significan:

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

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

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

(e') : Muy extremoso, oscilación anual de temperaturas medias mensuales mayor de 14°C (18).

El tipo de suelo donde se realizó el presente experimento-

es calcáreo, sedimentario, de textura arcillosa (arcilla 32%, - limo 46.52% y arena 21.48%). y el pH es de 7.4, o sea ligeramente alcalino.

3.2. Materiales y Aparatos

Semilla de trigo, variedad Pavon F-76.

Las características más importantes de ésta variedad, según S.A.R.H. (1977) son:

Caracteres	Descripción
Días a floración	91 a 107
Días a madurez fisiológica	150
Altura de la planta	100 cm
% de germinación	95
Color de la espiga	Crema
Color del grano	Blanco
Calidad del glúten	Fuerte
Reacción a roya del tallo	Resistente
Reacción a roya de la hoja	Resistente
Calidad	Harinero

(39)

Aparato medidor del módulo de ruptura.

Este aparato, consiste en una plataforma de madera, sobre la cual va acoplado un marco del mismo material y una balanza granataria. El marco, tiene un tornillo que va roscado libremente a una tuerca incrustada en el travesaño, lo cual permite tener movimiento vertical ajustable. El tornillo trae soldada

una navaja cortapluma, de tal manera que al girar el tornillo hacia la derecha o hacia la izquierda, podremos regular la posición de la navaja según convenga. La función de la navaja es la de cortar los pequeños bloquecitos, provenientes de las diferentes muestras de suelo y que simulan la costra en el campo.

La balanza granataria fué colocada de tal forma que el centro del plato de ésta, quedara justo debajo de la navaja cortante. Al centro del plato de la balanza, se le acopló la pequeña base que sostiene a los bloquecitos y en ella van incrustados en forma paralela dos placas metálicas, cuya función es la de sostener al bloquecito. De ésta forma, al agregarle peso a la balanza, el plato de ésta, se eleva junto con el bloquecito el cual con un determinado peso, sería quebrado en su parte media al ser presionado en contra de la navaja cortante (ver Figura 2).

Moldes para la elaboración de ladrillos.

Estos moldes fueron fabricados con tiras de madera de 1 cm^2 de espesor, los cuales se acoplaron de tal manera que forman una reja cuya capacidad es de 98 pequeños moldes cuyas medidas son $3,5 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ de ancho, de largo y de alto respectivamente. Bajo esta reja se encuentra una malla mosquitera cuya función es la de servir de piso permeable, a través del cual el agua humedece las muestras colocadas en los moldes para formar los pequeños bloquecitos.

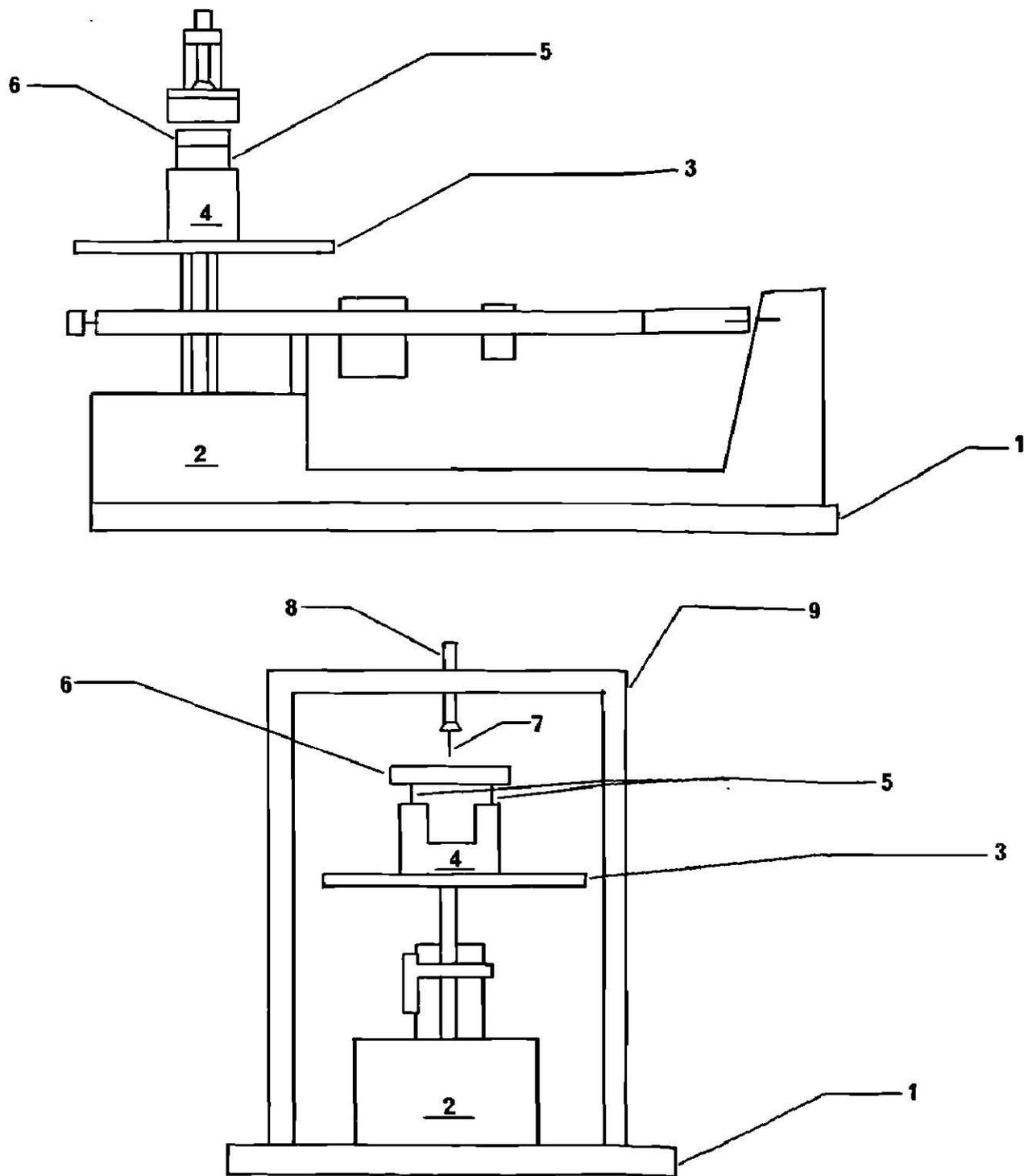


Figura 2. Vista lateral y anterior del aparato ideado para hacer las determinaciones de módulo de ruptura, donde: 1. base de madera, 2. balanza granataria, 3. plato de la balanza, 4. soporte de madera, 5. navajas que sostienen al ladrillo, 7. navaja cortadora, 8. tornillo ajustable y 9. travesaño. Escala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

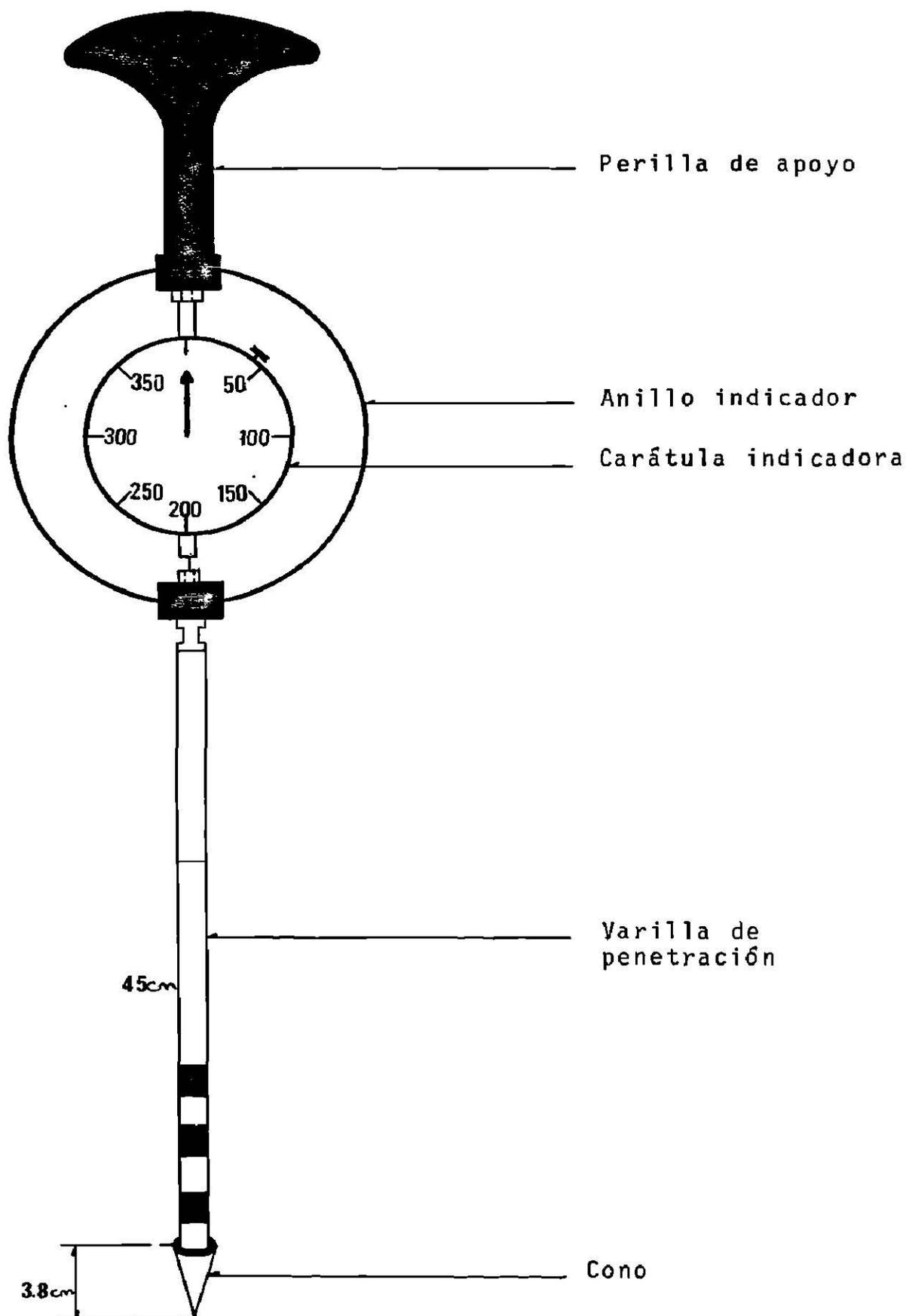


Figura 3. Penetrómetro utilizado para determinar la dureza de la costra directamente en el campo.

Penetrómetro de cono, tipo militar.

Este instrumento es usado para medir la dureza de la costra en el campo y consta de una perilla de apoyo tipo "T", una varilla de penetración la cual termina en un cono cuya función es romper la costra, un anillo indicador, cuya deflexión depende de la dureza de la costra y por último, la carátula indicadora, que registra la deflexión sufrida por el anillo indicador (ver Figura 3).

Barrenas de densidad aparente y de caja.

Se utilizaron dos tipos de barrenas en el experimento, una para la determinación de densidad aparente, llamada también barrena "Huland", la cual 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 muestra uniforme; la otra barrena utilizada para obtener muestras para la determinación de módulo de ruptura, M.O., pH. y C.E., 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 incorporaran al cilindro.

Otros materiales.

En éste se incluyen los demas implementos y materiales usados en el experimento como son: tractor, rastra, balanza gra-

nataria, vernier, cinta métrica, azadones, talaches, palas, estacas de madera, mecates, bolsas de polietileno y frascos de vidrio.

3.3. Procedimientos Experimentales

3.3.1. Establecimiento del experimento.

El presente trabajo forma parte de una serie de experimentos cuya finalidad es estudiar el efecto residual del estiércol de bovino, sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo. El primer experimento se inició el 20 de julio de 1983, fecha en la que se delimitó el lote experimental, que constó de tres bloques, cada uno de los cuales era una repetición, ésta contenía trece unidades experimentales, en donde se aleatorizaron los trece tratamientos (ver Tabla 5 y 6). La preparación del terreno consistió de un barbecho y después el estiércol se aplicó al suelo con un 13% de humedad, mediante otro paso de rastra. El fertilizante químico, sulfato de amonio como fuente de nitrógeno fué aplicado al momento de la siembra. En los siguientes ciclos, no se realizó ninguna otra aplicación de estiércol, ni fertilizante químico, sino que solo se observó como evolucionó el contenido de M.O. del suelo, y como fueron afectados los componentes morfológicos del rendimiento en cada tratamiento. En la Tabla 3 presentamos el orden cronológico en que se desarrollaron estos trabajos.

Tabla 3. Trabajos de evaluación de costra y efecto residual del estiércol de vacuno, llevados a cabo a partir del verano de 1983 en el mismo lote experimental.

Ciclo	Cultivo	Fecha de siembra
1	Frijol	18 - 8 - 1983
2	Trigo	21 -12 - 1983
3	Frijol	9 - 8 - 1984
4	Trigo	19 -12 - 1984
5	Frijol	12 - 8 - 1985
6	Trigo	9 -12 - 1985

El presente experimento constituye el sexto y último ciclo de cultivo, en el cual se sembró trigo al voleo con una densidad de siembra de 120 kg/ha. Las labores realizadas antes de la siembra fueron las siguientes: se dió un corte a la maleza del terreno usando una chapoleadora; después se dió un paso de rastra sin derribar los bordos que dividían los tratamientos y se procedió a sacar todos los residuos de malezas que quedaron en el terreno para evitar que interfirieran con el contenido de M.O. del suelo. El segundo paso de rastra se dió en sentido contrario al primero con la finalidad de mantener a los tratamientos en su posición original y para desmenuzar bien los terrones que quedaban en el terreno.

Después se estaco el lote experimental, siguiendo los puntos de referencia existentes para delimitar los tratamientos y se trazaron los bordos y regaderas, utilizando para ello trac

tor con bordeadora de discos.

En la Tabla 4 se describen las labores llevadas a cabo en el presente experimento desde la siembra hasta la cosecha, con el fin de facilitar la comprensión e interpretar más eficientemente la metodología desarrollada en el presente experimento.

Tabla 4. Labores culturales llevadas a cabo en el presente experimento en orden cronológico.

Fecha	Días transcurridos	Labor realizada
09-12-85	-	siembra
17-12-85	8	primer riego
13-01-86	35	conteo PPM
21-01-86	43	segundo riego
27-01-86	49	altura primera medición
07-02-86	60	muestreo de suelo D.A.y H°
10-02-86	63	altura segunda medición
25-02-86	78	altura tercera medición
26-02-86	79	tercer riego
21-03-86	102	cuarto riego
11-04-86	123	L.P.
18-04-86	130	muestreo de suelo M.O., C.E. M.R. y pH.
02-05-86	144	cosecha

Donde PPM es el número de plantas por metro cuadrado; DA es densidad aparente; H° es humedad; L.P. es lectura de penetrómetro; M.O. es materia orgánica, C.E. es conductividad eléctrica y M.R. es módulo de ruptura.

Cabe señalar, que no fué necesario la aplicación de ningún agroquímico, debido a que no se presentaron plagas y enfermedades.

des. Por otra parte, se tuvo pocos problemas con malezas, las cuales fueron controladas manualmente.

Tabla 5. 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

Tabla 6. Niveles de estiércol al 13% de humedad aplicadas el verano de 1983, en cada tratamiento.

Nivel de estiércol (ton/ha)	Kilogramos de estiércol por parcela de 32 m ²
0	0
25	80
50	160
75	240
100	320

3.3.2. Diseño experimental.

En el presente experimento se utilizó un diseño bloques al azar, que constó de tres repeticiones, cada una de las cuales contenía 13 tratamientos con lo que se generaron 39 unidades experimentales. El arreglo de éstos fué de acuerdo a un cuadrado doble (ver Figura 4 y 5). Esto se hizo con la finalidad de probar algunas interacciones estiércol-fertilizante que resultaban de interés. El diseño fué basado en un arreglo factorial 5 x 5 del cual se eliminaron 12 de las 25 combinaciones en forma sistemática, las restantes 13 combinaciones tienen un cubrimiento uniforme del espacio de factores (ver Tabla 5 y Figura 4).

Las hipótesis estadísticas que se plantean son las siguientes:

H_0 : no existe diferencia estadística significativa de la(s) variable(s) estudiadas, entre los tratamientos.

H_1 : existe diferencia estadística significativa de la(s) variable(s) estudiadas, entre los tratamientos.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = es la variable bajo estudio

μ = es la media verdadera general

τ_i = es el efecto verdadero del i -ésimo tratamiento

β_j = es el efecto verdadero del j -ésimo bloque

ϵ_{ij} = es el error aleatorio asociado a la j -ésima unidad expe-

rimental, surgen por el efecto conjunto de todos los factores no controlados por el diseño y que causan heterogeneidad.

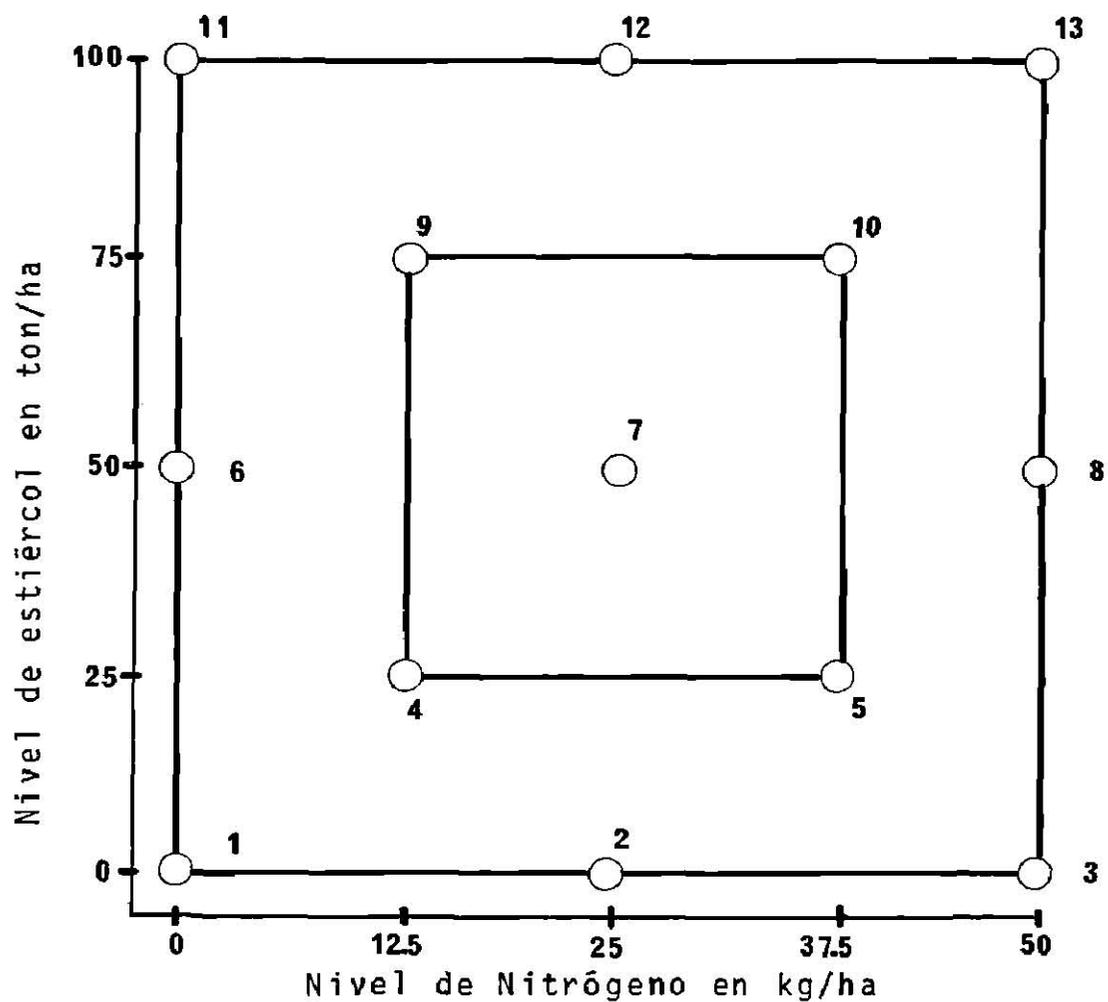


Figura 4. Distribución espacial de los tratamientos empleados, de acuerdo a el arreglo de un cuadrado doble.

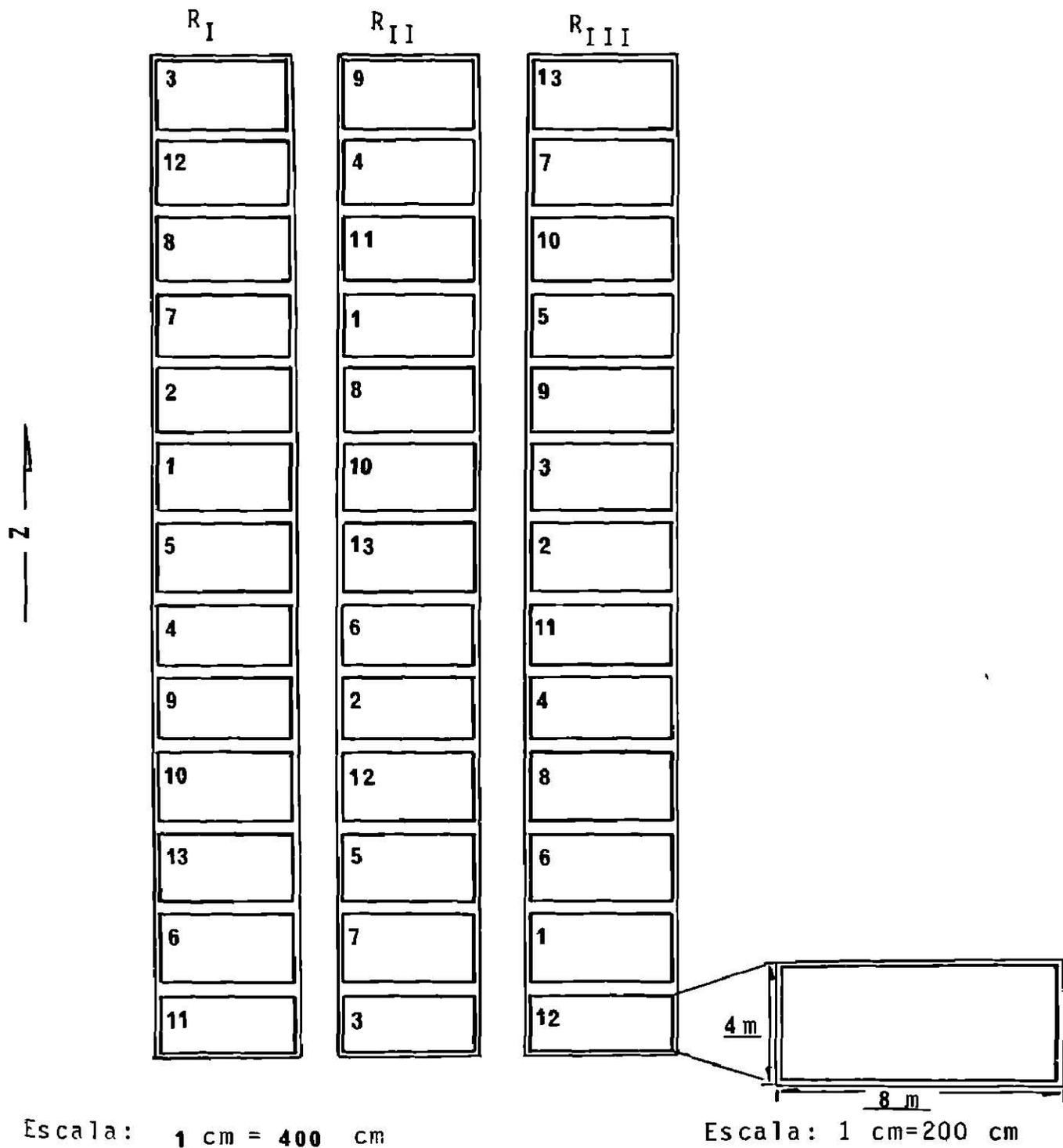


Figura 5. Croquis del experimento y forma en que fueron aleatorizados los tratamientos en el campo.

3.4. Procedimiento de Recolección de Datos

3.4.1. Variables con respecto a la planta.

Primero que todo es importante definir el área ocupada por la unidad experimental que fué de 32 m^2 , pero la parcela útil - presentó una superficie de 8.0 m^2 debido a que se eliminó 1.0 m de cabecera y 1.15 m a ambos lados de la unidad experimental, - además del metro cuadrado central.

Número de plantas por metro cuadrado (NPM).

Esta variable se obtuvo contando el número de plantas emergidas en el metro cuadrado antes de que amacollaran. Para realizar el análisis de varianza los datos fueron transformados - empleando la siguiente fórmula: $\sqrt{\text{NPM}+1}$ donde NPM es el número - de plantas por metro cuadrado.

Rendimiento de grano por hectárea (RGH).

Se obtuvo del peso del grano producido por la parcela --- útil, eliminandose las plantas presentes en el metro cuadrado - del centro de la parcela útil. El peso obtenido de cada parce - la experimental de 8 m^2 , fué luego transformado a toneladas por hectárea.

Rendimiento de grano por metro cuadrado (RGM).

Esta variable se obtuvo cosechando las plantas presentes - en el metro cuadrado de cada parcela experimental y el grano ob - tenido se peso correctamente.

Peso de paja por metro cuadrado (PPM).

Esta variable fué obtenida al pesar el total de las plantas

cosechadas en el metro cuadrado de la parcela útil, y restándole posteriormente el peso del grano, para así obtener el peso de la paja.

Número de espigas por metro cuadrado (NEM).

Se obtuvo contando todas las espigas obtenidas al cosechar las plantas presentes en el metro cuadrado del centro de la parcela útil de cada unidad experimental. Para realizar los análisis de varianza los datos fueron transformados empleando la fórmula $\sqrt{NEM+1}$, donde NEM es el número de espigas por metro cuadrado.

Altura de planta.

Se obtuvieron tres alturas de plantas escogiendo al azar diez de ellas de la parcela útil, procediéndose después a sacar un promedio para tener una altura representativa. La altura fué considerada desde la base del tallo hasta la punta de la última hoja en las primeras dos mediciones de altura y en la tercera medición desde la base del tallo hasta la punta de la espiga.

3.4.2. Variables con respecto al suelo.

Contenido de materia orgánica (M.O.) .

Se obtuvo casi al finalizar el ciclo, obteniéndose a profundidades de 0-15 cm (MO_1) y 15-30 cm (MO_2) en el centro de la parcela útil. Esto se realizó utilizando la barrena de caja. Posteriormente se procedió a secar las muestras obtenidas y tamizar

las para llevarlas al laboratorio para su análisis. El método de laboratorio usado para la determinación del contenido de M.O. fué el de Walkley y Black. Para realizar los análisis de varianza, los datos fueron transformados de la siguiente manera:

$\text{Sen}^{-1} \sqrt{p}$ donde Sen^{-1} es la función seno inverso y p es el contenido de M.O. expresado como proporción.

Conductividad eléctrica (C.E.).

Se obtuvo de la muestra de suelo extraído para la determinación de M.O. con la barrena de caja. Se obtuvo la C.E. para -- dos profundidades 0-15 cm y 15-30 cm. Después de haber puesto a secar el suelo y tamizarlo se procedió a llevarlo al laboratorio de suelos para determinarles su C.E. a cada una de las muestras. El método empleado fué mediante el puente de Wheatstone, y su valor es expresado en milimhos por centímetro (mmho/cm).

Reacción del suelo (pH).

El pH es otra variable obtenida de la muestra de suelo ex-- traída para la determinación de M.O. Se obtuvo en el laboratorio de suelos después de haber secado y tamizado el suelo previamente. El pH se determinó para dos profundidades 0-15 cm y 15-30 cm de cada una de las parcelas experimentales.

Módulo de ruptura (M.R.).

El módulo de ruptura, como se mencionó con anterioridad, es un concepto relacionado con la fuerza de ruptura de bloquitos-- que representan la costra del suelo, y se usa para evaluar la cohesión del suelo seco.

Esta determinación se realizó a dos profundidades 0-15 cm. (MR_1) y 15-30 cm. (MR_2). Cada muestra previamente seca y tamizada proveniente de cada una de las parcelas experimentales -- fué utilizada para llenar cinco moldes con el fin de obtener -- cinco bloquécitos o repeticiones de cada parcela experimental. Cada reja (que contenía 98 pequeños moldes de 3,5 cm x 7 cm x 1 cm), se colocó sobre una plataforma plana de lámina, se procedió después a llenar un poco más arriba del tope. Inmediatamente después se humedecieron las muestras por capilaridad, esto se logró, dándole una pequeña inclinación a la plataforma sobre la cual descansaba la reja, y aplicando el agua suavemente. Una vez bien humedecidas las muestras, se trasladaron al cuarto de secado, en donde se secaban a una temperatura de 50-55°C - hasta peso constante. Generalmente el tiempo que tomaba éste - último paso fué de aproximadamente 48 horas. Una vez que estuvieron bien secos los bloquécitos se sacaron del cuarto de secado y se procedió a colocarlos en el aparato ideado para determinar el módulo de ruptura. El peso del soporte de madera y del ladrillo era destarado de tal forma, que la báscula granataria - estuviera balanceada en cero, luego se procedió a ajustar la - navaja cortante, a que solo rozara justo la mitad del bloquécito. Después de esto se procedió a añadirle peso a la báscula y registrar el peso que fué necesario para romper cada bloquécito, sin olvidar que para cada parcela experimental, el peso de ruptura se obtuvo del promedio de cinco ladrillos. Los datos - fueron luego sustituidos en la siguiente fórmula:

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

donde F es la fuerza de ruptura en el centro del ladrillo (en gramo-peso); L , es la distancia entre los soportes que contienen al ladrillo (5.08 cm), b , es la anchura del ladrillo (3.5 cm) y d , el espesor del mismo (1 cm) (ver Figura 6). Si F se expresa en dinas (gramo-peso $\times 980$ cm/seg²) y L , b y d en centímetros, el módulo de ruptura (S) estará expresado en dinas·cm⁻². Sin embargo, el módulo de ruptura también puede ser expresado en bares o milibares (1 bar = 1000 milibares = 10⁶ dinas·cm⁻²). En este experimento, para facilitar el manejo de los datos (en los análisis estadísticos), se transformaron éstos a bares. A continuación presentamos un ejemplo, de como se transforman -- los datos obtenidos para facilitar su comprensión.

Ejemplo: Fuerza. \bar{x} =900 gr.

$$S = \frac{3 (900 \text{ gr}) (5.08 \text{ cm})}{2 (3.5 \text{ cm})(1 \text{ cm})^2}$$

$$S = 1959.4 \text{ gr/cm}^2$$

$$S = 1959.4 \text{ gr/cm}^2 (980 \text{ cm/seg}^2)$$

$$S = 1920240 \text{ dinas/cm}^2$$

$$S = 1.920 \text{ bares}$$

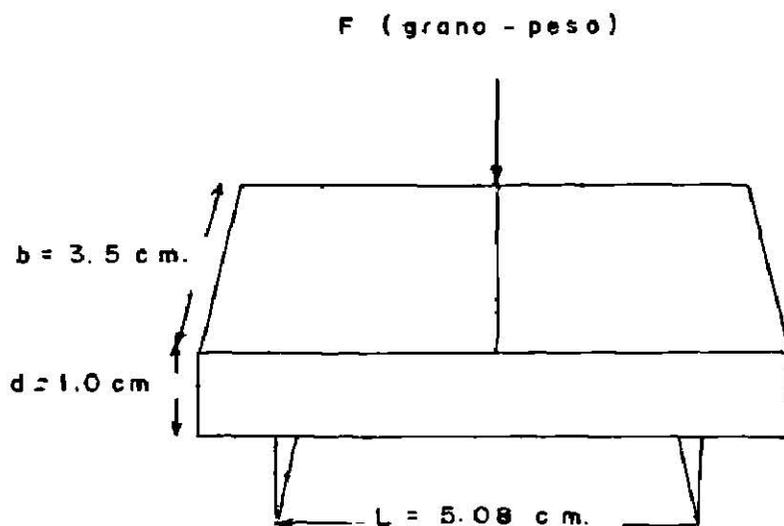


Figura 6. Ilustración de un ladrillo de tamaño natural con las dimensiones consideradas para determinar el módulo de ruptura.

Densidad aparente (DA).

Se tomaron muestras de suelo de la parcela útil a dos profundidades 0-15 cm (DA_1) y 15-30 cm (DA_2), utilizando el método de la barrena, la cual recoge la muestra del suelo en un cilindro de volumen conocido. Cada muestra se colocó inmediatamente en un frasco de vidrio y se llevaron a la estufa, donde se secaron hasta peso constante a una temperatura de 50°C . Para obtener el peso de cada muestra en gramos se destaró el pe-

so del frasco que las contenía, el valor resultante fué luego dividido entre el volumen del cilindro muestreador (155.6576 -- cm^3) para obtener la densidad aparente en gramos por centímetro cúbico (gr/cm^3).

Humedad del suelo (H°)

Aquí se utilizaron las mismas muestras para determinar DA, sólo que en éste caso se tomó la lectura del peso en húmedo, y peso en seco, es decir, las muestras obtenidas con la barrena para densidad, se pesaron antes y después de entrar a la estufa, para enseguida, con la ayuda de la siguiente fórmula determinar el porcentaje de humedad:

$$\% \text{ humedad} = \frac{psh - pss}{pss} \times 100$$

donde psh, es el peso del suelo húmedo y pss es el peso del suelo seco.

Al igual que en el caso del porcentaje de M.O., los datos obtenidos fueron transformados para su análisis de la siguiente manera:

$\text{Sen}^{-1} \sqrt{p}$, en donde Sen^{-1} es la función seno inverso y p es el contenido de humedad expresado como proporción.

Dureza de la costra media (LP).

Esta determinación se hizo con el fin de evaluar la dureza de la costra directamente en el campo. Para esto se utilizó un penetrómetro de cono, como el mostrado en la Figura 3. Los valores obtenidos son expresados en kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm^2) y se obtuvieron del promedio de cinco lecturas tomadas

en cada parcela experimental, y utilizando la gráfica del anillo probador, los datos son transformados a Lb/plg^2 , después a grs/cm^2 , posteriormente a dinas/cm^2 y finalmente a bares.

Cálculo de la dosis óptima económica (DOE) y dosis óptima fisiológica (DOF).

Se realizó un estudio para la obtención de la DOE y DOF, mediante el método matemático y el método gráfico. Para la obtención de las dosis mediante el método matemático se consideraron los costos de los insumos, así como el precio del producto. La DOE la obtenemos con la finalidad de aprovechar a un máximo los recursos, esto es obtener la dosis de fertilización más rentable (ver Apéndice).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

La presentación de los resultados obtenidos para las variables bajo estudio, se presentan en la Tabla 7, en donde se pueden apreciar los análisis de varianza para todas las variables.

Tabla 7. Resumen de los análisis de varianza de las variables - estudiadas del experimento de la evaluación del efecto residual del estiércol de vacuno en el ciclo de Dic-85 a Abril-86.

Variable	S.C. trats.	S.C. Error	Fcal.	\bar{x} gral.	% C.V.
g. de l.	12	24			
NPM	32.015	112.236	0.570 ^{NS}	213.0	1.015
APM	57.290	335.698	0.341 ^{NS}	18.56	17.765
ASM	207.796	628.810	0.661 ^{NS}	35.32	14.121
ATM	401.617	834.210	0.963 ^{NS}	51.94	11.020
NEM	55.747	158.196	0.705 ^{NS}	300.53	14.650
RGM	48298.352	136608.141	0.707 ^{NS}	252.87	29.397
RPM	122643.67	233238.828	1.052 ^{NS}	315.62	30.727
RGH	1.788	3.663	0.976 ^{NS}	1.85	21.174
LP	1.144	4.960	0.461 ^{NS}	1.72	25.478
CE ₁	0.292	1.466	0.399 ^{NS}	1.86	13.319
CE ₂	0.737	1.773	0.832 ^{NS}	1.71	17.229
pH ₁	0.146	0.448	0.625 ^{NS}	7.94	1.635
pH ₂	0.068	0.233	0.584 ^{NS}	7.87	1.167
MO ₁	4.254	7.997	1.066 ^{NS}	1.79	32.739
MO ₂	3.944	7.548	1.045 ^{NS}	1.76	31.816
DA ₁	0.297	0.552	1.076 ^{NS}	1.27	12.735
DA ₂	0.250	0.387	1.290 ^{NS}	1.27	10.815
H° ₁	361.248	595.669	1.213 ^{NS}	11.92	41.659
H° ₂	525.250	697.392	1.506 ^{NS}	12.97	41.560
MR ₁	0.723	1.687	0.857 ^{NS}	0.88	28.619
MR ₂	1.618	1.760	1.839 ^{NS}	0.95	31.650

En la Tabla 7 se identifica como S.C. trats., a la suma de cuadrados de los tratamientos; S.C. Error, a la suma de cuadrados del error; Fcal, al valor de F calculada; \bar{x} gral., a la media general para cada variable; % C.V., a el coeficiente de variación en porciento; g. de l. a los grados de libertad para cada fuente de variación; N.S.. Diferencia no significativa ---- ($p \geq 0.05$); * Diferencia significativa entre tratamientos ----- ($p \leq 0.05$); ** Diferencia altamente significativa entre tratamientos ($p \leq 0.01$).

Los resultados obtenidos a los 856 días después de haberse aplicado el estiércol nos muestra que el efecto de éste declino conforme fué pasando el tiempo.

Este último ciclo se realizó con la finalidad de confirmar los resultados obtenidos en los trabajos anteriores. Ya que en el ciclo anterior las variables no salieron significativas, y como en el tercero y cuarto ciclo el rendimiento de grano por hectárea salieron altamente significativos se quería comprobar los resultados obtenidos.

Con respecto a la residualidad de los estiércoles el rendimiento fué más ampliamente afectado por lo que se especula que el proceso de mineralización deja más beneficios al desarrollo de las plantas que a los cambios que pueda sufrir el suelo.

En virtud de que no se observaron diferencias significativas en las variables estudiadas se realizó un análisis de correlación, encontrándose lo que a continuación se expone.

La variable lectura de penetrómetro, correlacionó en forma significativa ($p \leq 0.05$) con la variable rendimiento de grano por metro cuadrado con un -0.2746 , lo que quiere decir que a valores menores de lecturas del penetrómetro, mayores rendimientos y viceversa. También se encontró una correlación inversa entre módulo de ruptura de 0-15 cm de profundidad y rendimiento de paja por metro cuadrado, variables que mostraron ser significativas con -0.3322 , lo que nos indica que a mayor dureza del suelo, menor producción de paja por metro cuadrado y viceversa. La altura de la planta a los 78 días después de la siembra correlacionó en forma altamente significativa ($p \leq 0.01$) con rendimiento de paja y grano por metro cuadrado con un 0.3776 y 0.5351 respectivamente, ésto nos indica que la altura que tome la planta a los 78 días influirá directamente en el rendimiento de paja y grano. El contenido de humedad de suelo y la conductividad eléctrica a una profundidad de 15-30 cm, mostraron estar altamente correlacionados con un valor de 0.3678 , lo cual quiere decir que la humedad del suelo influye directamente en la conductividad eléctrica.

El contenido de humedad del suelo a una profundidad de 0-15 cm se encuentra altamente correlacionada con módulo de ruptura y densidad aparente a una profundidad de 0-15 cm con valores de -0.3164 y -0.3693 respectivamente, ésto nos indica que a mayores contenidos de humedad la dureza del suelo y la densidad aparente presentaran menores valores y viceversa.

La variable conductividad eléctrica a una profundidad de -

15 - 30 cm mostró estar altamente correlacionado con el rendimiento de paja con un valor de -0.3878, lo que quiere decir -- que a medida que la C.E. aumenta el rendimiento de paja disminuye.

Resultados obtenidos de las evaluaciones de la aplicación del estiércol de vacuno a través de los diferentes ciclos.

Tabla 8. Resultado de los análisis de varianza para algunas variables en los ciclos anteriores.

D.T.	Cultivo	RGH	DA	LP
138	Trigo	NS	NS	
360	Frijol	**	NS	*
501	Trigo	**	NS	NS
737	Frijol	NS	NS	
856	Trigo	NS	NS	NS

Donde D.T. son los días transcurridos desde la incorporación del estiércol.

Podemos observar en la Tabla 8 que a los 360 días después de la incorporación del estiércol se tuvo diferencia significativa para la variable rendimiento de grano por hectárea y lectura de penetrómetro y a los 501 días sólo se tuvo diferencia significativa para el rendimiento grano por hectárea. Para la variable densidad no se encontró diferencia significativa en ninguno de los ciclos. Por lo que podemos concluir que el efecto del estiércol sólo dura hasta los 501 días después de su incorporación, además de que si deseamos que las aplicaciones de estiércol afecte la densidad aparente, sea necesario hacer aplica

ciones con dosis más grandes. La literatura revisada, parece confirmar, el hecho de que para producir un cambio significativo en la densidad aparente del suelo, son necesarias dosis más altas de estiércol, así por ejemplo Tiarks, et al. (1974), encontraron que la densidad aparente del suelo migajón arcillo arenoso que estudiaron, bajó de 1.05 a 0.90 gr/cm³ sólo después de tres años de aplicación de estiércol de bovino a razón de 90, 180 y 360 ton/ha por año (30).

Tabla 9. Resultado de las pruebas de medias de Tuckey para las variables con diferencia significativa entre tratamientos.

RGH (Frijol)		RGH (Trigo)		LP	
Trats.	Medias	Trats.	Medias	Trats.	Medias
11	1.73	13	4.37	1	3.52
10	1.70	9	4.24	3	3.45
13	1.69	10	4.16	2	3.38
12	1.53	6	4.05	4	3.38
7	1.53	4	4.02	5	3.38
5	1.49	12	3.98	12	3.24
8	1.45	7	3.94	6	3.22
6	1.43	5	3.78	9	3.22
4	1.38	11	3.52	7	3.08
9	1.23	1	3.30	8	3.01
2	1.21	8	3.27	10	3.01
1	1.07	3	2.69	11	3.01
3	0.91	2	2.29	13	2.82

En la Tabla 9 se puede observar que el rendimiento de grano en toneladas por hectárea (RGH) de frijol, se encontró diferencia altamente significativa entre los tratamientos ($p \leq 0.01$) a

los 360 días después de la incorporación del estiércol. La prueba de Tuckey mostró que el tratamiento 11 (1.73 ton/ha), difiere estadísticamente del tratamiento 1 (1.07 ton/ha) y del tratamiento 3 (0.91 ton/ha). Del mismo modo los tratamientos 10 (1.70 ton/ha) y 13 (1.69 ton/ha), fueron diferentes estadísticamente del tratamiento 3. Se puede observar en la misma tabla que el rendimiento de grano en toneladas por hectárea (RGH) del trigo, tuvo diferencia altamente significativa entre los tratamientos ($p \leq 0.01$) para ésta variable a los 501 días después de la incorporación del estiércol. La prueba de Tuckey mostró que el tratamiento 13 (4.37 ton/ha), 9 (4.24 ton/ha), 10 (4.16 ton/ha) y 6 (4.05 ton/ha) difieren estadísticamente del tratamiento 2 (2.29 ton/ha).

Como puede observarse en general los mayores rendimientos se tienen con las dosis de estiércol más altas. También se puede observar que en la variable dureza de la costra medida con el penetrómetro (L.P.) a los 360 días después de la incorporación del estiércol, se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($p \leq 0.05$). La prueba de Tuckey, muestra que el tratamiento 13 (2.82 bares) registró la costra menos dura y sus valores difieren estadísticamente de los tratamientos 1 (3.52 bares) y 3 (3.45 bares) los cuales registraron los valores más altos de dureza de la costra.

Tabla 10. Modelos desarrollados para las variables que fueron significativas en los diferentes ciclos.

	Frijol (Rto/ha) 360 días	Trigo (Rto/ha) 501 días	L.P. 360 días
B ₀	1.1205	3.2841	3.4767
B ₁	0.0085256	0.026904	-0.007793
B ₂	0.0016226	-0.0147598	0.006008
B ₃	-0.0000438	-0.0002284	0.0000413
B ₄	-0.0000574	-0.0000671	-0.000153
B ₅	0.0000387	0.0002809	-0.0000574
R ²	0.4543	0.47278	0.38221

Tabla 11. Dosis óptima económica y fisiológica del estiércol (E) y nitrógeno (N) para frijol y trigo mediante el método matemático.

	Frijol (360 días)	Trigo (501 días)
DOF		
E	121.49 ton/ha	55.94 ton/ha
N	55.15 kg/ha	-4.62 kg/ha \approx 0
Rend.	1.7687 ton/ha	4.0325 ton/ha
DOE		
E	113.91 ton/ha	51.65 ton/ha
N	39.37 kg/ha	-11.59 kg/ha \approx 0
Rend.	1.75598 ton/ha	4.02128 ton/ha

Tabla 12. Dosis óptima económica de estiércol (E) y nitrógeno (N) para frijol y trigo mediante el método gráfico.

	Frijol (360 días)	Trigo (501 días)
DOE		
E	50 ton/ha	50 ton/ha
N	21.2 kg/ha	0 kg/ha
REND.	1.52 ton/ha	4.0 ton/ha

Se ilustra un ejemplo para describir el procedimiento que se siguió en la obtención de las dosis óptimas mediante el método matemático (ver Tabla 11).

Dosis óptima fisiológica y dosis óptima económica de rendimiento en frijol (ton/ha).

Para la obtención de la DOE se derivó la ecuación de predicción con respecto al estiércol y al nitrógeno y se obtuvieron dos ecuaciones.

$$Y_i = B_0 + B_1E + B_2N + B_3E^2 + B_4N^2 + B_5EN$$

$$\frac{dE}{y} = B_1 + 2B_3E + B_5N$$

$$\frac{dN}{y} = B_2 + 2B_4N + B_5E \quad \text{sustituyendo los valores de } B_1, B_2, B_3, B_4,$$

B_5 (ver Tabla 10) tenemos lo siguiente:

$$0.0085256 - 0.0000877 (E) + 0.0000387 (N) = 0$$

$$0.0016226 + 0.0000387 (E) - 0.0001148 (N) = 0$$

$$-0.0000877 (E) + 0.0000387 (N) = -0.0085256$$

$$0.0000387 (E) - 0.0001148 (N) = -0.0016226$$

Resolviendo éste conjunto de ecuaciones simultáneas con -- dos incógnitas obtuvimos la cantidad óptima fisiológica de es-- tiércol y nitrógeno, la cual fué:

$$E = 121.49 \text{ ton/ha}$$

$$N = 55.15 \text{ kg/ha}$$

Pero como lo que nos interesa es la DOE, debemos tomar en cuenta los costos de insumos, y precio de garantía del frijol, entonces conociendo éstos valores se pueden obtener fácilmente la DOE. Para obtener éste valor derivamos la ecuación de pre-- dicción con respecto al estiércol y nitrógeno y la igualamos a la relación inversa de precios (ver Tabla 16 en apéndice).

$$y = B_0 + B_1E + B_2N + B_3E^2 + B_4N^2 + B_5EN$$

$$B_1 + 2B_3E + B_5N = R_{IPE}$$

$$B_2 + 2B_4N + B_5E = R_{IPN} \quad \text{sustituyendo tenemos:}$$

$$0.0085256 - 0.0000877 (E) + 0.0000387 (N) = 0.000054$$

$$0.0016226 + 0.0000387 (E) - 0.0001148 (N) = 0.00152$$

$$-0.0000877 (E) + 0.0000387 (N) = -0.0084716$$

$$0.0000387 (E) - 0.0001148 (N) = -0.0001026$$

Resolviendo este conjunto de ecuaciones simultáneas obtuvi-- mos, la cantidad óptima económica de estiércol y nitrógeno, la-- cual fué:

$$E = 113.91 \text{ ton/ha}$$

$$N = 39.37 \text{ kg/ha}$$

Solución gráfica.

En la Figura 7, podemos observar la interpretación gráfica de la DOE de nitrógeno y estiércol en el cultivo del frijol. Después de haber obtenido la relación precio del nutriente/peso del producto, el cual fué de 1.52 (lo que significa que 1 kg de nitrógeno vale lo mismo que 1.52 kg de frijol, o bien que 25 kg de nitrógeno valen lo mismo que 38 kg de frijol) se procedió a dibujarla sobre la gráfica. Una vez establecida la pendiente de la relación anterior se busca su tangencia con las curvas, que se tienen, lo que nos resultó para las curvas de 0 y 50 ton/ha de estiércol con 19.5 y 21.2 kg/ha de nitrógeno respectivamente. Pero tomamos en cuenta la curva de 50 ton/ha de estiércol con 21.2 kg/ha de nitrógeno, ya que es la que se aproxima más a lo obtenido mediante el método matemático, además que -- presenta rendimientos más elevados, comparados con la otra curva (ver Figura 7).

En la Figura 8, observamos la interpretación gráfica de la DOE de estiércol y nitrógeno en el cultivo del trigo. Al igual que para el frijol, se procedió a dibujar sobre la gráfica la relación precio de nutrientes/precio del producto, la cual resultó ser de 1.31 lo que nos indica que 1 kg de nitrógeno vale lo mismo que 1.31 kg de trigo o bien que 25 kg de nitrógeno valen lo mismo que 32 kg de trigo. Una vez establecida la pendiente de la relación anterior se busca su tangencia con las curvas, lo que nos resultó ser la curva de 50 ton/ha de estiércol, con 0 kg/ha de nitrógeno (ver Figura 8). Esto concuerda -

con la solución matemática donde la DOE del nitrógeno tiende a cero. Esto puede deberse al hecho de que el ciclo anterior se sembró una leguminosa (frijol) y halla ocurrido fijación de nitrógeno, por lo que no es necesaria la aplicación de éste elemento (ver Tabla 12).

Estimación del rendimiento.

Mediante la ecuación de regresión múltiple obtenida para las variables rendimiento de grano por hectárea de frijol y trigo, se pueden estimar los posibles rendimientos, mediante la sustitución de las diferentes dosis de estiércol y nitrógeno -- que se deseen utilizar.

En éste caso se estimó el rendimiento para las 25 combinaciones posibles de los cinco niveles de estiércol (0,25,50,75,-100 ton/ha), y los cinco niveles de nitrógeno (0,12.5,25,37.5 y 50 kg/ha) utilizados en éste experimento.

Para el caso del frijol la ecuación de regresión para la obtención del rendimiento es:

$$y = 1.12055 + 0.0085256 (E) + 0.0016226 (N) - 0.0000438 (E)^2 - 0.0000574 (N)^2 + 0.0000387 (E) (N)$$

En el caso del trigo la ecuación de regresión para la obtención del rendimiento es:

$$y = 3.28417 + 0.026904 (E) - 0.0147598 (N) - 0.0002284 (E)^2 - 0.0000671 (N)^2 + 0.0002809 (E) (N)$$

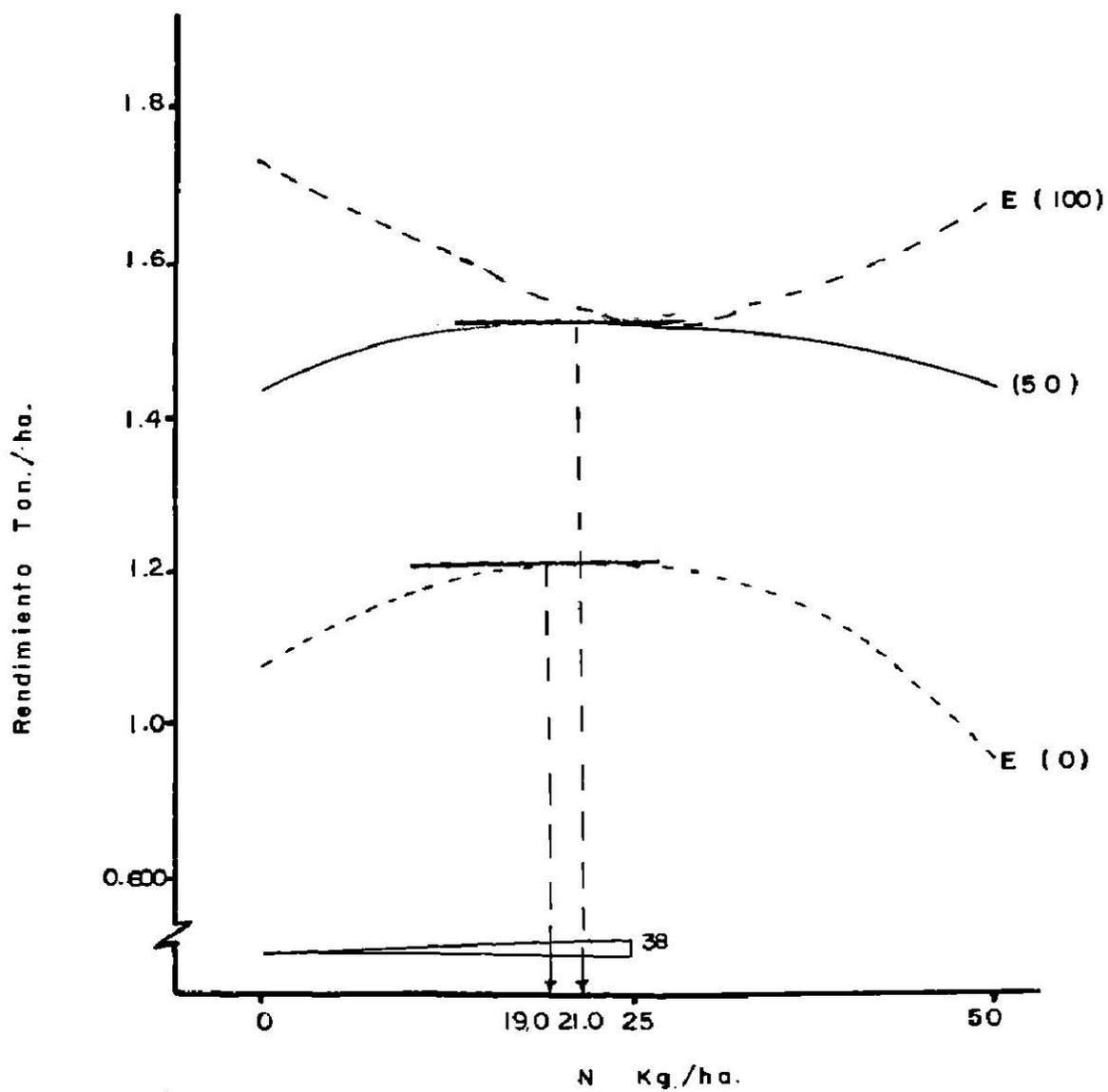


Figura 7. Solución gráfica para la determinación del óptimo económico de nitrógeno y estiércol en el cultivo del frijol.

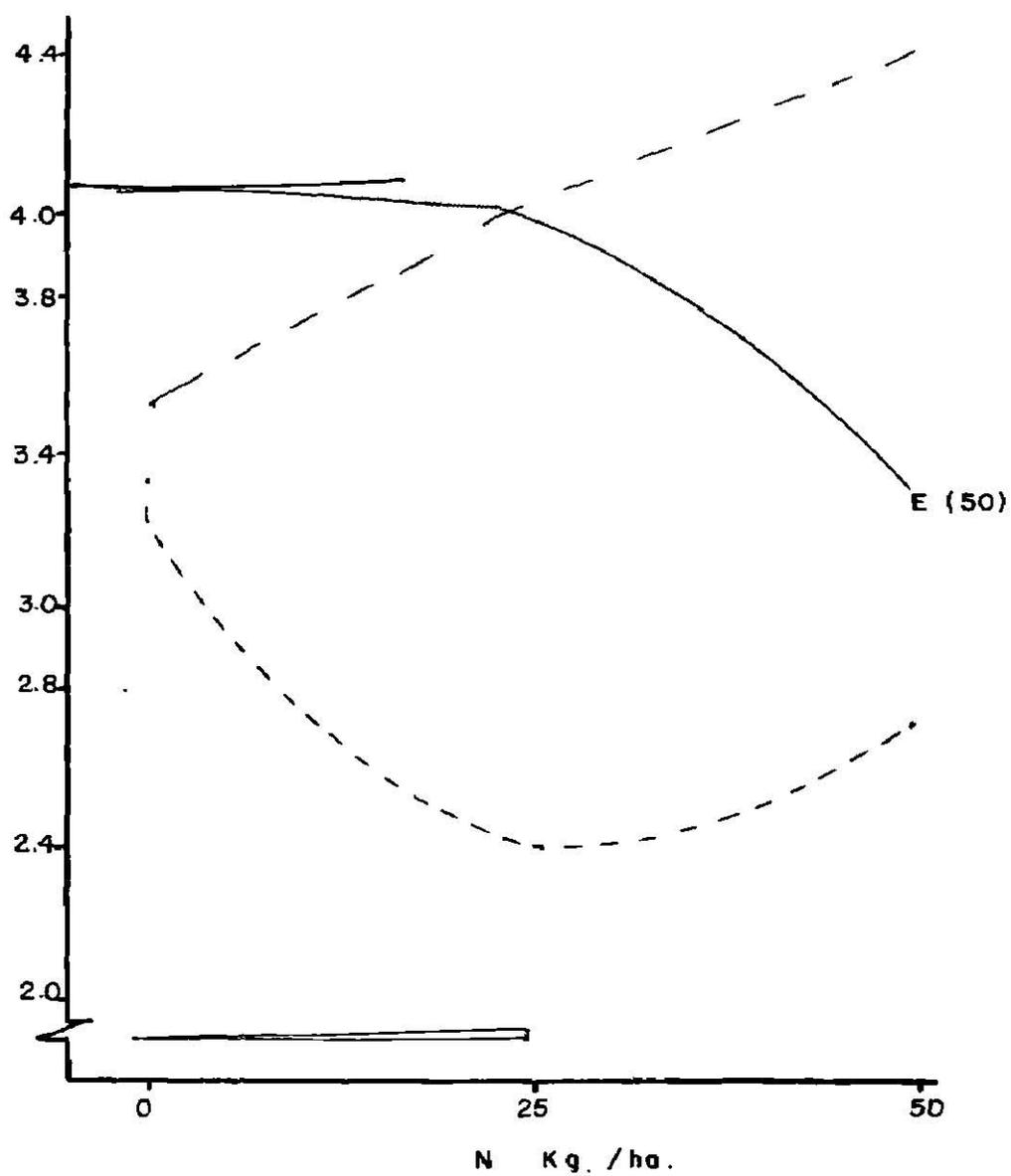


Figura 8. Solución gráfica para la determinación del óptimo económico de nitrógeno y estiércol en el cultivo del trigo.

La respuesta estimada a la fertilización para el frijol se presenta en la Figura 9 donde puede observarse que en general, los tratamientos con dosis elevadas de estiércol (75 y 100 ton/ha), combinadas con nitrógeno (25, 37.5 y 50 kg/ha), produjeron los mejores rendimientos. Así por ejemplo tenemos que al aplicar 100 ton/ha de estiércol con 50, 37.5 y 25 kg/ha de nitrógeno el rendimiento estimado es de 1.6666, 1.6603 y 1.6365 ton/ha, respectivamente. Sin embargo, podemos observar que al aplicar 75 ton/ha de estiércol combinado con 50, 37.5 y 25 kg/ha de nitrógeno el rendimiento estimado es de 1.5963, 1.6025 y 1.5908 ton/ha respectivamente. Observamos además que con dosis de 50-ton/ha de estiércol, el mejor rendimiento se obtiene al combinarlo con 25 kg/ha de nitrógeno, el cual es de 1.4904 kg/ha, pero al aumentar las dosis de nitrógeno a 37.5 y 50 kg/ha el rendimiento estimado es de 1.4900 y 1.4717 ton/ha respectivamente. Con las aplicaciones de estiércol en forma única se obtienen los rendimientos más bajos, siendo el más bajo de éstos la dosis de 25 ton/ha con un rendimiento estimado de 1.3057 ton/ha. Lo mismo sucede con las aplicaciones de nitrógeno en forma única, en donde se observan los rendimientos más bajos, siendo el más bajo la dosis de 50 kg/ha con un rendimiento de 1.0576 ton/ha y conforme se aumenta la dosis de nitrógeno el rendimiento estimado también aumenta.

En la Figura 10 se presenta la respuesta estimada a la fertilización para el trigo. En esta gráfica puede observarse -- que el tratamiento de 100 ton/ha de estiércol combinado con 50-kg/ha de nitrógeno presenta el más alto rendimiento el cual es-

de 4.1897 ton/ha; sin embargo al ir disminuyendo las dosis de nitrógeno el rendimiento estimado también disminuye. Cuando se aplican 75 ton/ha de estiércol combinado con 50, 37.5 y 25 kg/ha de nitrógeno, el rendimiento estimado es de 4.1651, ----- 4.1596 y 4.0856 ton/ha respectivamente. La incorporación de 50 ton/ha de estiércol en forma única se obtiene un rendimiento de 4.0583 ton/ha y al combinarlo con nitrógeno en dosis de 12.5, 25, 37.5 y 50 el rendimiento disminuye siendo de 4.0390, 3.9986, 3.9370 y 3.8550 ton/ha respectivamente. Cuando se aplica el estiércol en forma única el rendimiento más bajo se obtiene con la dosis de 100 ton/ha produciendo 3,6905 ton/ha. Cuando se aplica el nitrógeno en forma única, observamos que el rendimiento más bajo se obtiene con la dosis de 50 kg/ha cuyo rendimiento es de 2.3784 ton/ha y conforme se aumenta la dosis el rendimiento vá aumentando.

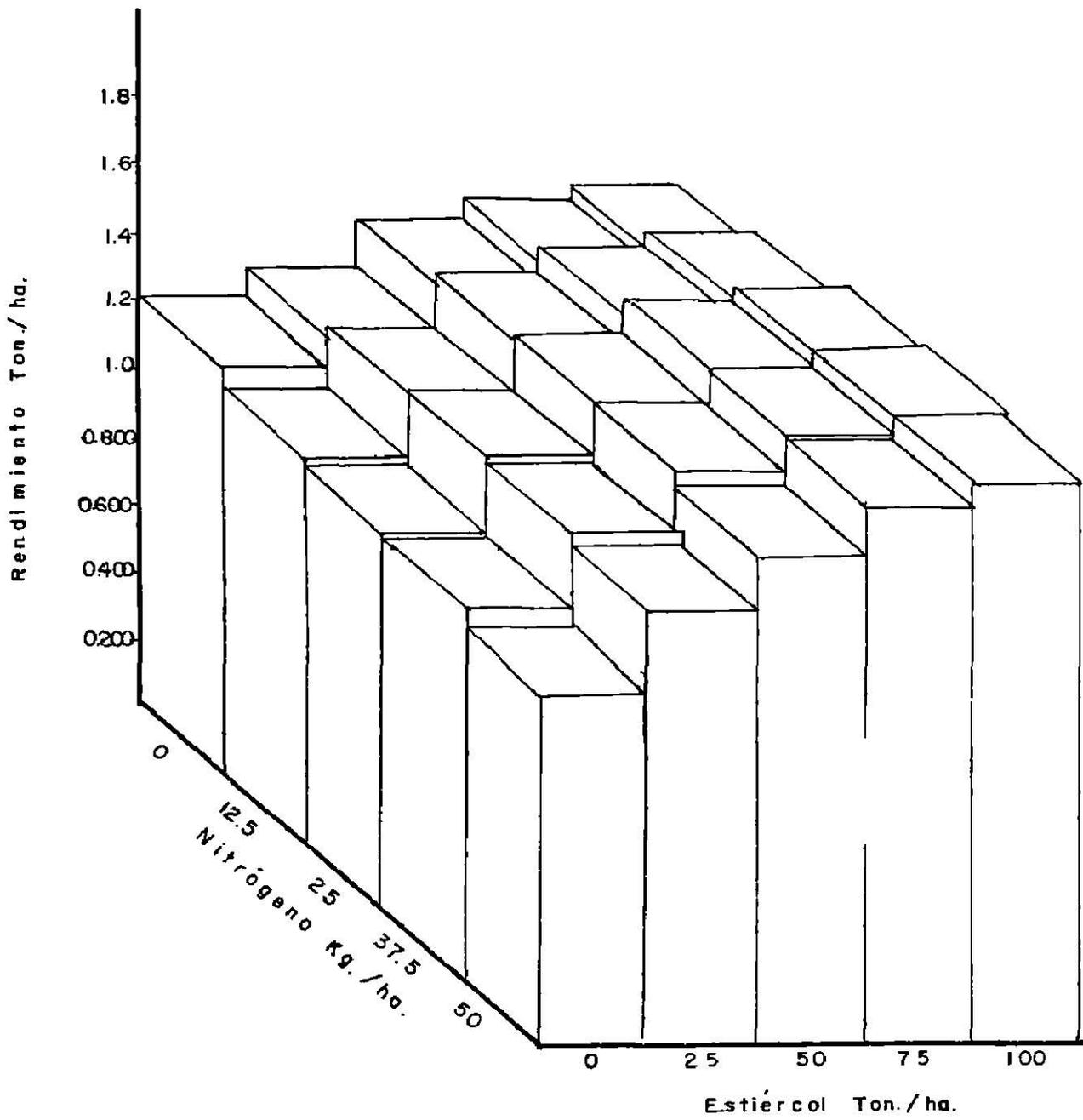


Figura 9. Respuesta estimada del rendimiento de frijol cuando el estiércol y nitrógeno se presentan a diferentes niveles.

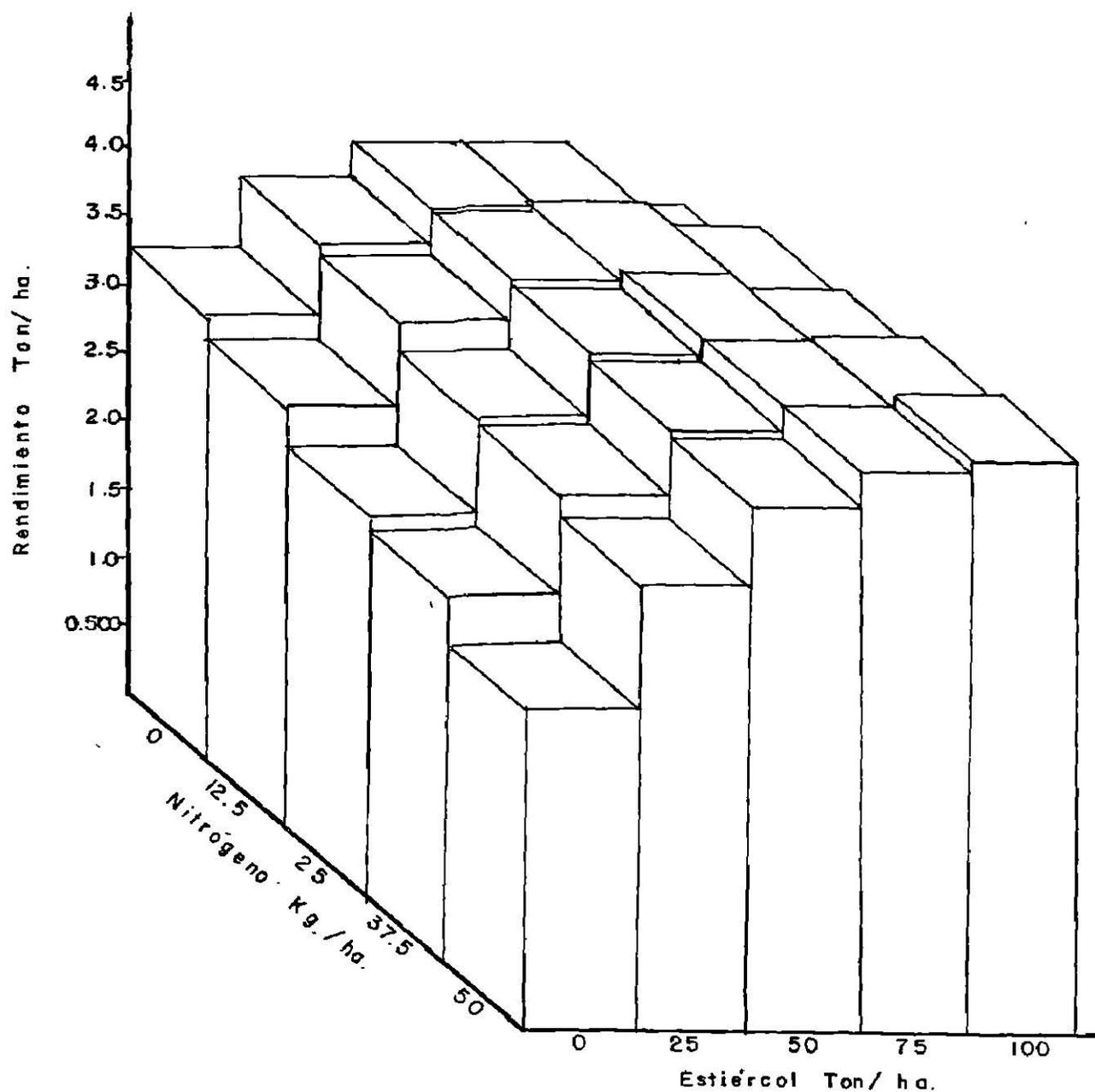


Figura 10. Respuesta estimada del rendimiento del trigo cuando el estiércol y nitrógeno se presentan a diferentes niveles.

Estimación de la dureza de la costra medida con el penetrómetro (L.P.).

Al igual que para la estimación del rendimiento, se estimó la dureza de la costra mediante la ecuación de regresión múltiple, sustituyendo las diferentes dosis de estiércol y nitrógeno que se deseen utilizar. Se estimó las lecturas de penetrómetro para las 25 combinaciones posibles de los 5 niveles de estiércol (0, 25, 50, 75 y 100 ton/ha), y los 5 niveles de nitrógeno (0, 12.5, 25, 37.5 y 50 kg/ha) utilizados en el experimento.

La ecuación de regresión para la obtención de las lecturas de penetrómetro es:

$$Y_i = 3.4767 - 0.007793 (E) + 0.006008 (N) + 0.0000413 (E)^2 - 0.000153 (N)^2 - 0.0000574 (E) (N)$$

En la Figura 11 se presenta las lecturas estimadas, donde puede observarse que las lecturas más bajas las obtenemos con las dosis más altas de estiércol y nitrógeno, así tenemos que con la dosis de 100 ton/ha de estiércol combinado con 50 kg/ha de nitrógeno se obtiene la lectura más baja la cual es de 2.74-bares y conforme se disminuye la dosis de nitrógeno los valores van aumentando. Así mismo observamos que en general los valores van disminuyendo conforme se aumenta la dosis de estiércol y nitrógeno, esto debido a que el aumento del contenido de M.O. del suelo, disminuye la cohesión entre partículas, por lo que el suelo es menos compacto. Tenemos por ejemplo que cuando se aplica una dosis de 25 ton/ha con 12.5 kg/ha comparado con 75 -

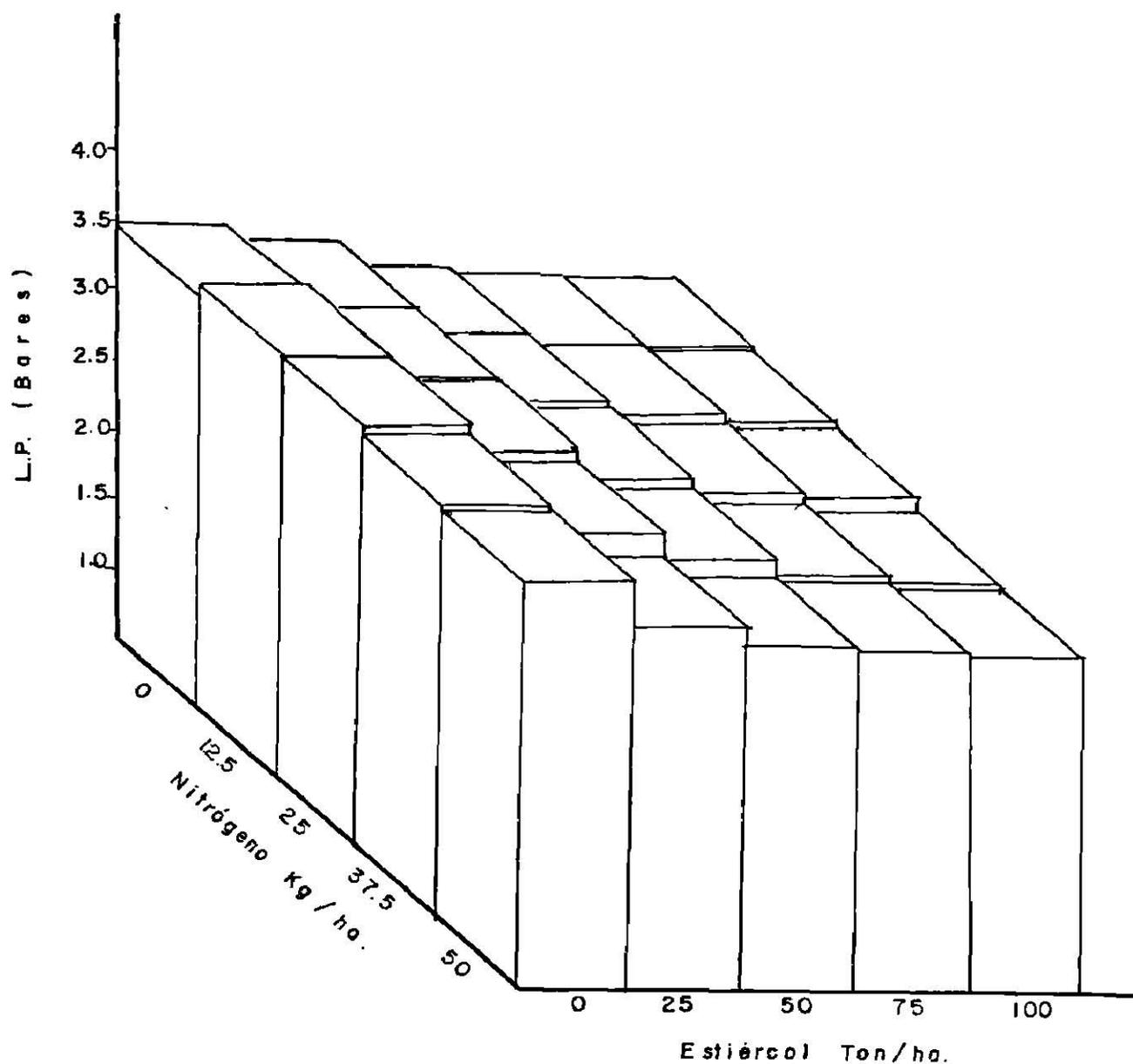


Figura 11. Respuesta estimada de la dureza de la costra del suelo (L.P.) cuando el estiércol y nitrógeno se presentan a diferentes niveles.

ton/ha con 50 kg/ha de estiércol y nitrógeno respectivamente observamos que el valor de la dureza de la costra disminuye de 3.34 a 2.82 bares. Se observa que los valores más altos de la dureza de la costra corresponden a los tratamientos donde solo se aplicó nitrógeno.

5. CONCLUSIONES

1. En base a los resultados obtenidos, se concluye que el efecto residual de la aplicación de estiércol de vacuno, perdura sólo hasta los 501 días (4to. ciclo) después de incorporado al suelo.
2. La residualidad del abono a los 360 días (3er. ciclo), se manifestó en el efecto significativo que presentaron las variables rendimiento de grano por hectárea ($p \leq 0.01$) y la dureza de la costra medida con el penetrómetro ($p \leq 0.05$).
3. La residualidad del abono a los 501 días (4to. ciclo), se manifestó en el efecto significativo que presentó la variable rendimiento de grano por hectárea ($p \leq 0.01$).
4. A los 856 días (6to. ciclo) después de incorporado el estiércol al suelo, no se encontró efecto residual significativo para ninguna de las variables estudiadas. Esto debido a que las dosis aplicadas no fueron lo suficientemente altas como para perdurar hasta éste ciclo.
5. En éste 6to. ciclo se observó que la variable altura a los 78 días después de la siembra se encuentra altamente correlacionada con rendimiento de paja y grano por metro cuadrado, lo que indica que la altura a los 78 días influirá directamente en el rendimiento de paja y grano.
6. En cuanto a las variables con respecto al suelo se encontró que las variables contenido de humedad y C.E. a una profundidad de 0-15 cm, mostraron estar altamente correlacionadas,

lo que nos dice que el contenido de humedad del suelo influye directamente en la C.E. Así mismo tenemos que contenido de humedad a 0-15 cm tiene una correlación inversamente proporcional con el módulo de ruptura y densidad aparente a 0-15 cm, lo que sugiere que a mayor contenido de humedad del suelo, los valores de módulo de ruptura y densidad aparente bajan.

7. En general los mejores tratamientos, es decir los que mostraron mejor comportamiento sobre las variables estudiadas, fueron las que presentaron las dosis más elevadas de estiércol, estos son los tratamientos 13 (100 ton/ha de estiércol + 50 kg de nitrógeno), 11 (100 ton/ha de estiércol), 10 (75 ton/ha de estiércol + 37,5 kg/ha de nitrógeno), 9 (75 ton/ha de estiércol + 25 kg/ha de nitrógeno), y 6 (50 ton/ha de estiércol).
8. Al realizar el análisis económico de rendimiento de grano por hectárea mediante el método matemático a los 360 días, se determinó que la DOE fué de 113,9 ton/ha de estiércol y 39,3 kg/ha de nitrógeno. A los 501 días se determinó que la DOE fué de 51,65 ton/ha de estiércol y cero de nitrógeno.
9. La DOE obtenida mediante el método gráfico para los 360 días fué de 50 ton/ha de estiércol y 21,2 kg/ha de nitrógeno y para los 501 días fue de 50 ton/ha de estiércol con cero de nitrógeno.

10. Mediante la utilización de la ecuación de regresión múltiple obtenida para las variables rendimiento de grano por hectárea y lectura de penetrómetro, es posible estimar el rendimiento esperado y la dureza de la costra del suelo con cierta precisión, al sustituir los valores de estiércol y nitrógeno que se desee utilizar.

6. RESUMEN

El presente experimento se realizó en un suelo calcáreo-ar^ucilloso, en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía - de la U.A.N.L. ubicado en Marín, N.L. Este experimento es el sexto y último ciclo de cultivo de una serie de experimentos -- que se empezaron el verano de 1983. Los objetivos de éste estu^udio son: a) Determinar si existe efecto residual de la aplica^ución de estiércol de vacuno realizada el verano de 1983, obser^uvándose la evolución de las características físicas y químicas del suelo; b) Observar y registrar el efecto que producirían és^utos cambios en el cultivo del trigo; c) Determinar que dosis -- tienen mejor efecto residual en el suelo, que se reflejen en -- una mayor producción del cultivo.

La siembra del trigo fué realizada el 9 de diciembre de -- 1985, llevándose a cabo la cosecha el 2 de mayo de 1986. Las - variables estudiadas fueron: materia orgánica, módulo de ruptu^ura, humedad del suelo, densidad aparente, conductividad eléc^utrica y pH, para éstas variables se determinaron dos muestras, - 0-15 cm (suelo) y 15-30 cm (subsuelo). También se determinó du^ureza de la costra medida directamente en el campo con el pene^utrómetro, rendimiento de grano por metro cuadrado y por hectá^urea, altura de planta, número de plantas, número de espiga y pe^uso de paja por metro cuadrado.

El análisis de varianza resultaron no significativos para todas las variables. Por lo que se hizo un análisis de los ci^uclos anteriores para concluir hasta cuánto tiempo después de la

incorporación del estiércol existe efecto residual. Llegándose a observar que el efecto residual del estiércol de vacuno perdura hasta los 501 días después de su incorporación, manifestándose en el efecto significativo que presentó la variable rendimiento de grano por hectárea ($p \leq 0.05$). A los 360 días después de su incorporación, la residualidad del estiércol se manifestó en el efecto significativo que presentaron las variables rendimiento de grano por hectárea ($p \leq 0.01$) y la dureza de la costra medida con el penetrómetro ($p \leq 0.05$)

Los mejores tratamientos, es decir, los que registraron -- los efectos más notables fueron en general, los tratamientos -- del 6 al 13 cuyas dosis son 50, 75 y 100 ton/ha de estiércol.

Al realizar el análisis económico, se determinó que la dosis óptima económica a los 360 días es de 113.9 ton/ha de estiércol y 39.3 kg/ha de nitrógeno; y para los 501 días se determinó que la dosis óptima económica es de 51.65 ton/ha de estiércol.

Con el método gráfico se determinó que la dosis óptima económica a los 360 días es de 50 ton/ha de estiércol y 21.2 kg/ha de nitrógeno; y para los 501 días es de 50 ton/ha de estiércol.

Si se desea que el efecto residual del estiércol vacuno -- perdure más de 501 días lo más recomendable es aumentar las dosis de estiércol, igualmente si se desea que se afecten favorablemente las condiciones del suelo.

7. SUMMARY

Ludivina Menchaca Marín

Title: Residual Effects of Bovine Manure, on some Physical and Chemical Properties of Soil and it's Influence on Yield of Wheat at the Sixth Cycle of Evaluation, in Marín, N. L.

Faculty of Agronomy, Autonomus University of Nuevo León.

The present trial was conducted on a calcareous clay soil, at the experimental station of the Faculty of Agronomy of the UA NL, in Marín, N.L. This experiment is the sixth and last cycle of a series of culture experiments that were iniciated in the summer of 1983.

The objectives of this study are:

- a) To determine if there exists residual effect in physical-- and chemical characteristics of soil with the aplication of bovine manure in the summer of 1983.
- b) To register the effect of these changes on wheat.
- c) To determine the quantity of manure that produced the best-- residual effects on soil and on wheat.

The sowing date was the 9th. of December of 1985, and the har-- vest was carried out the 2nd, of May of 1986. The variables stu-- died were: organic matter, modulus of rupture, soil humidity,-- bulk density, electrical conductivity, and pH; to determine --- these variables we took two samples of soil which were 0-15 cm

and 15-30 cm depth . The other variables measured were crust--hardness determined with a penetrometer, grain yield per square-meter and grain yield per hectare, height plant and number of -plants, number of spike of wheat, straw weight per square meter. The analysis of variance resulted not significant for the variables mentioned. Hence we analyzed the series of trails that--had been made in these plots to determine how long after the--incorporation of bovine manure is their residual effects. The -results were that the residual effects of bovine manure was only till 501 days after the incorporation of the manure, manifes--ting on the grain yield per hectare ($p \leq 0.05$). At 360 days af-ter the application the residuality of manure manifested significance for grain yield hectare ($p \leq 0.01$) and crust hardness--determined with a penetrometer ($p \leq 0.05$). The best treatments or the ones that register the most effects were from 6th to--13th whitch levels are 50, 75 and 100 ton/ha of manure.

After we did the economic analysis it was determined that the -optimal economic level at 360 days is 113.9 ton/ha of bovine--manure and 39.3 kg/ha of nitrogen; and for 501 days the optimal economic level was 51.65 ton/ha of manure.

The graphic analysis determinated that the optimal economic lelvel for 360 days was 50 ton/ha of manure with 21.2 kg/ha of nitrogen; and for 501 days 50 ton/ha of manure.

If we want the residual effect to be longer in this soil for more than 501 daip, then we recommend to increase the level of maa

nure; besides this will increase the favorable conditions of --
the soil.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. Abbott, J.L. y T.C. Tucker. 1973. Persistence of manure --- phosphorus availability in calcareous soil. Soil Sci. Ame. Proc. 37:60-62.
2. Acosta, S.R. 1975. Efecto residual de las aplicaciones de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la producción de cosechas. VIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México 1:341.
3. Alexander, M. 1980. Introducción a la Microbiología del Suelo. AGT Editores, México, D.F.
4. Anónimo, 1984. Estiércol; su aprovechamiento rinde ingresos a la granja. Agricultura de las Américas, 33(9) 14-17.
5. Anónimo, 1984. ¡ Mantenga el nivel de materia orgánica! Agricultura de las Américas. 33(5)15.
6. Anónimo, 1982. Estiércol: importante fuente de nutrientes - en el suelo. Agrosíntesis. 13(7) 86-92.
7. Anónimo, 1986. La utilización de los estiércoles en la agricultura. Agrosíntesis, 17(9) 58-59.
8. Anónimo,-1982. Resumen, conclusiones y recomendaciones del-

Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre la Utilización de los Estiércoles en la Agricultura, Ingeniería Agronómica. pp. 17-22.

9. Baver, L.D., W.H. Gardner y W.R. Gardner, 1973. Física de Suelos. U.T.E.H.A. México, D.F. pp. 91, 136-138, 165, 234.
10. Buckman, H.D. y N.C. Brady, 1978. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simón, S.A. España, pp. 64, 149-151, 427-437, 531.
11. Burnemisza, E. 1982. Introducción a la química. S.G.O.E.A. Costa Rica. pp. 21-23.
12. Campos de J., S., M. Anaya G., M. Martínez, M. 1973. Efecto de la captación de lluvia, estiércol y rastrojo sobre la humedad del suelo y producción de la asociación maíz-frijol. Agrociencia 52: 45-62.
13. Chena, G.R. 1978. Suelos sódicos y suelos salinos. El Campo. México pp. 27-34.
14. Elizondo S., A.C., D. Rubio M., R.A. Fromm Z. 1974. Evaluación de residuos estabilizados (compost) obtenidos del basurero de Monterrey, N.L. desde el punto de vista de su utilización agrícola. VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México, 2: 210-222.

15. Escobedo L., J. 1986. Efecto residual del estiércol caprino después de dos ciclos de cultivo, como mejorador de las características físicas y químicas del suelo, en el cultivo del frijol. Tesis F.A.U.A.N.L. pp. 47,50-54, 60.
16. Espinoza G.,E. 1985. Determinación de la dosis óptima económica nitrogenada y fosforada para maíz (Zea mays L.) de riego en la zona de Cadereyta Jiménez, N.L. Tesis U.A.N.L.
17. Evans, D.D. y S.W. Bool, 1968. Micromorphological study of soil crusts. So. Sci. Am. Proc. 32; 19-22.
18. Flores R., R. 1980. Estudio sobre el aprovechamiento del estiércol vacuno en la región centro del estado de Nuevo --- León. Exámen práctico. F.A.U.A.N.L. pp. 12-13.
19. García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. U.N.A.M. México, D.F, p. 151.
20. García G., A.D. 1979. Descripción de un perfil de suelo y sus características físicas y químicas. Tesis F.A.U.A.N.L. pp. 3, 8-14.
21. Gavande, S.A. 1979. Física de suelos: principios y aplicaciones. Limusa. México, pp, 33-34, 77-105.

22. González N., J. 1984. Efecto del encostramiento de los suelos en la germinación y emergencia de las plántulas. Seminario de tesis. F.A.U.A.N.L. pp. 19-30, 33-36, 40-53.
23. Herron, G.M. y A.B. Erhart, 1965. Value of manure on an irrigated calcareous soil. So. Sci. Am. P. 29: 278-281.
24. Less Paul, 1985. ¡Aproveche el estiércol! Agricultura de las Américas, pp. 28-32.
25. Meek, B., L. Graham y T. Dorovan, 1982. Long-term effects of manure and soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter and water infiltration rate. So. Sci. Am. P. 29: 547.
26. Mendoza T., N. 1986. Efecto residual del abonado con compost en algunas propiedades físicas y químicas del suelo y su influencia en el cultivo del frijol bajo riego en Marín, N.L. Tesis F.A.U.A.N.L. pp. 87-88.
27. Millar, C.E., L.M. Turk y H.D. Foth, 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. C.E.C.S.A. México, D.F. pp. 225-242.
28. Mohammed, J.H., M. Assed, J. Sawhney, 1977. Some physical properties of sand organic manure mixtures, Lubyán J. Agric. 6(2) 151-158.

29. Morales R., D., J, Leal D. y G. Garza, 1967. Influencia del estiércol de bovino y de la fertilización nitrogenada en el rendimiento del trigo cultivado en un suelo calcáreo. III - Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, México. I: --- 94-101.
30. Nieto G., L.A. 1986. Efecto residual del abonado con es---tiércol de ganado vacuno en algunas propiedades físicas y - químicas del suelo y su influencia en el cultivo del fri--jol, bajo riego en el municipio de Marín, N.L. Tesis F.A.U. A.N.L. pp. 10-14, 50, 52, 56, 66, 69, 79, 83.
31. Ortiz V., B. y C.A. Ortiz S. 1980. Edafología Universidad - Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. pp. 66-101, 103-128, 160-161.
32. Ponsica, P.E., R. Escalada y B. Quirol, 1983. Effects of -- animal manure application on the growth and yield of corn. Ann Trop Res. 5(3-4) 110-116.
33. Rico M., J.M. 1981. Estiércoles como aportadores de N al -- suelo. Tesis. F.A.U.A.N.L. pp. 2-12.
34. Robinson, W.G. 1967. Los suelos (su origen, su constitución y clasificación). Omega, S,A. Barcelona pp, 187, 201-204, - 234-241.

35. Robles S., R. 1976. Producción de granos y forrajes. Limusa, México, D.F. pp. 541-555.
36. Rodríguez S., F. 1982. Fertilizantes. A.G.T. Editor, S.A. México. pp. 18, 35-44.
37. Russell, J. y W. Russel. 1968. Las condiciones del suelo. Aguilar. España. pp. 340-342.
38. Salcedo 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 del trigo --- (Triticum aestivum) bajo riego en Marín, N.L. Tesis. F.A.U. A.N.L. pp. 45, 46, 55.
39. S.A.R.H. 1977. Guía para la asistencia teórica agrícola. -- Area de influencia Valle del Yaqui y Valle del Mayo-México. p. 115.
40. Tamhane, R.V., D.P. Montiramani y Y. P. Bali. 1978. Suelos-su química y fertilidad en zonas tropicales. Diana. México, D.F. pp. 51-61, 182, 214, 215, 231-234.
41. Terrazas G., J.L. 1977, Manejo de suelos para reducir la -- erosión y aumentar la productividad en los suelos agrícolas de ladera de la cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría, Chapingo, México. pp. 32. 76-78.

42. Teuscher, H. y R. Adler. 1965, El suelo y su fertilidad. C, E.C.S.A. México. pp. 303-340.
43. Thompson, L.M. 1962. El suelo y su fertilidad. Reverté, S. A. México. pp. 284-295.
44. Través S.,G. 1962. Abonos. Sintés, España. pp. 121-130.
45. Tisdale, S.L. y W.L. Nelson, 1970. Fertilidad de suelos y - fertilizantes. U.T.E.H.A. Barcelona, España. pp. 122, 123,- 165-170.
46. Villarroel A., J.M. 1979. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, zinc, manganeso y hierro en suelos de Cd. Serdan, Puebla, bajo condiciones de campo y de invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de -- Postgraduados, Chapingo, México. pp. 10-12.
47. Worthen, E. y S. Aldrich, 1959. Suelos agrícolas. U.T.E.H.A. México, pp. 152, 206-222.

9 . APENDICE

Tabla 13. Resumen de los principales parámetros estadísticos de las variables estudiadas en el presente experimento.

Variable	Media general	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Coef. de variación(%)
NPM	213.0	116.000	504.0	66.26	31.10*
APM	18.56	12.700	26.7	3.30	17.76
ASM	35.23	23.700	45.5	4.98	14.12
ATM	51.95	30.600	61.7	5.72	11.02
NEM	300.53	122.000	539.0	88.35	29.39
RGM	252.87	80.000	430.0	74.69	29.53
RPM	315.62	66.500	566.5	96.98	30.72
RGH	1.86	0.663	2.59	0.393	21.17
LP	1.72	0.978	3.151	0.439	25.47
CE ₁	1.86	1.2	2.4	0.248	13.32
CE ₂	1.71	1.3	2.4	0.296	17.23
pH ₁	7.94	7.4	8.2	0.13	1.63
pH ₂	7.88	7.6	8.1	0.092	1.167
MO ₁	1.80	0.966	2.41	0.269	14.98*
MO ₂	1.76	1.31	2.41	0.256	14.55*
DA ₁	1.27	1.01	1.62	0.162	12.73
DA ₂	1.28	1.03	1.61	0.138	10.81
H° ₁	11.92	4.17	27.92	6.04	50.65*
H° ₂	12.97	2.52	27.80	6.88	53.05*
MR ₁	0.88	0.491	1.56	0.253	28.62
MR ₂	0.95	0.510	1.81	0.301	31.65

*Datos originales presentados sin corrección.

Tabla 14. Datos climatológicos, precipitación pluvial y temperatura promedio diaria en grados centígrados del período vegetativo del cultivo del trigo.

Meses	Dic		Ene		Feb		Mar		Abril	
Días	T°C	PPmm	T°C	PPmm	T°C	PPmm	T°C	PPmm	T°C	PPmm
1	21		13		20,5		14,5		24,3	
2	11,5		13,5		20,5		19		27	
3	10		12		22		22		26	
4	15		18,5		17		19	9,8	25,7	
5	15,5		12		18		20,3		26	
6	10,5		10,5		15,5		21		26,5	
7	13,5		15		15		20		25,5	
8	15,2		3,5		16,5		22,4		26	
9	20		7		10	0,6	26		26,5	
10	20		9		10		24		24,8	
11	9,5		11		6,5		28		24,2	
12	7,5		12,5		6,3	1,7	24,5		26	
13	8		12		10	0,2	23,5		29	
14	5,5		11		18,5		22		29,5	
15	7,2		12		22		22,5		28	
16	8,5		15		24		22		24	
17	9,5		17		24		25,5		22,5	
18	15,2		18		23,5		23		25,5	
19	9,5		18,5		27		16,5		24	
20	10,8	2,6	17,5		25		17		28	
21	14,0	3,8	18,5		19		14		25,5	
22	16,2		18		19		17		25	
23	17,2		16		14,5		18		24	
24	14		19		19		20		23	
25	9		18,5		19,3		21,3		24	
26	13,2		16		22,5		22		25	
27	15,2		9		20,3		22		25,5	
28	15		12		16,5		23,5		28,5	11,4
29	7,3		19				22		26	12,5
30	20		18		22,3		24			
31	20,5		18				24		24	

	PPM	APM	ASM	ATM	LP	EPM	RGM	RPM	CE1	CE2	pH1	pH2	MO1	MO2	DA1	DA2	RGH	H1	H2	MR1	MR2	
PPM																						
APM	0.0137																					
ASM	0.0478	0.8899																				
ATM	0.0883	0.7216	0.7519																			
LP	0.1946	0.0727	0.1135	0.0409																		
EPM	0.5762	0.0252	0.0529	0.1865	0.0311																	
RGM	0.1392	0.1160	0.0168	0.2488	-0.2746	0.6535																
RPM	0.0297	0.3681	0.3146	0.3776	0.1648	0.5688	0.6394															
CE1	-0.0398	-0.0230	-0.0140	-0.0631	0.1710	-0.1191	-0.0627	0.0902														
CE2	-0.2971	0.0004	0.0211	-0.1169	0.0864	-0.3878	-0.1471	-0.3936	-0.0800													
pH1	-0.0941	0.0623	0.0660	0.2307	0.3503	-0.0121	-0.0432	-0.0826	-0.0689													
pH2	0.0172	-0.0597	-0.1111	0.0032	-0.0670	0.0352	0.0574	-0.0795	-0.1846	-0.1215	0.0913											
MO1	-0.0415	0.1511	0.1913	0.1058	-0.0541	-0.0792	-0.1439	-0.0035	-0.0358	0.0099	0.1558	-0.1089										
MO2	-0.0444	-0.0247	0.0522	-0.1858	0.0811	-0.0151	-0.0564	-0.1648	-0.2488	0.0940	-0.1878	-0.0222	0.1002									
DA1	0.1138	0.1090	0.1846	0.0437	0.1703	0.0194	-0.1787	-0.0333	-0.0339	-0.1496	0.1133	-0.3181	-0.0372	0.0975								
DA2	-0.0863	-0.0026	0.0058	-0.1368	0.0478	-0.0824	-0.1036	-0.0026	0.2896	-0.1069	-0.0687	-0.0573	-0.1232	-0.0987	0.1508							
RGH	-0.2013	0.3420	0.3690	0.5351	0.2016	0.0690	0.3245	0.4384	0.2494	-0.0667	-0.0573	-0.0031	-0.1232	-0.0987	-0.1705	0.0359						
H1	0.0680	0.1387	0.1340	0.0764	-0.0410	0.0733	-0.0336	-0.0247	-0.0157	0.1544	-0.1066	0.1292	-0.1547	-0.1910	-0.3693	-0.1441	0.1639					
H2	-0.1779	-0.2731	-0.2735	-0.2879	-0.0802	-0.0944	-0.0288	-0.0098	-0.0539	0.3678	-0.2718	-0.0495	-0.0684	-0.1355	-0.3917	-0.1403	-0.0251	0.3310				
MR1	0.1014	0.0052	0.0399	-0.0623	0.3333	0.0328	-0.2459	-0.3322	-0.1209	0.1443	0.1444	0.2436	-0.0809	0.2171	-0.0035	-0.1859	-0.1340	-0.3184	0.1951			
MR2	0.2801	0.0022	-0.0544	-0.0671	-0.2305	0.2750	0.2736	-0.0018	0.0884	-0.1870	-0.1312	-0.0717	-0.0621	0.1878	0.1785	0.0083	-0.0471	0.1740	-0.1116	0.2194		

Tabla 15. Resumen de las correlaciones llevadas a cabo en las variables estudiadas.

Dosis óptima.

Al realizar una investigación sobre el empleo de diferentes fertilizantes, en este caso estiércol y nitrógeno para un determinado cultivo, la recomendación final deberá hacerse con relación al límite máximo de la función de respuesta del cultivo el cual es económicamente costeable fertilizar.

Para la determinación de la dosis óptima fisiológica (DOF) y la dosis óptima económica (DOE) se realizó un análisis de regresión múltiple, postulándose un modelo cuadrático con las variables en estudio siendo el modelo de predicción:

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

en donde:

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} \beta_0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_4 & \beta_5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 25 & 625 & 0 \\ 1 & 0 & 50 & 2500 & 0 \\ 1 & 25 & 12.5 & 156.25 & 312.5 \\ 1 & 25 & 37.5 & 1406.25 & 937.5 \\ 1 & 50 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 50 & 25 & 625 & 1250 \\ 1 & 50 & 50 & 2500 & 2500 \\ 1 & 75 & 12.5 & 156.25 & 937.5 \\ 1 & 75 & 37.5 & 1406.25 & 2812.5 \\ 1 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 100 & 25 & 625 & 2500 \\ 1 & 100 & 50 & 2500 & 5000 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \\ Y_9 \\ Y_{10} \\ Y_{11} \\ Y_{12} \\ Y_{13} \end{bmatrix}$$

$$\hat{\beta} = \begin{matrix} \beta_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \\ \hat{\beta}_4 \\ \hat{\beta}_5 \end{matrix} = (X^1X)^{-1}X^1Y$$

donde:

- β_0 = término constante
- $\hat{\beta}_1$ = efecto lineal del estiércol
- $\hat{\beta}_2$ = efecto lineal del nitrógeno
- $\hat{\beta}_3$ = efecto cuadrático del estiércol
- $\hat{\beta}_4$ = efecto cuadrático del nitrógeno
- $\hat{\beta}_5$ = efecto de la interacción entre E y N

Después de haber obtenido el valor de las betas ($\hat{\beta}$) podemos obtener la DOF derivando nuestra ecuación de predicción con respecto al estiércol y el nitrógeno e igualando a cero, quedándonos dos ecuaciones:

$$\frac{dE}{dY} = \beta_1 + 2\beta_3E + \beta_5N = 0$$

$$\frac{dN}{dY} = \beta_2 + 2\beta_4N + \beta_5E = 0$$

de donde podremos obtener la dosis de estiércol (E) y nitrógeno (N) que nos dan el rendimiento promedio máximo (Y).

La DOE la obtenemos con la finalidad de aprovechar a un má-

ximo los recursos, esto es obtener la dosis de fertilización -- más rentable.

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

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 (RIP_E) y del nitrógeno (RIP_N).

$$RIP_E = \beta_1 + 2\beta_3E + \beta_5N$$

$$RIP_N = \beta_2 + 2\beta_4N + \beta_5N$$

La forma en que se calcularon los costos unitarios de los insumos, de la mano de obra, así como el precio de garantía del cultivo fué la siguiente:

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, dandonos 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% N. El costo de una tonelada de S.A. fué de \$6,986.00, con lo cual tenemos que 1kg 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 fué de \$29,500.00; más costos de cosecha y acarreo fué de \$2,650.00

El precio de garantía del trigo en mayo de 1985 fué de --- \$37,000.00 más los costos de cosecha y acarreo fué de \$6,000.00.

Valores y costos unitarios utilizados en los análisis de la DOE, cuando se estableció este experimento (Julio, 1983).

Costo de 1 kg. de N (S.A.)	\$ 34.07
Costo de aplicación y acarreo de 1 kg de N	<u>6.78</u>
total	\$ 40.85
Costo de 1 kg de estiércol	\$ 1.25
Costo de aplicación y acarreo de 1 kg de estiércol	<u>0.20</u>
total	\$ 1.45
Precio de 1 ton. de frijol (Nov.84)	\$29,500
Costo de cosecha y acarreo de 1 ton. de frijol	<u>2,650</u>
total	\$26,850
Precio de 1 ton. de trigo (May.85)	\$37,000
Costo de cosecha y acarreo de 1 ton. de trigo	<u>6,000</u>
total	\$31,000

Tabla 16. Procedimiento utilizado para la obtención de la relación inversa de precios (RIP) en frijol y trigo.

RIP	Frijol 3er. ciclo (360 días)	Trigo 5to. ciclo (501 días)
RIP_E	$\frac{1.45}{26,850} = 0.0000540$	$\frac{1.45}{31,000} = 0.0000467$
RIP_N	$\frac{40.85}{26,850} = 0.00152$	$\frac{40.85}{31,000} = 0.00131$

Donde: RIP_E = es la relación inversa de precios para el estiércol

RIP_N = es la relación inversa de precios para el nitrógeno.

Solución gráfica para la determinación de la dosis óptima económica (DOE).

El procedimiento que se sigue para la obtención de la DOE del nitrógeno y estiércol para el cultivo del frijol y trigo mediante el método gráfico consiste primeramente, en obtener la relación precio de nutriente/precio del producto, el cual se obtiene dividiendo el costo total de 1 kg del nutriente en este caso nitrógeno y estiércol entre el precio de 1 kg del producto o sea frijol y trigo. En seguida se procede a dibujar la relación obtenida sobre las gráficas del rendimiento promedio. Una vez establecida la pendiente, se busca su tangencia con la curva y se obtiene de esa forma la DOE del nitrógeno y estiércol.

Cabe mencionar que para este análisis solo se utilizaron las gráficas del nitrógeno ya que las del estiércol se salían del área de exploración (Ver Figura 7 y 8) (16).

FE DE ERRATAS

Página	Dice	Debe decir
60		6. Ladrillo
76	F(grano-peso)	F(gramo-peso)
88	precio del nutriente/ peso del producto	precio del nutriente/ precio del producto
92	conforme se aumenta la do sis de nitrógeno el rendi miento estimado también aumenta.	conforme se disminuye la dosis de nitrógeno el rendimiento estimado au menta.
93	conforme se aumenta la dosis.	conforme se disminuye la dosis.
118	en la matriz x falta la línea de la β_3 .	β_3 0 0 0 625 625 2500 2500 2500 5625 5625 10000 10000 10000

