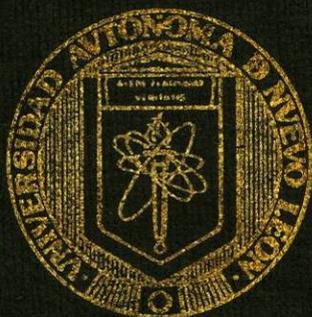


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



GRADO DE DESCOMPOSICION DE FERTILIZANTES NITROGENADOS CON EL USO DE AGUAS NEGRAS Y LA INFLUENCIA DE ESTAS EN Rhizobium phaseoli EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO PARASITOLOGO

PRESENTA

Guillermo Niven Martínez

MARIN, N. L.

FEBRERO DE 1965

T

SB32

N5

C.1



1080062881

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



GRADO DE DESCOMPOSICION DE FERTILIZANTES NITROGENADOS CON EL USO DE AGUAS NEGRAS Y LA INFLUENCIA DE ESTAS EN Rhizobium phaseoli EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Biblioteca Agronomía UANL
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO PARASITOLOGO

PRESENTA

Guillermo Niven Martínez

MARIN, N. L.

03117 

FEBRERO DE 1985

T
SB327
N5

040.631
FA13
1985
C.4



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGIA

T E S I S

GRADO DE DESCOMPOSICION DE FERTILIZANTES NITROGENADOS CON EL
USO DE AGUAS NEGRAS Y LA INFLUENCIA DE ESTAS EN Rhizobium
phaseoli EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.).

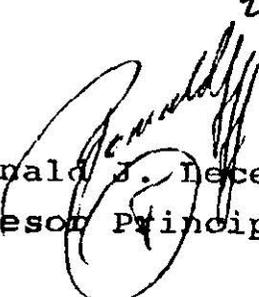
Elaborada por:

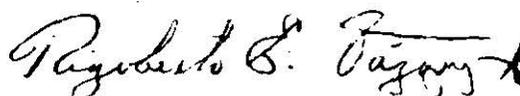
GUILLERMO NIVEN MARTINEZ

Aceptada y aprobada como requisito parcial
para optar por el título de:

INGENIERO AGRONOMO PARASITOLOGO

LA COMISION REVISORA :


Ing. Ronald J. Lecea Juárez
Asesor Principal


Ph.D. Rigoberto Vázquez A.
Asesor Técnico


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

GRACIAS A MI MADRE

Por su gran valor ante los embates e infortunios de la vida, después de haber tomado en sus manos el destino de sus pequeños.

Por el amor que tan desinteresadamente ha brindado a las personas que han cruzado en su camino que ha sido un ejemplo para mi formación social y espiritual.

Por las privaciones materiales que paso para sacarme adelante.

Por inculcar en mí un amor por el estudio.

Por su dedicación completa a crear en mí un espíritu de lucha constante.

Por los momentos de angustia y felicidad que hemos pasado juntos.

Por su comprensión.

Por su amor.

DEDICATORIAS

A mi hermano Leodegario:

Por la franqueza con que se ha desenvuelto a pesar de los sinsabores que ha tenido y el gran apoyo tan desinteresado que me ha brindado en el transcurso de mis estudios, además ha sabido ser más que un hermano, un gran amigo.

A mi esposa, María del Rosario:

Con infinito amor por su fe depositada en mí, su paciencia y voluntad, y por su amor.

A mi hijo, Guillermo Jesús:

Por complementar mi vida e impulsar mi voluntad de seguir tratando de resolver con más ahinco los problemas difíciles.

A mis hermanos:

Justiniano

Efren

Bertha

María del Carmen

Moisés

Esperanza

Jesús Alfonso

Juan

Nidia Ofelia

Con los que tengo recuerdos muy gratos, olvidando los momentos difíciles que hemos vivido, y que a pesar de todo seguimos juntos.

Al Sr. Juan Leija Flores
Porque ha sabido ser algo muy
especial en mi familia

A los señores:

José de Jesús Villa G. y
Herlinda Santos de Villa

A mis cuñadas:

Gloria
Teresa
Leticia
Eustolia
Araceli

A mis cuñados:

José de Jesús
Lorenzo
Javier
Gerardo
Miguel

A mis compañeros, amigos y a
todas las personas que inter
vinieron directa o indirecta
mente en el desarrollo de
este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Ronald Jorge Lecea Juárez

Por su asesoría para el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. M.C. Marco Vinicio Gómez Mesa

Por su ayuda, indispensable para la interpretación de los resultados del presente trabajo.

Al Dr. Rigoberto E. Vázquez Alvarado

Por su intervención en la interpretación de los resultados de este trabajo.

Al Ing. M.C. Francisco Rodríguez Esquivel

Por su colaboración en los análisis de laboratorio.

A la Sra. Yolanda Díaz Torres

Por la gran ayuda brindada en la corrección y mecanografía de este trabajo.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes del frijol.....	9
2.1.1. Taxonomía.....	9
2.1.2. Morfología.....	10
2.1.3. Variedades.....	10
2.2. Breve reseña de los fertilizantes y su importancia.....	14
2.3. Importancia del nitrógeno.....	23
2.3.1. Formas del nitrógeno en el suelo..	24
2.3.2. Fuentes químicas del nitrógeno.	25
2.3.3. Ciclo del nitrógeno.....	25
2.3.4. Fijación del nitrógeno.....	36
2.4. Características de Rhizobium.....	45
2.4.1. Taxonomía.....	45
2.4.2. Morfología.....	47
2.5. Factores que afectan el proceso de nodulación y fijación del nitrógeno...	47
2.5.1. Factores físicos que afectan el proceso de nodulación y fijación del nitrógeno.....	47
2.5.2. Factores nutricionales que afectan el proceso de nodulación y fijación del nitrógeno.....	51
2.5.3. Factores biológicos que afectan el proceso de nodulación y fijación del nitrógeno.....	54

2.6. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la nodulación y fijación del nitrógeno.....	56
2.7. La Leghemoglobina como parámetro para evitar la fijación del nitrógeno.....	58
2.8. Características y uso del agua de desecho.....	58
III. MATERIALES Y METODOS.....	61
3.1. Localización del experimento.....	61
3.2. Condiciones climáticas.....	61
3.3. Suelos.....	61
3.4. Diseño experimental y tratamientos....	63
3.5. Trabajo de campo.....	64
3.5.1. Preparación del terreno.....	64
3.5.2. Riegos.....	64
3.5.3. Siembra.....	64
3.5.4. Fertilización.....	64
3.5.5. Prácticas culturales.....	65
3.5.6. Muestreos.....	65
3.5.7. Cosecha del experimento.....	65
3.6. Trabajo de laboratorio	
3.6.1. Análisis vegetal.....	65
3.6.2. Análisis de suelo.....	65
3.6.3. Análisis del agua.....	67

	Página
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	68
4.1. Análisis estadístico de resultados.....	68
4.2. Pruebas de comparación de medias.....	68
4.3. Concentración de nitratos.....	69
4.4. Resultados de los factores del rendimiento.....	75
4.4.1. Peso de la planta sin hojas ni granos.....	75
4.4.2. Número de vainas por planta.....	84
4.4.3. Peso de vainas por planta.....	84
4.4.4. Número de granos por planta.....	84
4.4.5. Peso de granos por planta.....	84
4.5. Análisis del agua de desecho.....	89
4.6. Grado de nodulación.....	89
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
VI. RESUMEN.....	93
VII. APENDICE.....	94
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	105

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadros del Texto</u>	Página
1 Resúmen a nivel nacional de: superficie cosechada, rendimiento, producción, precio rural y valor de la producción del período 1897-1976 en el cultivo del frijol.....	5
2 Resúmen por continente de: superficie cosechada, porcentaje de superficie cosechada, rendimiento, índice promedio y producción del cultivo del frijol.....	6
3 Principales países productores de frijol en el mundo en el año de 1980.....	7
4 Variedades usadas según las condiciones climatológicas del cultivo del frijol..	12
5 Variedades de frijol recomendadas en cuanto a su resistencia a enfermedades fungosas en las principales zonas del país.....	13
6 Materiales fertilizantes disponibles en el año de 1900.....	15
7 Uso de fertilizantes a nivel nacional en algunos cultivos en el ciclo Primavera-Verano 1977-1977.....	16
8 Uso de fertilizantes a nivel nacional en algunos cultivos en el ciclo Otoño-invierno 1977-1978.....	17

Cuadro		Página
9	Uso de fertilizantes en cada uno de los estados de la República en el ciclo Primavera-Verano, 1977-1977.....	18
10	Uso de fertilizantes en cada uno de los estados de la República en el ciclo Otoño-Invierno, 1977-1978.....	19
11	Composición promedio de aglunas fuentes químicas comunes de fertilizantes nitrogenados.....	26
12	Efecto producido en el pH del suelo por algunos compuestos nitrogenados.....	37
13	Poblaciones microbianas de un suelo cultivado fértil (número de organismos por gramo de suelo).....	37
14	Grupos fisiológicos de bacterias presentes en distintos tipos de suelo (número de bacterias por gramo de suelo).....	38
15	Cantidad de nitrógeno fijado en kg/ha en algunas leguminosas.....	46
16	Especies más importantes del género <u>Rhizobium</u> con sus hospederos más comunes.....	48
17	Respuestas de nodulación de las cepas de <u>Rhizobium</u>	55
18	Temperaturas (°C), mínima, media y máxima y precipitación pluvial (mm) registradas durante el período de Marzo a Junio de 1984.....	62

Cuadro

Página

19	Medias de tratamientos del total de repeticiones en cada uno de los muestreos en el análisis del contenido de nitratos (ppm) en el suelo.....	71
20	Profundidad del sustrato mojado por la precipitación ocurrida en el mes de mayo y parte de Junio de 1984.....	74
21	Comparación y ganancia de nitratos (ppm) entre los tratamientos del muestreo 1 y los del 8.....	83
22	Ganancia promedio de nitratos (ppm)....	83
23	Medias de tratamientos del total de repeticiones para: peso de la planta sin hojas ni grano, número de vainas por planta, peso de vainas por planta (g) número de granos por planta y peso de granos por planta (g).....	88
24	Análisis químico del agua de desecho en cuanto a calidad para uso agrícola.....	90

INDICE DE CUADROS

Página

Cuadros del Apéndice

1	Características físico-químicas del suelo (0-30 cm) y subsuelo (30-60 cm) en la Ex-hacienda El Canadá, municipio de Gral. Escobedo, N.L.....	95
2	Análisis de varianza para la concentración de nitratos (ppm) del muestreo 1.....	96
3	Análisis de varianza para la concentración de nitratos (ppm) del muestreo 2.....	96
4	Análisis de varianza para la concentración de nitratos (ppm) en el muestreo 3.....	97
5	Análisis de varianza para la concentración de nitratos (ppm) del muestreo 4.....	97
6	Análisis de varianza para la concentración de nitratos (ppm) en el muestreo 5.....	98
7	Análisis de varianza para la concentración de nitratos (ppm) en el muestreo 6.....	98
8	Análisis de varianza para la concentración de nitratos (ppm) en el muestreo 7.....	99
9	Análisis de varianza para la concentración de nitratos (ppm) en el muestreo 8.....	99
10	Análisis de varianza para el peso de la planta sin hojas ni granos.....	100
11	Análisis de varianza para el número de vainas por planta.....	100

Cuadro		Página
12	Análisis de varianza para el peso promedio de vainas de una planta (g).....	101
13	Análisis de varianza para el número de granos por planta.....	101
14	Análisis de varianza para el peso promedio de granos de una planta.....	102
15	Comparación de medias de tratamientos del muestreo #6 por el método de Tukey.....	102
16	Comparación de medias de tratamientos del muestreo #7 por el método de Tukey.....	103

INDICE DE FIGURAS

<u>Figuras del Texto</u>	Página
1 Superficie cosechada, producción y rendimiento medio por hectárea, por continente del cultivo de frijol.....	8
2 Porcentaje de superficie fertilizada a nivel nacional en algunos cultivos más importantes, en los ciclos Primavera-Verano 1977-77 y Otoño-Invierno 1977-78.....	20
3 Cantidad de nitrógeno en kg/ha utilizado por algunos cultivos más importantes en los ciclos de Primavera-Verano 1977-77 y Otoño-Invierno 1977-78.....	21
4 Proporción de la superficie sembrada, encuestada que recibió fertilización (hectáreas).....	22
5 Ciclo del nitrógeno.....	30
6 Distribución de los nitratos a través de columnas de suelo de textura gruesa, tras la adición de 3.29 cm de agua.....	33
7 Cambios en los niveles de nitrato del suelo durante la descomposición de los residuos de la cosecha pobres en nitrógeno...	35
8 A) Corte de un nódulo desarrollado; b) corte de una célula ocupada por rizobios; c) las bacterias presentes en la célula presentan formas distintas (bacteroides, involutivas).....	43

9	Proceso de nodulación.....	44
10	Efecto de la temperatura en la sobrevivencia de <u>Rhizobium meliloti</u> , en suelo de arena fino-franco.....	50
11	Patrones de sobrevivencia de dos cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en suelos con diferentes valores de pH.....	52
12	Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) de cada uno de los tratamientos del promedio de repeticiones realizadas por el tiempo (días) del cultivo.....	70
13	Concentración promedio de nitratos, muestreo inicial y ganancia de nitratos (ppm).	76
14	Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición I, por el tiempo (días) del cultivo.....	77
15	Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición II, por el tiempo (días) del cultivo.....	78
16	Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición III por el tiempo (días) del cultivo	79
17	Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición IV por el tiempo (días) del cultivo.....	80

18	Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición V por el tiempo (días) del cultivo.....	81
19	Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición VI por el tiempo (días) del cultivo.....	82
20	Peso promedio de la planta sin hojas ni granos y número promedio de vainas por planta, por tratamiento.....	85
21	Peso promedio de vainas y de granos de una planta por tratamiento.....	86
22	Número promedio de granos de una planta por tratamiento.....	87

Figuras del Apéndice

1	Croquis del experimento y área empleada (1,143 m ²) en una distribución de Bloques al azar.....	104
---	---	-----

I. INTRODUCCION

Uno de los problemas más grandes y más graves al que nos enfrentamos actualmente, es el abasto de alimentos básicos. Anteriormente este problema se resolvía incrementando la superficie cultivada, pero en la actualidad se dispone de pocas tierras vírgenes susceptibles de cultivarse, por lo tanto, se tienen que aumentar los rendimientos unitarios de las tierras agrícolas, pudiéndose lograr esto aplicando la tecnología nueva, producto de la investigación.

Uno de los alimentos básicos en nuestro país lo constituye el frijol (Phaseolus vulgaris L.) por tal razón, este cultivo como todos los que de alguna forma son benéficos para el hombre, es estudiado desde el punto de vista agronómico, tendientes a incrementar el rendimiento por unidad de superficie aunado también el bajo costo.

El frijol común en México se siembra desde el nivel del mar hasta alturas de 2,500 msnm, cubriendo una superficie aproximada de 2 millones de hectáreas con características ecológicas, económicas y sociales muy diferentes.

Para la obtención de mejores rendimientos, existe un factor básico que puede ser controlado por uno mismo, y es: los fertilizantes.

Existe también una gran variedad de fertilizantes, y que su aplicación depende de diversos factores como: características edáficas: temperatura, estado nutricional de la planta, humedad, etc.

El nitrógeno se puede mencionar y estudiar como uno de los más importantes en el desarrollo y funcionamiento de las plantas.

Entre las fuentes más importantes de nitrógeno en forma química que más se han utilizado y estudiado en los últimos

años son: la urea, el sulfato de amonio y el nitrato de amonio, encontrándose en ocasiones resultados diferentes en la eficiencia de cada uno de estos fertilizantes y sobre todo en zonas de temporal. En ciertos casos, los rendimientos son iguales con ambas fuentes, en otros favorecen a la urea, otras veces es más conveniente usar nitrato de amonio y en otros casos más el sulfato de amonio, sin que se hayan determinado las condiciones que favorecen la mayor eficiencia de uno u otro fertilizante bajo cada condición específica.

A causa del encarecimiento progresivo de los fertilizantes y en su tendencia a la escasez, se han creado nuevos programas de investigación con el fin de encontrar otras fuentes de nutrientes como son: el estiércol, gallinaza, incorporación de residuos de cosecha y otro punto motivo de este estudio, es la Fijación del Nitrógeno por medios biológicos. Las asociaciones simbióticas entre bacterias del género Rhizobium y raíces de plantas leguminosas con nódulos efectivos, son capaces de fijar de 200 a 400 kg de nitrógeno por hectárea en un ciclo de cultivo.

El presente trabajo forma parte del Proyecto "Fijación Biológica del Nitrógeno" y tiene como objetivos:

- 1) Determinar la descomposición gradual de: la urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio con el uso de aguas negras.
- 2) Observar mediante el rendimiento el efecto del uso de las aguas negras combinado con fertilizantes nitrogenados.
- 3) Analizar el contenido de nitratos del agua negra en varios períodos para hacerlo más exacto.
- 4) Determinar si existe nodulación.

II. REVISION DE LITERATURA

Las leguminosas son un grupo de plantas cuyos frutos son legumbres o vainas y las semillas son granos secos, ricos en grasas y proteínas, así como fuente de energía. Por sus precios bajos son preferidos por grandes conglomerados humanos y se les cultiva tanto por sus granos como por su forraje para la alimentación humana, animal y como abono verde. Comprende plantas herbáceas, arbustos y árboles de gran porte (36).

Existen aproximadamente 10 mil especies de leguminosas de las cuales, sólo el 10% ha sido analizado para la nodulación (41).

Algunas especies de plantas que han tenido un estudio más profundo son: alfalfa, cacahuete, chícharo, frijol, haba, lenteja, soya, varias plantas útiles como abono verde y forraje, aunque falta mucho por investigar. (36).

La importancia en cuanto a composición química nutricional de las leguminosas es bastante amplia, lo anterior se puede observar en las siguientes relaciones (5, 54):

Carbohidratos	63%
Proteína cruda	24%
Grasa	3%
Fibras crudas	6%
Cenizas	4%

Composición y valor calorífico de 100 g de judías verdes y 100 g de judías secas.

Composición	Frijol en verde	Frijol en seco
Calorías	32	431
Proteínas	2.2%	22.1%
Calcio	53 mg	137 mg
Hierro	0.7 mg	6.7 mg
Vitamina A	50 unidades	30 unidades
Thiamina (Vit B ₁)	0.09 mg	0.54 mg
Riboflavina (Vit B ₂)	0.11 mg	0.18 mg
Niacina	0.5 mg	2.1 mg
Ac. Ascorbico (Vit.C)	15 mg	3 mg

La importancia de las leguminosas se manifiesta al considerar la utilidad que al hombre le dá, los grandes volúmenes de producción y las áreas bajo cultivo en los diversos países del mundo y de México en particular. Algunos datos estadísticos nacionales y mundiales en cuanto a rendimiento, producción, superficie cosechada, etc. se muestra en los Cuadros 1, 2 y 3 y la Figura 1. (9)

Como puede observarse, las leguminosas tienen una área de adaptación mundial, cultivándose en diferentes altitudes y latitudes, suelos y climas, las razas, variedades e híbridos, tienen una área más restringida. Todos los centros mundiales de origen de la agricultura y la domesticación de plantas han coincidido en encontrar especies eficientes para producir carbohidratos y proteínas. En el caso de Mesoamérica, área dentro de la cual se encuentra México, el maíz y frijol, junto con la calabaza y el chile, fueron las especies básicas alimenticias, cuyos antecedentes antropológicos se remontan a más de 8 mil años.

Tanto el maíz como el frijol han sido menospreciados como alimento humano, y en general, no han recibido la atención

FRIJOL
SUPERFICIE COSECHADA, RENDIMIENTO, PRODUCCION, PRECIO RURAL Y VALOR DE LA PRODUCCION
 1897-1976

Fuentes	Años	Superficie cosechada ha.	Rendimiento medio por ha. kg.	Producción ton.	Precio medio rural \$/ton.	Valor de la producción \$
	1897	997 524	202	197 693	64.20	12 692 136
	1898	559 254	226	351 630	50.53	17 768 850
	1899	880 110	202	177 195	45.14	7 999 425
	1900	656 640	247	162 156	60.39	9 754 115
Datos tomados de los Anuarios publicados por el Dr. Penafiel	1901	1 021 071	212	236 036	68.12	16 079 413
	1902	961 708	229	220 055	69.88	15 378 701
	1903	877 845	209	183 608	55.77	10 199 742
	1904	780 152	208	162 627	57.12	9 187 582
	1905	613 068	215	149 082	67.84	10 115 117
	1906	722 850	246	177 924	75.11	13 404 374
	1907	721 527	234	169 078	68.76	11 626 129
R. P.	1908	871 853 ¹	181 ²	158 000	73.99	11 691 069
P.-N.-P.	1909	842 112 ¹	196 ²	164 878	79.09	13 039 456
	1910	850 000 ³	200 ²	170 000 ¹	48.00 ⁶	8 160 000 ⁹
	1911	760 638 ³	188 ²	143 000 ¹	71.00 ⁶	10 153 000 ⁹
	1912	638 888 ³	180 ²	115 000 ¹	74.00 ⁶	8 510 000 ⁹
Datos formados según notas	1913	541 208 ³	182 ²	98 500 ¹	80.00 ⁶	7 880 000 ⁹
	1914	476 315 ³	190 ²	90 500 ¹	89.00 ⁶	8 054 500 ⁹
	1915	500 000 ³	180 ²	90 000 ¹	106.00 ⁶	9 540 000 ⁹
	1916	552 631 ³	190 ²	105 000 ¹	97.00 ⁶	10 185 000 ⁹
	1917	580 645 ³	186 ²	108 000 ¹	101.00 ⁶	10 908 000 ⁹
	1918	721 303 ³	178 ²	128 392 ¹	106.00 ⁶	13 609 552 ⁹
	1919	663 157 ³	190 ²	126 000 ¹	88.00 ⁶	11 088 000 ⁹
Datos elaborados por el Departamento de Estadística Nacional	1920	1 188 615 ⁴	98 ⁵	116 489	101.00 ⁷	11 764 884 ¹⁰
	1921	1 053 743 ⁴	114 ⁵	120 127	110.00 ⁷	13 213 970 ¹⁰
	1922	1 212 505 ⁴	95 ⁵	115 188	110.00 ⁷	12 670 680 ¹⁰
	1923	1 184 914 ⁴	102 ⁵	118 685	120.00 ⁷	14 242 200 ¹⁰
	1924	1 240 269 ⁴	71 ⁵	88 555	129.00 ⁷	11 423 595 ¹⁰
	1925	923 658	203	187 629	183.00	34 398 103
	1926	965 150	207	199 471	104.00	20 770 737
	1927	959 975	198	189 899	101.00	19 228 515
	1928	887 491	195	176 134	98.00	17 359 096
	1929	733 421	129	94 971	135.00	12 848 188
	1930	709 460	116	82 577	191.00	15 825 366
	1931	723 197	188	135 960	126.00	17 170 747
	1932	640 215	206	131 840	110.00	13 856 151
	1933	661 896	281	185 849	60.00	11 428 919
	1934	597 065	207	123 776	70.00	8 556 408
	1935	567 791	213	120 980	100.00	11 802 910
	1936	527 751	202	106 524	140.00	14 875 077
	1937	546 995	190	103 796	200.00	20 880 869
	1938	596 459	177	105 499	250.00	26 374 975
	1939	612 106	214	148 162	240.00	35 559 688
Datos oficiales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería	1940	635 447	152	96 752	210.00	20 505 552
	1941	672 257	238	160 022	210.00	32 906 854
	1942	750 400	244	182 802	200.00	36 782 052
	1943	699 796	225	157 372	230.00	36 118 784
	1944	734 398	249	183 183	290.00	51 949 051
	1945	727 731	222	161 729	370.00	60 259 534
	1946	733 607	189	138 629	680.00	94 492 995
	1947	740 892	268	198 854	820.00	162 577 534
	1948	788 109	266	209 629	680.00	144 193 993
	1949	885 522	261	231 122	690.00	159 115 831
	1950	969 129	258	250 293	729.00	182 713 715
	1951	968 536	248	240 018	700.00	168 012 160
	1952	965 254	253	244 500	740.00	180 918 804
	1953	979 988	305	298 687	770.00	230 715 155
	1954	1 107 940	361	399 458	890.00	355 412 765
	1955	1 187 097	377	448 908	1 030.00	461 717 166
	1956	1 343 290	322	432 058	1 120.00	484 606 246
	1957	1 151 913	356	410 409	1 240.00	511 466 907
	1958	1 348 541	378	509 524	1 280.00	651 276 929
	1959	1 410 700	412	581 498	1 370.00	766 804 650
	1960	1 325 760	398	528 175	1 512.00	788 973 260
	1961	1 617 107	447	723 340	1 561.00	1 131 459 238
	1962	1 673 694	392	658 608	1 647.00	1 079 947 922
	1963	1 710 767	396	677 280	1 693.00	1 146 181 957
		2 091 025	426	891 526	1 726.00	1 538 102 216
	1965	2 116 858	406	859 584	1 743.00	1 499 050 131
	1966	2 240 022	452	1 013 169	1 790.00	1 813 632 543
	1967	1 929 967	508	980 169	1 755.00	1 719 827 455
	1968	1 790 669	479	856 919	1 758.00	1 506 322 144
	1969	1 655 520	504	834 527	1 800.00	1 502 641 861
	1970	1 745 947	530	925 042	1 843.00	1 699 359 611
	1971	1 961 126	485	953 785	1 980.00	1 881 763 693
	1972	1 686 746	515	869 506	2 199.00	1 766 499 127
	1973	1 869 380	549	1 008 887	2 399.00	2 318 661 175
	1974	1 551 877	626	971 576	5 000.00	5 412 941 160
	1975	1 712 432	586	1 027 504	5 760.00	5 901 199 580
	1976	1 315 819	562	749 812	4 700.00	3 476 681 660

¹ Estimada gráficamente, con tendencia decreciente de 1910 a 1915, en comparación con la producción de maíz que se propuso como base de comparación en el cuadro respectivo.
² Estimada gráficamente, en función de los registros de lluvias y en comparación con los datos censales del período 1925-1934.
³ Estimada de la 1 y 2, la de 1918 proviene de 11 y 2.
⁴ Datos considerados muy altos.
⁵ Datos derivados de la cifra de producción y de 4, se considera muy bajo por ser muy alto el dato 4.
⁶ Tomado como 1.77 del precio rural del maíz adaptado para el mismo ciclo. Este coeficiente es el promedio de la relación de precios de frijol a maíz para el período 1897-1907 y 1925-1934.
⁷ Tomado como 1.84 del precio rural del maíz para los mismos ciclos. Este coeficiente es el promedio de la relación de precios de frijol a maíz para el período 1925-1934.
⁸ Dato que se considera muy bajo.
⁹ Calculado en función de 4 y 6. Debe considerarse aproximado por derivarse de datos estimativos.
¹⁰ Calculado en función de la cifra de producción y 7 debe considerarse aproximado por derivarse de datos estimativos.
 11 Este dato de producción se tomó del Anuario del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de la América del Norte, 1921 y se consideró ajustable.
 12 F. Dato tomado del resumen publicado por el Dr. Penafiel.
 P.-N.-P. Dato no publicado del Dr. Penafiel.
 Debido a la baja producción en los años de mayor agitación militar y política social, en 1915 por ejemplo, se consideró como producción mínima de frijol (20 000 toneladas). Admitiendo una población de 15 000 000 de habitantes el consumo per cápita resultaría de seis kilogramos, en 1929, 1930, 1936, 1937, 1938, 1940 y 1946, años de normalidad económica se observaron consumos inferiores a 6 kilogramos por persona, de este se deduce que la producción, en la época de mayor agitación revolucionaria, pudo satisfacer un consumo per cápita que resultó, no atendiendo a niveles de insuficiencia.

CUADRO 1. Resumen a nivel nacional de superficie cosechada, rendimiento, producción, precio rural y valor de la producción del período 1897-1976 en frijol.

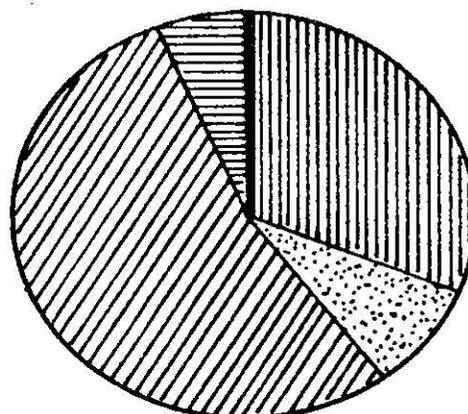
CUADRO 2. Resumen por continentes de superficie cosechada, porcentaje, rendimiento, índice promedio y producción del cultivo de frijol.

CONTINENTE	SUP. COS. MILES DE HAS.	%	RENDIMIENTO KG/HA	INDICE PROM. M=100	PRODUCCION MILES DE T.M.	%
America	8,264	31.44	642	115.05	5,310	36.21
Africa	2,130	8.10	605	108.42	1,288	8.78
Asia	14,326	54.50	510	91.40	7,310	49.85
Europa	1,562	5.94	483	86.56	754	5.14
Oceanía	4	0.02	750	134.41	3	0.02
TOTAL MUNDIAL	26,286	100.00	558	100.00	14,664	100.00

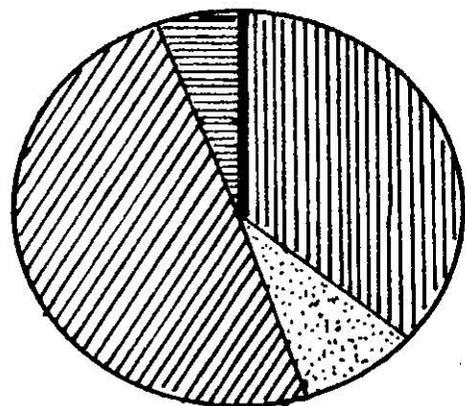
CUADRO 3. Principales países productores de frijol en el mundo, en el año de 1980.

CONTINENTE Y PAIS	SUP. COS. MILES DE HAS.	RENDIMIENTO KG/HA	INDICE PROM. M = 100	PRODUCCION MILES DE T.M.	%
América					
México	1,763	551	98.75	971	6.62
Argentina	205	1,146	205.38	235	1.60
Brasil	4,306	459	82.26	1,975	13.47
Colombia	118	695	124.55	82	0.56
Chile	111	757	135.66	84	0.57
Estados Unidos	743	1,594	285.66	1,184	8.08
Guatemala	116	690	123.66	80	0.55
Africa					
Burundi	258	671	120.25	173	1.18
Camerún	154	636	113.98	98	0.67
Rwanda	216	815	146.06	176	1.20
Tanzania	300	500	89.61	150	1.02
Uganda	360	500	89.61	180	1.23
Zaire	166	566	101.43	94	0.64
Asia					
Birmania	312	593	106.27	185	1.26
China	4,612	806	144.44	3,355	22.88
India	8,700	322	57.71	2,800	19.09
Irán	94	1,064	190.68	100	0.68
Japón	95	1,716	307.53	163	1.11
Tailandia	425	647	115.95	275	1.88
Turquía	103	1,553	278.32	160	1.09
Europa					
España	128	633	113.44	81	0.55
Italia	49	1,673	299.82	82	0.56
URSS	50	1,800	322.58	90	0.61
Yugoeslavia	149	1,074	192.47	160	1.09
Resto del Mundo	3,203	540	96.77	1,731	11.81
Total Mundial	26,286	558	100.00	14,664	100.00

SUPERFICIE COSECHADA



PRODUCCION



0.02 % OCEANIA



5.44 % EUROPA



49.85 % ASIA



36.21 % AMERICA



8.78 % AFRICA



RENDIMIENTO MEDIO POR HECTAREA

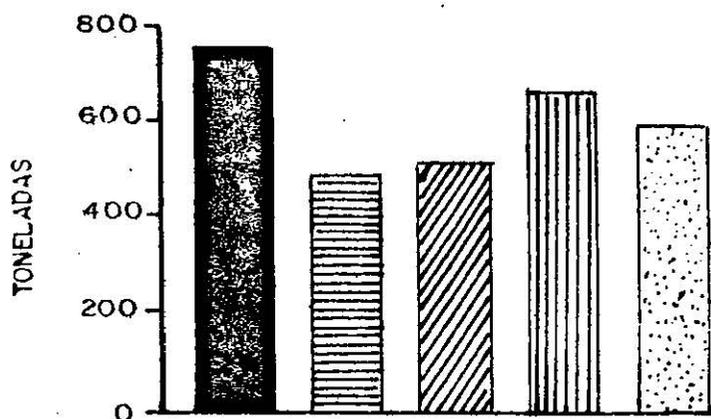
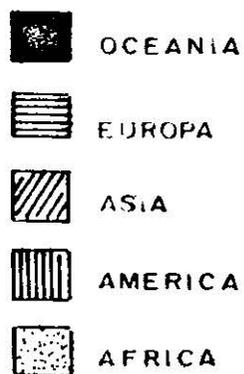


FIGURA 1. Superficie cosechada, producción y rendimiento medio por hectárea, por continentes, del cultivo de el frijól.

de los investigadores nacionales, sino hasta fechas muy recientes. Debe de reconcerse que, a pesar de las fuertes presiones tecnológicas actuales, un alto porcentaje de nuestra población sigue dependiendo del frijol como fuente importante de nutrición. (22)

2.1. Antecedentes del frijol

El frijol se conoce con los nombres de frejól, judía, habichuela o alubia. Se cultiva con el fin de cosechar semilla seca y, en menor proporción en forma inmadura (ejote), que se consume fresco o en conserva. Este cultivo se trabaja desde hace 6,000 años, se cree que sea nativo de la zona ubicada entre México y Guatemala. (6)

Según parece, las poblaciones lacustres de Suiza, 5,000 a 4,000 años antes de Cristo, cultivaban una planta llamada judía enana durante la edad de bronce. La literatura china menciona el cultivo de la soja entre el año 3,000 y 2,000 antes de Cristo. Los indios americanos cultivaban las judías entre las plantas de maíz desde las épocas más remotas; las judías formaban parte también de modo importante del régimen alimenticio de los indígenas de América Latina. (50)

Actualmente, sigue siendo muy importante su cultivo, a pesar de ser la mayoría de temporal. El área de explotación asciende a:

Frijol seco	25,082,000 ha	515 kg/ha
Frijol ejotero	385,000	6,092 kg/ha (6)

2.1.1. Taxonomía

El frijol común (P. vulgaris L.) se clasifica de la siguiente manera: (28):

Reino	Vegetal
Sub-reino	Plantas
Phyllum	Tracheophyta
Clase	Angiospermas
Subclase	Dicotyledoneae
Orden	Rosales
Suborden	Rosinae
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Papilionoidea
Tribu	Faseolea
Subtribu	Faseolineas
Género	Phaseolus
Especie	vulgaris

2.1.2. Morfología

Por su amplia adaptación a diferentes climas, el frijol tiene diversas características; sin embargo, todas ellas tienen mucho en común. (6, 39)

Es una planta de forma arbustiva y de crecimiento determinado, su altura varía de 30-90 cm, hay del tipo de crecimiento indeterminado o frijol trepador que crece hasta 2 m o más. (6)

Raíz. Posee una raíz principal pivotante que alcanza hasta 2 m de profundidad y otras raíces laterales que desarrollan una radícula cónica. Estas raíces cuentan con una importancia relevante, ya que son las que junto con ciertas bacterias fijan el nitrógeno.

Hojas. Cuenta con dos tipos de hojas: las primeras dos que salen son llamadas hojas cotiledonares, de forma acorazonada, sencillas y opuestas, y las que salen después de éstas, son llamadas verdaderas y son pinadas, trifoliadas y pubescentes. Su tamaño varía según la especie de planta.

Inflorescencia. Es un racimo y nace en las axilas de las hojas. (6)

Flor. Son pediceladas, la flor consta de 5 sépalos, 5 pétalos, 10 estambres y un pistilo; el caliz es gamosépalo; los pétalos difieren morfológicamente y en conjunto forman la corola. El pétalo más grande, situado en la parte superior de la corola se llama estandarte, y los dos pétalos laterales reciben el nombre de alas. En la parte inferior se encuentran los dos pétalos restantes, unidos por los bordes laterales y formando la quilla. (39)

2.1.3. Variedades

El género Phaseolus comprende un amplio número de especies que incluyen hierbas anuales, perennes, erectos y volubles. La especie más importante hasta ahora es el frijol común, y aparte de esta especie, otras de las más conocidas son:

- Frijol ayocote o judía escarlata (4 ó más m de altura)
- Frijol lima (trepador o arbustivo)
- Frijol Tepary (arbustivo, 25 cm aprox.)

Existen muchas variedades de frijol y los nombres de estas difieren de país a país y de región a región. Se diferencian además en el comportamiento de las plantas, el ciclo vegetativo, el rendimiento, la resistencia contra el acame, la resistencia a las enfermedades, etc. Algunas variedades, según las condiciones climatológicas se muestran en el Cuadro 4. (6)

Existe una clasificación de las variedades más importantes y que son recomendadas en algunas zonas del país, por su resistencia o tolerancia a enfermedades fungosas. Estas se muestran en el Cuadro 5. (7)

CUADRO 4. Variedades usadas, según las condiciones climatológicas del cultivo del frijol.

CULTIVOS	CALIDAS	TEMPLADAS	FRIAS
Frijol ejotero	Contender	Contender	
	Tendergreen	Tendergreen	Tendergreen
		Black valentine	Black valentine
		Stringless	Stringless
Frijol para grano	Delicias 71		
	CIAS 72		
	Sataya 425		
	Jamapa	Jamapa	
	Canario 101	Canario 101	
	Bayo 107	Bayo 107	
		Negro Puebla	
		Flor de Mayo	Flor de Mayo
			Canario 103
			Canario 107
		Bayo mex	

CUADRO 5. Variedades de frijol recomendadas en cuanto a su resistencia a enfermedades fungosas en las zonas principales del país.

VARIETADES	DEL GOLFO	PENINSULA DE YUCATAN	MESA CENTRAL	COSTA DEL PACIFICO	NORTE DEL PAIS	BAJIO
- Canario 107		X	X	X	X	X
- Bayo Mex.			X		X	
- Canocel			X		X	X
- Negro			X			
- Canario 101				X	X	X
- Cacahuate bolita				X		
- Cacahuate largo				X		
+ Agrarista	X					
+ Negro Husteco	X					
+ Delicias	X					
+ Jamapa	X	X	X	X	X	
+ Arriaga	X					
+ Bayo 107		X	X		X	
+ Sataya 425				X		
+ Azufrado amarillo				X		
+ Azufrado Bayo				X		
+ Bayo 164					X	
+ Delicias 71					X	
+ Durante 664					X	
* Negro 66	X		X			
* Negro 172	X		X			
* Negro 150			X			
* Bayo 107	X					
* Bayo 158					X	
* Bayo 159					X	
* Amarillo 153			X			
* Amarillo 154			X			
* Durango 222					X	
* Durango 225					X	
* Flor de Mayo				X		X
* Prieto Nal.					X	
* Rosita						X

(-) Mata

(+) Semi-guía

(*) Guía

2.2. Breve reseña de los fertilizantes y su importancia

Entre los materiales que primero se utilizaron como fertilizantes se encuentran los estiércoles animales, huesos, cenizas de madera, desperdicios de lana, el guano, el pescado y la cal. No obstante, el uso a gran escala de los materiales fertilizantes sólo se ha desarrollado verdaderamente en los últimos 100 años.

El uso de los fertilizantes químicos probablemente se inició en 1665, cuando Sir Kenel escribió que había aumentado el rendimiento de las cosechas con la aplicación de salitre. Una serie de investigaciones fueron sucediendo en los años posteriores a este descubrimiento, a tal grado que empezó en Alemania la fabricación industrial de fertilizantes. La producción de éstos aumentó más aún con el agotamiento de las tierras cultivadas y con la utilización de áreas vírgenes. Algunos de los productos que se producían se muestran en el Cuadro 6. (18)

En nuestro país, existe actualmente una gran demanda de fertilizantes, tanto los que se necesitan en grandes cantidades como los que requieren una proporción muy pequeña para satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas. Esta demanda se puede observar en la mayoría de los cultivos, algunos ejemplos son mostrados en los Cuadros 7, 8, 9, y 10 y en las Figuras 2, 3, y 4. (11)

Como se mencionó, los fertilizantes se dividen en macronutrientes y micronutrientes. En los primeros incluye los elementos y sus compuestos que tienen un desempeño clave en el protoplasma y como se dijo, se requieren en grandes cantidades como por ejemplo: Oxígeno, Nitrógeno, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre y Fósforo. En los segundos incluyen aquellos elementos y sus compuestos también necesarios para el funcionamiento de los sistemas vivientes, pero que se requieren en menor proporción; por ejemplo: Hierro, Manganeso, Cobre, Zinc Boro, Sodio, Molibdeno, Cloro, Vanadio y Cobalto. (29)

CUADRO 6. Materiales fertilizantes disponibles en 1900.

DE ORIGEN NITROGENADO		FUENTES DE ACIDO FOSFORICO	FUENTES DE POTASA
INORGANICOS	ORGANICOS		
Sulfato amónico	Bagazo de ricino	Escoria básica	Cainita
Nitrato sódico	Harina de semilla de algodón	Fosfato precipitado	Sales bajas
	Sangre desecada	Superfosfato (entonces denominado fosfato ácido)	Cloruro potásico
	Desperdicios de pescado		Sulfato potásico
	Amoniacales en bruto		Sulfato potásico magnésico.
	Residuos orgánicos.		

03117

Cultivos	Superficie realizada	Superficie fertilizada	%, Fertilizado	Cantidad es aplicadas			
				Nitrógeno kgs	kg./ha	Fósforo kgs	kg./ha
<i>PRIMAVERA-VERANO 1977-77</i>							
AJONJOTE							
Con encuesta	191 952	61 858	32	4 916 000	79	1 166 000	33
Sin encuesta	10 095						
Total	202 047						
ALGODON							
Con encuesta	355 220	352 839	99	57 872 100	164	19 813 000	59
Sin encuesta	4 933						
Total	360 153						
ARROZ							
Con encuesta	144 393	126 888	88	15 637 940	123	2 178 180	30
Sin encuesta	21 166						
Total	165 559						
CEBADA							
Con encuesta	154 931	44 188	29	4 032 600	91	2 445 000	55
Sin encuesta	21 109						
Total	176 040						
FRÍJOL							
Con encuesta	1 259 249	298 389	24	9 209 700	31	8 030 700	28
Sin encuesta	112 827						
Total	1 372 076						
MAIZ							
Con encuesta	6 637 888	3 550 829	53	288 884 400	81	164 000 000	47
Sin encuesta	111 289						
Total	6 749 177						
SORGO							
Con encuesta	971 315	825 868	85	103 321 700	125	53 259 000	70
Sin encuesta	13 678						
Total	985 573						
SOYA							
Con encuesta	309 104	190 405	62	15 317 000	80	18 007 000	95
Sin encuesta	4 487						
Total	313 591						
SUMA							
Con encuesta	10 024 632	5 451 254	54	499 191 440	92	269 554 880	49
Sin encuesta	299 584						
Total P. V.	10 324 216						

CUADRO 7. Uso de fertilizantes a nivel nacional en algunos cultivos en el ciclo Primavera-Verano-1977-77.

Cultivos	Superficie realizada	Superficie fertilizada	/ Fertilizado	Cantidades aplicadas		
				Nitrógeno kg	Fósforo kg	
OTOÑO INVIERNO 1977-77						
CARTAMO						
Con encuesta	320 324	264 628	83	35 506 000	134	1 804 000
Sin encuesta	108 748					17
Total	429 072					
CEBADA						
Con encuesta	50 888	46 612	92	3 151 000	175	2 268 000
Sin encuesta	9 683					49
Total	60 571					
TRIGO						
Con encuesta	165 853	48 751	29	1 522 000	31	470 000
Sin encuesta	95 774					35
Total	261 627					
MAIZ						
Con encuesta	418 670	174 344	42	15 091 000	87	1 947 000
Sin encuesta	157 884					63
Total	576 554					
SORGO						
Con encuesta	481 864	269 744	56	21 160 000	90	
Sin encuesta	16 228					
Total	498 092					
TRIGO						
Con encuesta	598 506	589 183	98	116 781 000	198	23 409 000
Sin encuesta	81 311					40
Total	679 817					
SUMA						
Con encuesta	2 036 105	1 093 262	68	201 211 000	130	27 598 000
Sin encuesta	469 628					27
Total O I	2 505 733					
TOTAL PRIMAVERA VERANO Y OTOÑO INVIERNO						
Con encuesta	12 060 737	6 844 516	57	700 402 440	102	299 452 880
Sin encuesta	769 212					46
Total general	12 829 949					

CUADRO 8. Uso de fertilizantes a nivel nacional en algunos cultivos en el ciclo Otoño-Invierno 1977-1978.

CUADRO 9. Uso de fertilizantes en cada uno de los estados de la República en el ciclo Primavera-Verano de 1977-77.

ESTADOS	CANTIDADES APLICADAS						
	SUPERFICIE REALIZADA	SUPERFICIE FERTILIZADA	% FERTILIZADO	NITROGENO kg/ha	FOSFORO kg/ha		
CON ENCUESTA SOBRE USO DE FERTILIZANTES							
Aguascalientes	28,148	21,674	77	452,200	21	673,000	31
Coahuila	8,613	258	3	5,100	20	3,000	12
Chiapas	52,500	17,325	33	127,400	7	427,000	25
Chihuahua	146,713	83,626	57	4;100,000	49	4;231,000	51
Durango	162,518	16,252	10	299,700	18	689,000	42
Guanajuato	37,534	1,126	3	223,000	198	229,000	203
Guerrero	29,000	15,080	52	31,000	2	6,000	-
Hidalgo	17,684	3,006	17	403,100	134	226,000	75
Jalisco	113,950	70,649	62	1;164,800	17	533,000	8
México	26,228	9,704	37	261,600	27	208,000	21
Morelos	4,527	4,210	93	29,400	7	14,000	3
Oaxaca	51,862	16,596	32	97,800	6	42,000	3
Puebla	70,000	9,100	13	128,600	14	54,000	6
Querétaro	25,388	762	3	32,900	43	97,000	127
San Luis Potosí	30,092	602	2	62,600	104	3,700	6
Sinaloa	11,488	7,008 (1)	61	1;109,800	158	-	-
Sonora	2,160	324 (1)	15	1,200	4	-	-
Tamaulipas	7,313	146	2	21,300	146	11,000	75
Tlaxcala	9,600	1,440	15	27,100	19	14,000	10
Veracruz	12,715	3,052	24	56,500	19	45,000	15
Zacatecas	411,216	16,449	4	574,100	35	575,000	35
T o t a l :	1;259,249	298,389	24	9;209,700	32	8;080,700	28

SIN ENCUESTA SOBRE USO DE FERTILIZANTES

Baja C. Norte	278
Baja C. Sur	582
Campeche	221
Distrito Federal	3,693
Michoacán	88,036
Nuevo León	11,862
Yucatán	8,155
T o t a l :	112,827

CUADRO 10. Uso de fertilizantes en cada uno de los estados de la República en el ciclo Otoño-Invierno, 1977-78.

ESTADOS	SUPERFICIE REALIZADA		SUPERFICIE FERTILIZADA	%	CANTIDADES APLICADAS			
	FERTILIZADA	FERTILIZADA			NITROGENO kg	FOSFORO kg	kg/ha	
CON ENCUESTA SOBRE USO DE FERTILIZANTES								
Guanajuato	12,704	12,704	100	100	893,000	70	367,000	29
Guerrero	5,700	-	-	-	-	-	-	-
Michoacán	4,305	4,305 (1)	100	100	49,000	11	-	-
Nayarit	67,369	674	1	1	94,000	139	103,00	135
Sinaloa	75,775	31,068 (1)	41	41	486,000	16	-	-
T o t a l :	165,853	48,751	29	29	1,522,000	31	470,000	35
SIN ENCUESTAS SOBRE USO DE FERTILIZANTES								
B. California S.	387							
Campeche	1,317							
Colima	950							
Chiapas	5,119							
Hidalgo	3,743							
Jalisco	7,100							
México	520							
Morelos	801							
Oaxaca	8,754							
Puebla	2,345							
Quintana Roo	3,475							
San Luis Potosí	4,261							
Sonora	268							
Tabasco	8,960							
Tamaulipas	1,174							
Veracruz	46,600							
T o t a l :	95,774							
Total General:	261,627							

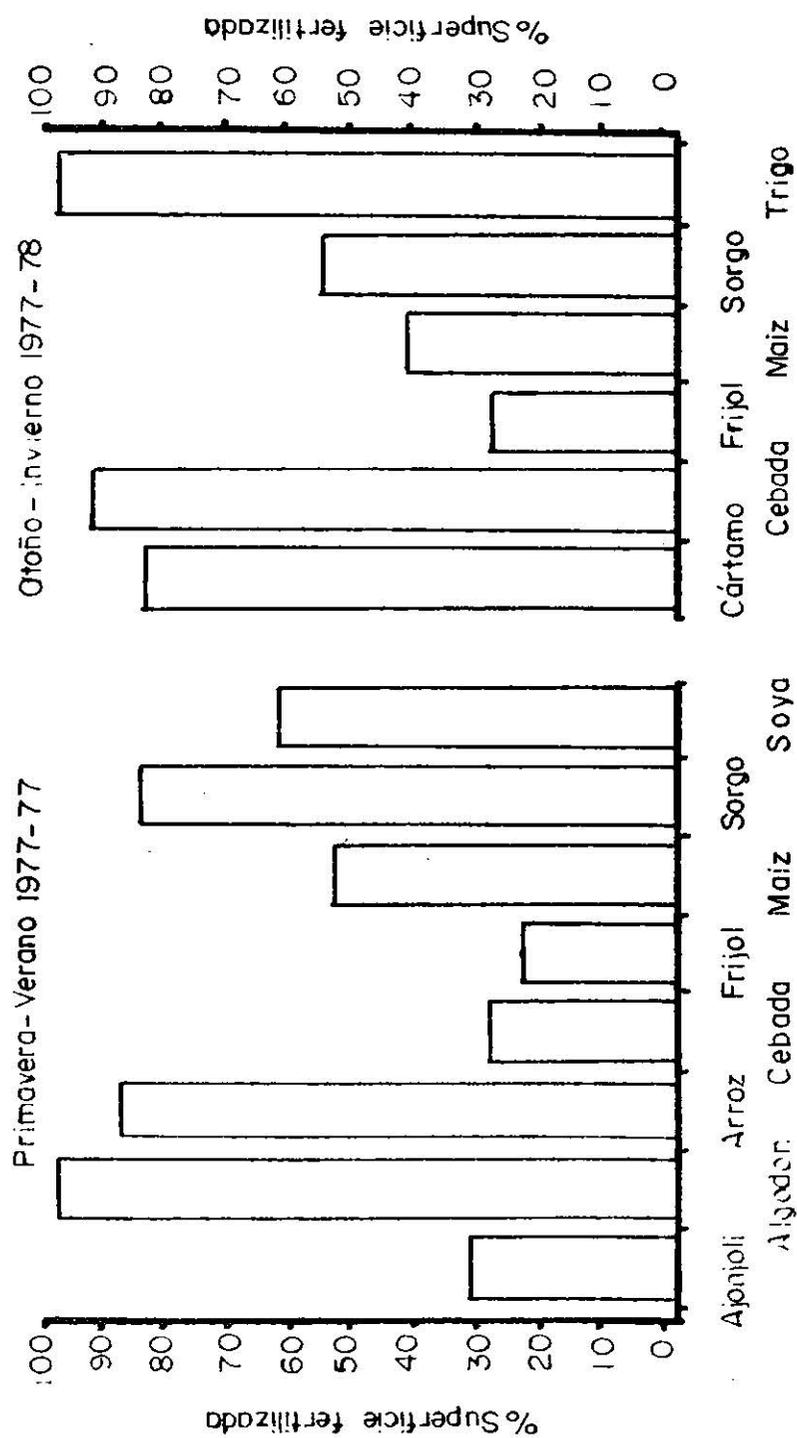


FIGURA 3. Porcentaje de superficie fertilizada a nivel nacional en algunos cultivos más importantes, en los ciclos Primavera-Verano-1977-1977 y Otoño-Invierno 1977-1978.

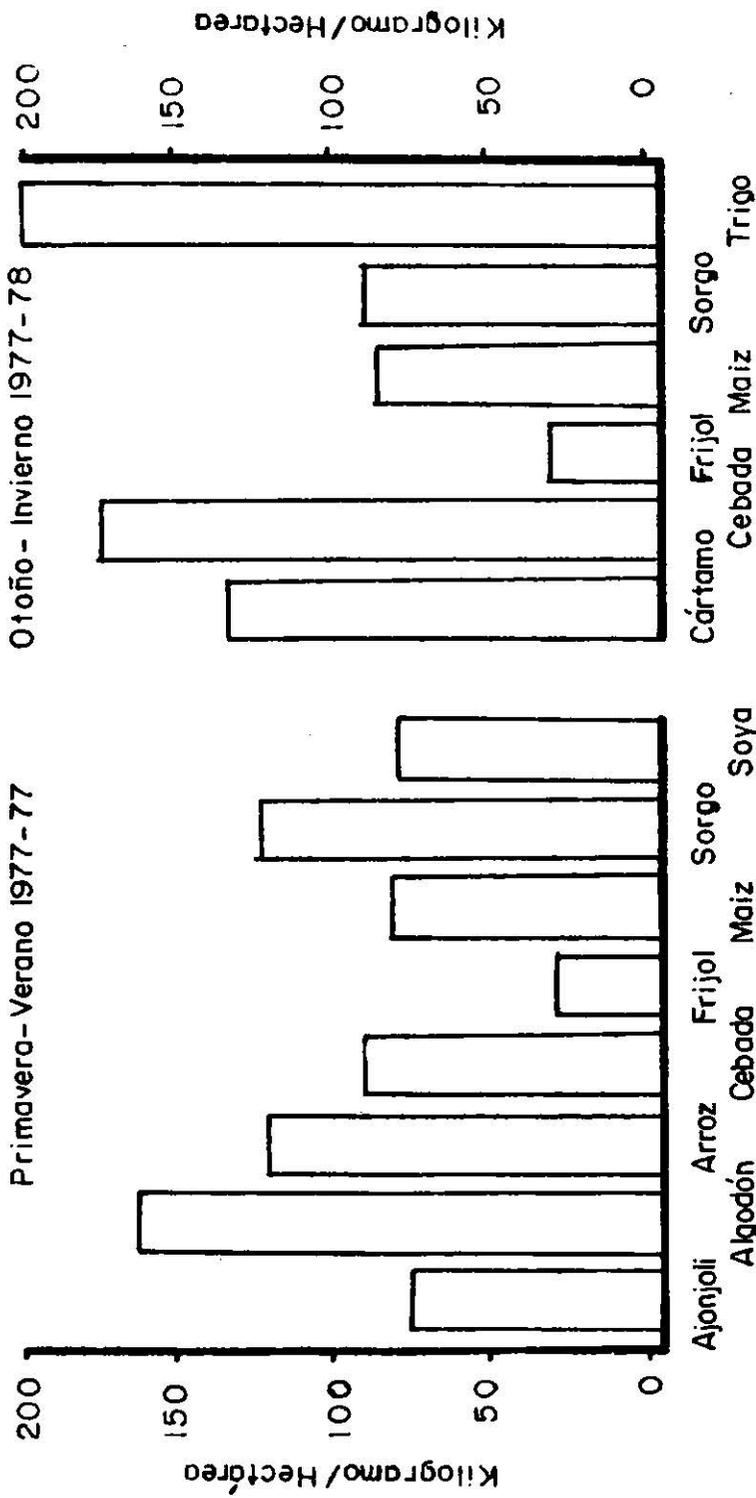
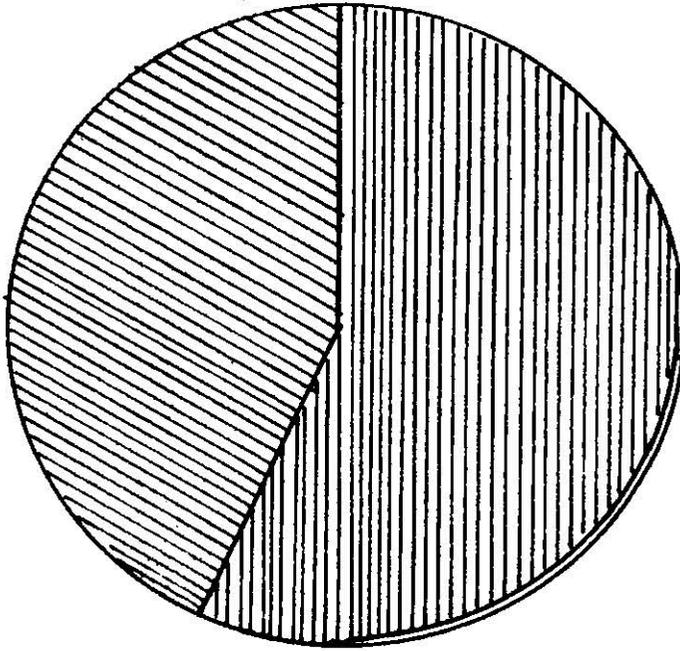


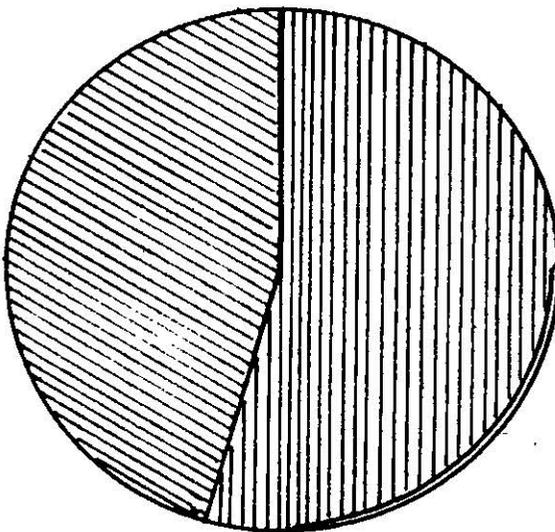
FIGURA 3. Cantidad de Nitrógeno en Kg/ha. utilizado por algunos cultivos mas importantes en los ciclos Primavera-Verano 1977-1977 y Otoño-Invierno 1977-1978.

AÑO AGRICOLA 1978



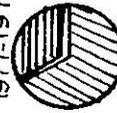
Fertilizada 6 844 516
No fertilizada 5 216 221

PRIMAVERA - VERANO
1977-1977



Fertilizada 5 451 254
No fertilizada 4 573 378

Otoño - Invierno
1977-1978



Fertilizada 1 393 262
No fertilizada 642 843

FIGURA 4. Proporción de la superficie sembrada encuestada que recibió fertilización (hectareas).

Hoy en día la fertilización puede tener en base a su uso, beneficios y a su vez efectos nocivos para el suelo, por tal motivo, se están empleando otras fuentes de fertilizantes que combinados con químicos, mejoran la calidad del suelo tanto física como química y lo son: aplicaciones de materia orgánica de residuos vegetales, estiércol, gallinaza, aguas de desecho y microorganismos benéficos del suelo.

2.3. Importancia del Nitrógeno

El estudio de los constituyentes de las plantas, utilizando el método sintético, nos ha mostrado que los nitratos son los más abundantes de entre todas las sales minerales que integran las soluciones nutritivas. (26)

Como los nitratos son la forma más útil del nitrógeno para la nutrición vegetal, la cantidad de éstos es lo que determina en gran parte la fertilidad del suelo. (14)

El nitrógeno se encuentra en la planta cumpliendo importantes funciones bioquímicas y biológicas. Por ser un elemento móvil, el nitrógeno mineral (NO_3^- y NH_4^+) una vez en el interior de las células, pasa a constituir las bases nitrogenadas para las distintas funciones fisiológicas. El nitrógeno ingresa en la formación de los aminoácidos, luego éstos entran en la síntesis de los prótidos y las proteínas del vegetal. El nitrógeno se encuentra además en la formación de las hormonas, de los ácidos nucleicos con función hereditaria y de la clorofila. (40)

Desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, las formas NH_4 , NO_2^- y NO_3^- son de mayor importancia, el óxido nítrico y el óxido nitroso también son importantes en un camino negativo, porque representan formas del nitrógeno que se pierden para la utilización en el cultivo a través de la desnitrificación, aparte que el NO_2^- y el NO^- son gases muy tóxicos para las plantas y que son etapas transitorias que conducen a la formación de NO_3^- en el ciclo del nitrógeno. (29, 47)

Un buen manejo de aplicación de fertilizantes nos producirá buenos resultados tales como: aumento en la corpulencia de los granos y de su porcentaje de proteína. De lo contrario si aplicamos menor o mayor cantidad de N_2 , se nos altera el cultivo en sus resultados. (13)

Está comprobado que altos niveles de nitrógeno en el suelo puede desencadenar perturbaciones fisiológicas en la planta, tales como:

- 1) Exagerado crecimiento vegetativo que determina un alargamiento inapropiado y un retraso en la maduración final.
- 2) Excesivo crecimiento de los entrenudos que formarán así un largo y débil tallo.
- 3) Desmerecimiento de la calidad del grano por falta de óptima sequedad del mismo.
- 4) Disminución de la resistencia a enfermedades debido a una incompleta maduración fisiológica natural. (13, 42)

Por otro lado, una ausencia de nitrógeno impide el crecimiento. Si los vegetales encuentran este elemento en cantidades insuficientes, permanecerán pequeños de talla, sus órganos verde amarillearán y los rendimientos del cultivo serán escasos. (26)

2.3.1. Formas del nitrógeno en el suelo

El nitrógeno en el suelo puede ser clasificado como inorgánico y orgánico. La primera clasificación incluye: NH_4 , NO_3^- , NO_2^- , N_2O , NO y N_2 elemental, que es, claro está, inerte, excepto para su utilización por *Rhizobium*. En la segunda clasificación, se hallan formas como aminoácidos y proteínas consolidadas, aminoácidos libres, aminoazúcares y otros complejos. Generalmente, compuestos no identificados. Los del segundo grupo, se cree que resultan de la reacción del amonio con la lignina; la polimerización de compuestos nitrogenados y la

condensación de azúcares y aminas. (26, 47, 52)

2.3.2. Fuentes químicas de nitrógeno

Escencialmente, las fuentes químicas de nitrógeno son: los compuestos nitrogenados fertilizantes. La mayor parte son derivados del amoníaco, o sea, de los compuestos amoniacales.

Del compuesto básico NH_3 , se elaboran muchos compuestos nitrogenados distintos, aunque también los hay en menor cantidad, que no provienen del amoníaco sintético. Por conveniencia, los diversos compuestos nitrogenados se agrupan en cuatro categorías: amoniacal, nitrato, lentamente utilizable y otros. La composición de algunas fuentes químicas comunes de nitrógeno las podemos observar en el Cuadro 11. (47)

Al utilizar los fertilizantes nitrogenados se puede correr el riesgo de alterar el pH del suelo, dependiendo del fertilizante empleado, la dosis, el tipo de suelo, etc. Conociendo las características químicas de estos fertilizantes, es más fácil predecir el efecto que se va a producir. Algunos de estos efectos de los fertilizantes más usados se muestran en el Cuadro 12. (35)

2.3.3. Ciclo biológico del nitrógeno

La mineralización del nitrógeno tiene lugar en esencia en tres etapas, cuyas reacciones se conocen como: Aminificación, Amonificación y Nitrificación. Las dos primeras reacciones son efectuadas a través de organismos heterotrofos y la tercera por bacterias autotrofas del suelo. (13, 47)

Los organismos heterotrofos del suelo requieren componentes de carbón orgánico para su obtención de energía. Los organismos autotrofos obtienen su energía de la oxidación de sales inorgánicas y su carbón del anhídrido carbónico de la atmósfera. (33, 43, 47)

CUADRO 11. Composición promediada de algunas fuentes químicas comunes de fertilizantes nitrogenados.

FUENTE	PORCENTAJE						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Cl
Sulfato amónico	20,5	-	-	-	-	23,4	-
Amoniaco anhidro	82,2	-	-	-	-	-	-
Cloruro amonico	28,0	-	-	-	-	-	-
Nitrato amónico	32,5	-	-	-	-	-	-
Nitrato amónico con cal (ANL)	20,5	-	-	10,0	7,0	0,6	-
Superfosfato ordinario amoniado	4,0	16,0	-	23,0	0,5	10,0	0,3
Fosfato monoamónico	11,0	48,0	-	2,0	0,5	2,6	-
Fosfato diamínico	20,0	54,0	-	-	-	-	-
Fosfato sulfato amónico	16,5	20,0	-	-	-	-	-
Nitrato cálcico	15,5	-	-	27,0	2,5	-	0,2
Cianamida cálcica	22,0	-	-	54,0	-	0,2	-
Nitrato potásico	13,4	-	44,2	0,5	0,5	0,2	1,2
Nitrato sódico	16,0	-	-	-	-	-	0,6
Urea	46,0	-	-	-	-	-	-
Urea-azufre	40,0	-	-	-	-	10,0	-

Aminificación o Aminización

El nitrógeno de proteínas y ácidos nucleicos, es la forma más compleja. Es que el nitrógeno se encuentra en los componentes celulares. Como no puede ser utilizado como tal por las plantas al integrarse al suelo a partir de organismos muertos, está sujeto al ataque de microorganismos, los cuales producen proteasas para formar peptidos (cadenas cortas de aminoácidos) y peptidasas para transformar éstos peptidos en aminas y aminoácidos. Este proceso es llevado a cabo principalmente por hongos, *pseudomonas sp* y *bacillus sp*. (17, 24). Los productos finales resultantes de las actividades de un grupo proporcionan el sustrato para el siguiente, y de este modo, va descendiendo la línea hasta que el material está descompuesto. (47)

Amonificación

Las aminas y los aminoácidos, así liberados son utilizados ulteriormente por otros grupos de organismos heterotrofos con la liberación de compuestos amoniacales. (46, 47)

El resultado de esta etapa es siempre el amoniaco y éste puede seguir cuatro destinos:

- 1) Grandes cantidades son apropiadas por algunos de los propios amonificantes o por otros organismos capaces de usar este tipo de compuestos.
- 2) Las plantas pueden usar este tipo de nitrógeno.
- 3) Los iones NH_4 están sujetos a la fijación por algunos minerales arcillosos, es retenido por los mismos minerales que fijan el Potasio, por ejemplo, la illita.
- 4) Cuando la síntesis vegetal está temporalmente satisfecha el exceso de nitrógeno amoniacal se oxida por ciertas formas de bacterias que lo usan no solo como fuente de nitrógeno, sino también como fuente de energía. (13)

La acción degradativa más importante se debe a las bacterias anaeróbicas que reducen el nitrógeno orgánico a NH_3 , el cual se une a los iones H^+ para dar NH_4^+ . (52)

Nitrificación

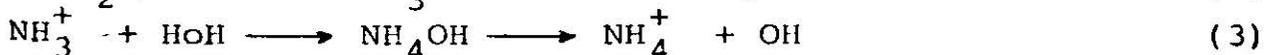
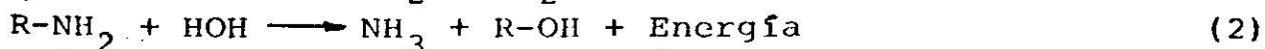
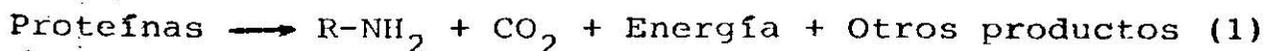
Este proceso lo realizan las bacterias de la nitrificación, descubiertas por S. Vinogradski y ésta ocurre en dos fases: la primera que es la transformación de amonio a nitrito y lo realizan las bacterias Nitrosomonas, Nitrosococcus y Nitrosospira. En la segunda, es la transformación de los nitritos a nitratos, ésta es realizada por la bacteria nitrobacter. (34, 41, 42)

Bajo mejores condiciones parece que la segunda transformación sigue tan activamente a la primera que evita una gran acumulación de nitritos, siendo favorables, ya que éste último ión es tóxico en cierta concentración para las plantas.

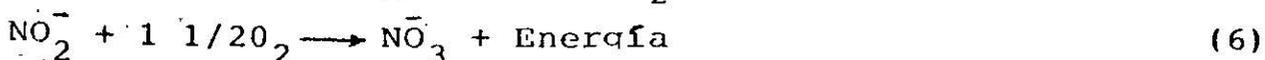
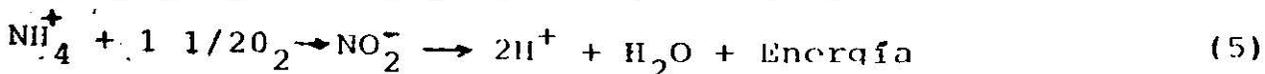
(13)

La nitrificación puede tener consecuencias indeseables, aunque las plantas asimilan fácilmente el NO_3 , el anión es también más susceptible a la lixiviación que el amonio por lo que el nutriente puede pasar a través del suelo y quedar fuera de la zona radicular. (2)

Químicamente se pueden apreciar estos tres mecanismos de Aminificación, Amonificación y Nitrificación de esta manera:



o bien.



Las dos primeras reacciones representan la descomposición de la materia orgánica por la intervención de las enzimas producidas, por los diferentes grupos de microorganismos que habitan en el suelo. El compuesto $R-NH_2$ representa un grupo de amidas o aminoácidos de la descomposición de las proteínas, el cual R es el símbolo usado para indicar una porción orgánica compleja.

Las reacciones tres y cuatro, representan las dos posibilidades que tiene el NH_3 de combinarse químicamente una vez que éste ha sido generado.

La reacción cinco, nos verifica una oxidación del anión (NH_4), con desprendimiento de 18 k/calorías y la formación de nitritos.

La reacción seis nos verifica una segunda reacción del amonio con un desprendimiento de 55 kilocalorías y la formación de nitratos. (2, 13, 46, 47)

En la Figura 5, se muestra el proceso que sigue el nitrógeno en su ciclo.

Condiciones del suelo que afectan la nitrificación.

Existen factores físicos y químicos que afectan la tasa de oxidación del amonio. Este hecho se demuestra fácilmente por la variación en la velocidad de nitrificación de suelos estériles diferentes que recibieron el mismo tipo de inóculo. La modificación del medio ambiente, tiene con frecuencia una gran importancia determinando la formación del producto final. Cuando el habitat se torna desfavorable, por ejemplo, en condiciones anaeróbicas ó ácidas, se detecta poco o nada de nitratos, pero el amonio se acumula ya que la amonificación es menos sensible a los cambios ambientales. (2)

Como regla general, se ha observado que las condiciones que favorecen el crecimiento de muchas plantas de cultivos, son aquellas que favorecen también la actividad de las bacterias ni

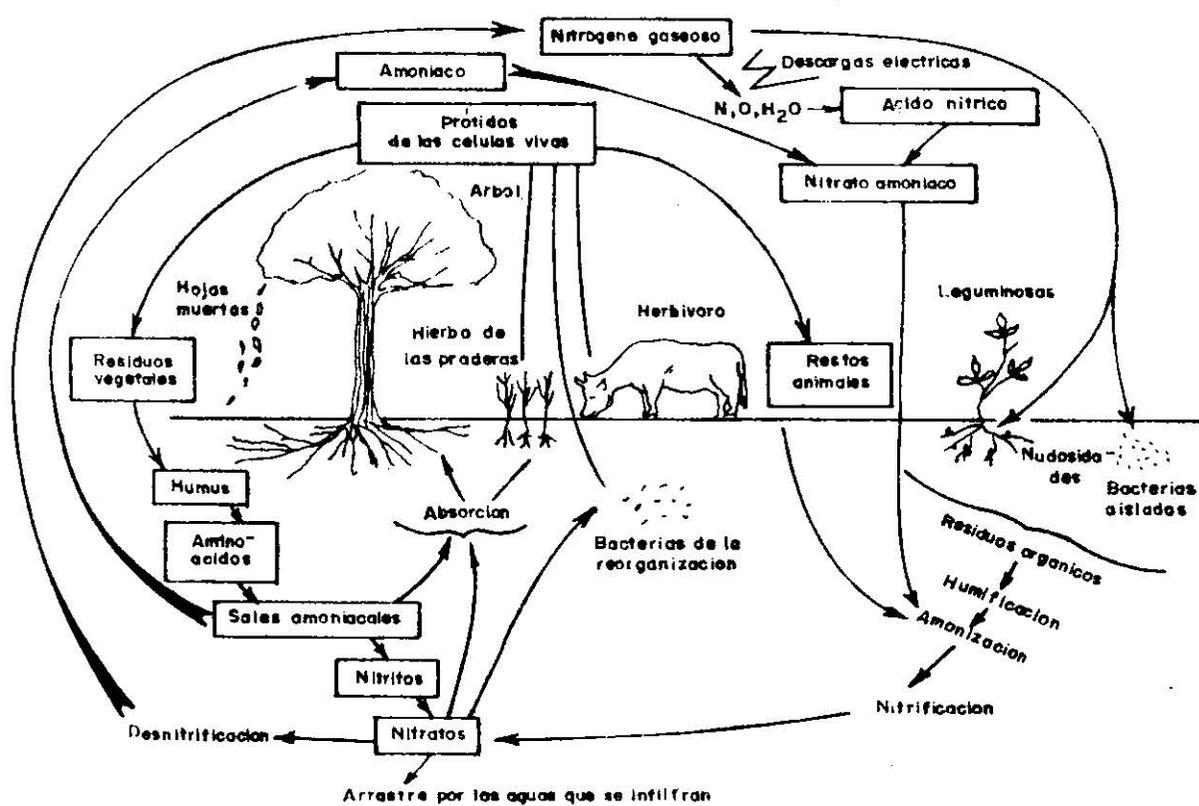


FIGURA 5. Ciclo de el Nitrogeno

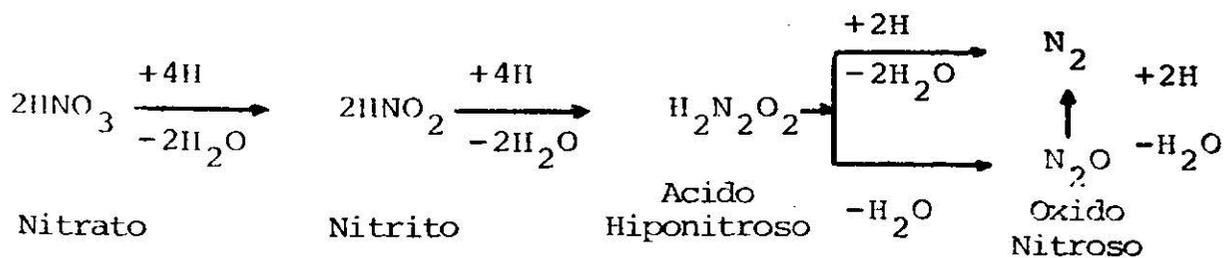
nitrificantes. Estas condiciones del suelo tienen una mayor influencia por tratarse de bacterias autotróficas, que poseen una gran sensibilidad y por eso, se dice que la nitrificación es el punto débil del ciclo del nitrógeno. (2, 13, 46)

Algunos de los factores que afectan la nitrificación son:

Aereación. Por ser autotrofos obligados, estos microorganismos, pueden no llegar a producir nitratos con la ausencia de oxígeno. Estos microorganismos consumen alrededor de cien átomos de oxígeno por cada átomo de carbono asimilado, o sea, veinte veces más que los organismos heterotrofos. (21, 43)

Es muy importante mantener condiciones en el suelo que permitan la rápida difusión de gases dentro y fuera de él.

Cuando los suelos se encharca, el oxígeno es excluido y entonces, se implanta la descomposición anaeróbica. Algunos organismos anaeróbicos tienen la capacidad de obtener su oxígeno de los nitratos y de los nitritos con liberación simultánea de nitrógeno y óxido nitroso. Esto se puede representar más o menos en esta ecuación (45, 47):



Población de organismos nitrificantes. Dada la gran variabilidad de tipos de suelos, se ha considerado una habilidad específica para cada uno de ellos en la conversión de amonio a nitratos. La presencia de diferentes tamaños de poblaciones de bacterias nitrificantes bajo condiciones de cultivo, posiblemente posean una diferencia entre el tipo de adición de amonio y la formación de nitratos. (33)

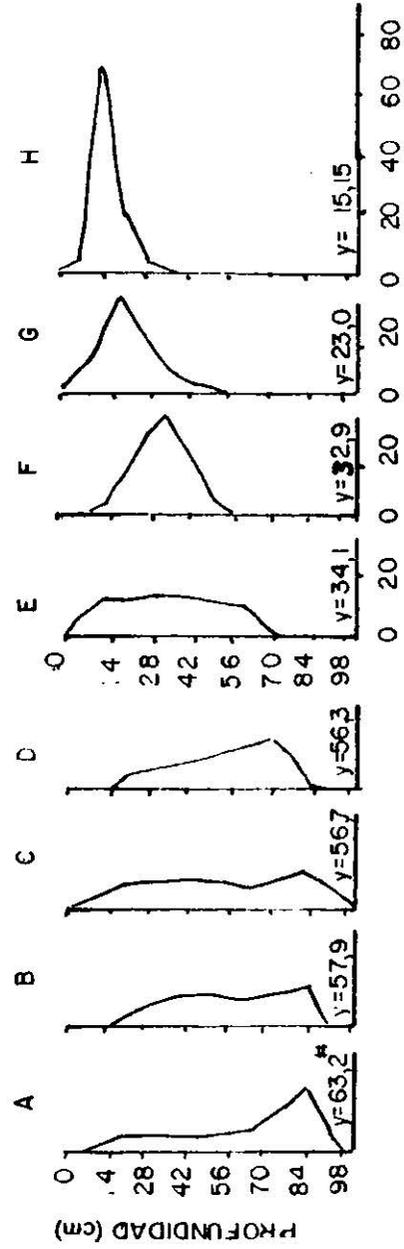
Vinogradsky, que fue el que identificó los dos tipos de bacteria nitrificantes, especifica que estas bacterias sólo pueden desarrollarse a un pH neutro o alcalino (8.5) no existiendo en pH ácidos igual o menor de 6. Además, la actividad de nitrobacter no modifica el pH de los medios de cultivo; en cambio, la transformación del NH_3 en NO_2 por nitrosomonas es muy acidificante. (41)

Humedad del suelo. La humedad del suelo, es el factor que más influye en la nitrificación, manifestándose un retardo en este fenómeno por exceso o deficiencia de agua. El contenido óptimo para las plantas coincide con el de la nitrificación. (13, 47)

Uno de los problemas que se presentan es que una vez que el amoniaco es nitrificado, queda sujeto a la filtración porque el anión nitrato no es retenido por la arcilla. El nitrógeno como nitrato es completamente móvil en los terrenos y se transporta sin límites, ampliamente con el agua del terreno. Bajo condiciones de lluvia excesiva, éste sufre una lixiviación que lo lleva fuera de las capas superficiales del suelo. Durante el tiempo extremadamente seco, y cuando es posible el movimiento capilar del agua, hay un movimiento ascensional del ión que está relacionado. El nivel óptimo de humedad varía considerablemente en suelos diferentes, pero el nitrato aparece generalmente más rápido a 1/2 o 2/3 de la capacidad de retención. El ascenso y descenso de los nitratos. se puede ver en la Figura 6. (2. 47)

Temperatura. La temperatura más favorable para el proceso de nitrificación está entre 27° a 32°C . Encontrándose casi inhibida a 52°C . A temperaturas de congelación, cesa el proceso y va progresando en intensidad arriba de 1.5°C .

Cal activa: Se ha observado a través de varios trabajos, que la nitrificación se estimula con la adición de cal, aún en aquellos suelos que contengan una cantidad adecuada. Eso indi-



NITRATO COMO PORCENTAJE DEL TOTAL EXTRAIDO

*Y= MOVIMIENTO MEDIO DEL NITRATO (cm)

FIGURA 6. Distribución de los nitratos a travez de columnas de suelo de textura gruesa, tras la adición de 3.29 cm. de agua.

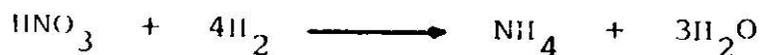
ca que el proceso de oxidación requiere una abundancia de bases intercambiables. (13, 43)

Relación Carbono Nitrógeno. Sobre la relación Carbón-Nitrógeno, hay diversidad de opiniones por la variedad de resultados obtenidos. En general, se puede decir que una relación C/N 17:1, hay un equilibrio entre la inmovilización y mineralización del nitrógeno; relaciones arriba de 33:1 hay una inmovilización del nitrógeno nítrico y del amonio del suelo; relaciones entre 17:1 y 12:1, se realiza la mineralización del nitrógeno, tiende a detenerse a medida que se aproxima a la relación 12:1, (Figura 7). (13)

Otras reacciones en el ciclo del Nitrógeno

Existen otro tipo de reacciones que influyen muy marcadamente en la mineralización o inmóvilización del nitrógeno, éstas son:

Reducción de nitratos hasta amonio. Ciertas bacterias heterotrofas son capaces de efectuar el proceso inverso de nitrificación y nitrificación, convirtiendo los nitratos en nitritos y los nitritos en amonio. Por lo general, es en condiciones anaeróbicas. La reacción es (17):



Es difícil comprender porqué el NH_3 en la naturaleza se oxida rápidamente a NO_3 , y éste vuelva a ser reducido otra vez a NH_3 antes de incorporarse a los aminoácidos. Por supuesto, una ventaja es que el NO_3 representa una forma de almacenamiento más estable que el NH_3 (bastante volátil) aunque la existencia de este último como NH_4 es más probable en suelos neutros y ácidos. Otra razón es que la molécula de amonio es bastante tóxica y por tanto, no puede almacenarse como tal en tejidos, mientras que el NO_3 no es tóxico y puede acumularse en gran cantidad en la savia vegetal. (19)

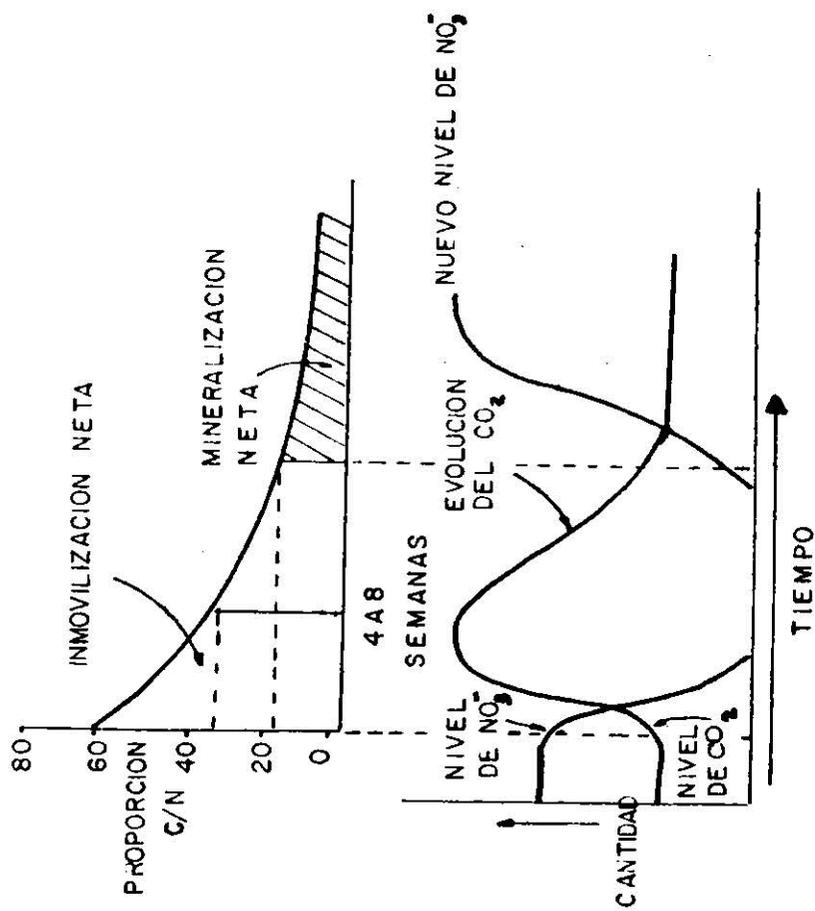


FIGURA 7. Cambios en los niveles de nitratos del suelo durante la descomposición de los residuos de la cosecha por--- bre en Nitrógeno.

Proteogenesis. Se puede explicar de esta manera: Se prepara una arena excenta de nitratos, sobre la que se desarrollan plantas sometidas anteriormente a una carencia de nitrógeno. se riega con una solución de nitrato de calcio. Veinticuatro horas después, esta sal se encuentra presente en todas las partes de la planta. Al cabo de 36 horas, las plantas contienen nitritos e indicios de amoniaco. Transcurriendo 48 horas, el contenido en nitritos ha disminuido habiendo en cambio, aumentado el amoniaco. Tres o cinco días después en los pecíolos se han formado aminoácidos, así también en los limbos y extremidades de los tallos. (26)

Esquemáticamente, se ve así:

Nitratos \longrightarrow Nitritos \longrightarrow Amoniaco \longrightarrow Aminoácidos \longrightarrow
 Polipéptidos \longrightarrow Proteínas

2.3.4. Fijación del Nitrógeno

En general, las hojas y los tallos de una planta sana, no proporcionarán un medio adecuado para un gran crecimiento microbiano. Sin embargo, las raíces están rodeadas por una zona llamada Rizosfera, donde se producen nutrientes microbianos, excretados por la planta, y donde las condiciones del medio no fluctúan tanto como por encima del suelo. Como consecuencia la proporción de microorganismos puede ser muchísimo mayor que un suelo que está fuera de la influencia de las raíces (51). La proporción de microorganismos pueden verse más específicamente en los Cuadros 13 y 14. (41)

De toda esta gran cantidad de microorganismos, existen ciertos géneros que son: por su propio metabolismo necesarios en la reutilización del nitrógeno atmosférico y el ciclo del nitrógeno. Este proceso de restauración de enorme importancia en la naturaleza es la fijación de gas N_2 en gas NH_3 . Esto sustituye el N_2 perdido por los diferentes procesos que suceden en los suelos. (16)

CUADRO 12. Efecto producido en el pH del suelo por algunos compuestos nitrogenados.

COMPUESTO	INMEDIATO O CORTO PLAZO	LARGO PLAZO
Amoniaco anhidro	Fuertemente básico	Moderadamente ácido
Nitrato de amonio	Ninguno	" ácido
Sulfato de amonio	Ninguno	Fuertemente ácido
Urea	Levemente básico	Moderadamente ácido
Amoniaco acuoso	Fuertemente básico	Moderadamente ácido

CUADRO 13. Poblaciones microbianas de un suelo cultivado fértil (número de organismos por gramo de suelo).

Eubacterias:	
Por recuento microscópico directo.....	2;500;000,000
Por recuento de bacterias viables sobre agar común.....	15;000,000
Actinomicetos.....	700,000
Hongos.....	400,000
Algas	50,000
Protozoos	30,000

CUADRO 14. Grupos fisiológicos de bacterias presentes en distintos tipos de suelo (número de bacterias por gramo de suelo).

	TIPOS DE SUELO				
	JARDIN	CAMPO CULTIVADO	PRADO	BOSQUES DE CONIFERAS	MARISMA
Humedad (por 100)	17,9	18,1	17,0	21,2	37,2
CO ₃ Ca (por 100)	4,7	5,0	11,4	0	7,6
Colonias desarrolladas sobre gelatina	8;400,000	8;100,000	8;100,000	1;500,000	1;500,000
Colonias desarrolladas sobre agar común	2;800,000	3;500,000	3;000,000	900,000	1;700,000
Bacterias anaerobias (cultivo en picadura)	280,000	137,000	620,000	345,000	2;180,000
Bacterias ureolíticas	37,000	8,500	5,200	8,800	2,500
Bacterias desnitrificantes	830	400	850	380	370
Bacterias pectinolíticas	535,000	70,000	235,000	810,000	3,700
Bacterias anaerobias butíricas	368,000	50,300	83,500	203,000	235,000
Bacterias anaerobias proteolíticas	35,000	22,000	36,800	17,000	2,000
Bacterias anaerobias celulolíticas	367	350	367	18	1
Bacterias aerobias fijadoras de nitrógeno	2,350	1,885	18	0	17
Bacterias anaerobias fijadoras de nitrógeno	5,500	700	370,000	2,020	67
Bacterias nitrificantes	880	1,701	37	0	34

Los organismos fijadores de nitrógeno se pueden dividir de la siguiente manera (43):

- 1) Algas azul-verde. (Nostoc, Anabaena, etc.)
- 2) Bacterias (en base a su propiedad de utilizar fuentes de energía de una manera simbiótica y no simbiótica).
 - A) Bacterias fijadoras no simbióticas
 - a) Organismos anaerobios
 - (1) Clostridium pasteurianum (no fermentadoras de almidón)
 - (2) Grupo sacaro-butírico (fermentadoras de almidón).
 - b) Organismos aeróbicos
 - (1) Azotobacter con tres especies.
 - A. chorococcum
 - A. agilis
 - A. indicum
 - (2) Otras bacterias libres
 - B) Bacterias fijadoras simbióticas
 - a) Bacterias que viven en las raíces de las leguminosas
 - b) Bacterias que viven en las raíces de no leguminosas.
 - c) Bacterias que viven en las hojas de otras plantas

El mecanismo de la fijación del nitrógeno que se lleva a cabo ya sea en forma simbiótica o asimbiótica, se lleva a cabo así:

La fijación asimbiótica es efectuada por Azotobacter, Clostridium y quizás otras especies aparte de C. pasteuriana. Crecen independientemente en el suelo, o sea, no necesitan estar asociadas con otros microorganismos vivos. Obtienen su energía y su carbono de los elementos del terreno y nitrógeno de la atmósfera del suelo. (14, 17)

Los Azotobacter son bastoncillos estrictamente aeróbicos, no esporoforos, grandes y móviles que con frecuencia se presentan en forma hinchada, ovalada o parecida a una levadura.

Las especies de Azotobacter crecen y fijan nitrógeno en tierras de reacción cerca a la neutral.

Clostridium puede desarrollarse en suelos un poco ácidos también. La eficiencia de las bacterias no simbióticas varían con las condiciones del terreno. (17)

Como se mencionó anteriormente, al obtener el nitrógeno del aire este tipo de bacterias, este elemento se combina dentro de su protoplasma celular y luego se liberan en forma de nitratos u otros compuestos, los cuales son aprovechados por las plantas.

La fijación simbiótica del nitrógeno es llevada a cabo por especies de Rhizobium. Los rizobios son denominados bacterias de los nódulos de las raíces, ya que al infectar esta parte de la planta de leguminosas, producen nódulos y tubérculos que contienen millones de bacterias. La comunicación fisiológica y física entre nódulos y raíces permite el intercambio de material, las bacterias obtienen compuestos energéticos, compuestos de carbono y otros nutrimentos, del sistema vascular de las plantas, pero gran cantidad de su nitrógeno proviene del terreno. El nitrógeno bacteriano por último queda activo para utilizarse en el sistema de raíces de la planta. (17)

No es la planta leguminosa en sí la que puede "fijar" o aprovechar el nitrógeno gaseoso de la atmósfera, sino las bacterias, los rizobios de los nódulos radicales, en conjunto con la planta realizan esta fijación. Ninguno por sí solo puede realizarla. Si no existen nódulos radicales o si son ineficientes, la planta tiene que satisfacer sus necesidades de nitrógeno recurriendo al que tiene el suelo. (23, 50)

La nodulación generalmente se verifica más o menos en el momento de brotar la primera hoja verdadera. Los rizobios penetran en la planta por los pelos absorbentes de la raíz. Se puede infestar un gran número de pelos radicales, pero sólo en una pequeña proporción de éstos se forman nódulos. El nódulo se forma u origina por proliferación de células vegetales, reacción pseudotumoral específica debida a la multiplicación de unas pocas células tetraploides existentes siempre en los tejidos de la raíz. En cambio, las células diploides son insensibles, de tal manera que el nódulo queda constituido por una masa de células tetraploides rodeada de una corteza de células diploides. En la inmediata proximidad de estos pelos absorbentes, proliferan los rizobios, sin duda a consecuencia de los productos que excretan las raíces de la planta. La proliferación de los rizobios riza los pelos absorbentes de las raíces debido a unas secreciones hormonales del tipo de auxinas; en el punto donde los pelos se rizan, las bacterias penetran en las células y se alinean dentro de un cordón o hilo que crece en dirección de la célula basal. En la mayoría de las plantas este hilo de infección atravieza las células exteriores de la corteza de la raíz. Los rizobios se liberan del hilo de infección en los tejidos corticales y penetran en las células, donde proliferan. Al mismo tiempo, estas células y las vecinas se dividen bajo el estímulo de las bacterias. (23, 41, 44, 45, 50)

Función, número y forma de los nódulos.

Existen además de las leguminosas otras especies no leguminosas que producen nódulos que contienen otros organismos distintos a *Rhizobium*, pero la relación de éstos con la nutrición por nitrógeno es discutible. Algunas de estas especies son: *Alnus*, *Coriaria*, *Elaeagnus*, *Ceanothus*, *Myrica*, *Podocarpus*, *Casuarina* y *Zigophyllum*. (2)

La forma, número y distribución de los nódulos varía mucho de una planta a otra. Las hierbas anuales cultivadas tienen en general nódulos grandes, carnosos, esféricos, piriformes, claviformes o flagelados, aislados o en grupos y distri-

buidos sobre todo en torno a las raíces axomorfas o a las laterales primarias.

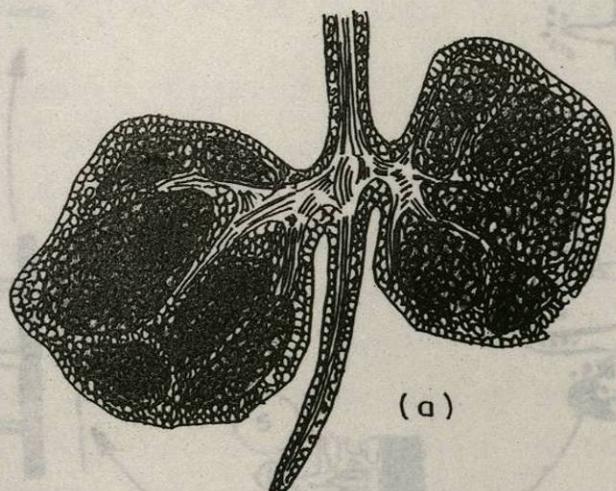
Las plantas perennes o bienales tienden a producir nódulos alargados, más pequeños, arracimonados y muy distribuidos en las partes jóvenes del sistema radical se forman nuevos nódulos.

El número total de nudosidades en una sola planta oscila entre algunas unidades y varios millares, aunque la mera presencia de un gran número de nódulos no ha de tomarse necesariamente como garantía de una fijación suficiente de nitrógeno.

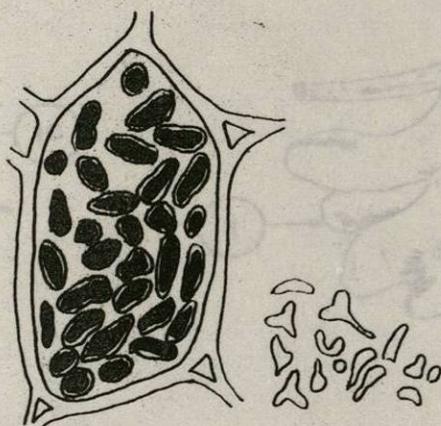
La estructura histológica de los nódulos de especies muy diferentes presenta una notable uniformidad. Un corte longitudinal nos revela cuatro zonas visibles. La exterior, consiste en una capa esponjosa de parénquima cortical, bastante y lagunoso. Dentro de esta capa, la corteza nodular contiene elementos de un sistema vascular periférico, unido con los grupos xilémáticos primarios de la estela de la raíz. La zona más interna es la parte bacteroide de las células vegetales repleta de rizobios. Entre el límite externo del tejido bacteriano y los extremos de los haces vasculares se halla una zona compacta de células pequeñas no contaminadas que se dividen activamente y desarrollan una intensa actividad meristemática. La morfología general del nódulo la determina en buena parte el mismo vegetal hospedante y la disposición de esta zona meristemática (Figura 8). (2, 50)

Esquemáticamente se puede observar el proceso de nodulación en la Figura 9. (6)

La cantidad de nitrógeno fijado por los rizobios difiere con la cepa Rhizobial, la planta huesped, y las condiciones ambientales bajo las que ambas se desenvuelven. En Nueva Zelanda se han descrito cantidades tan altas como 500 kg de nitrógeno fijado por hectárea de cultivo de trébol. Bajo las condiciones



(a)

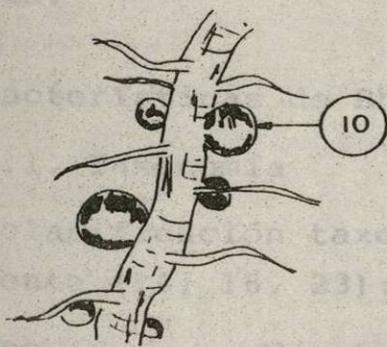
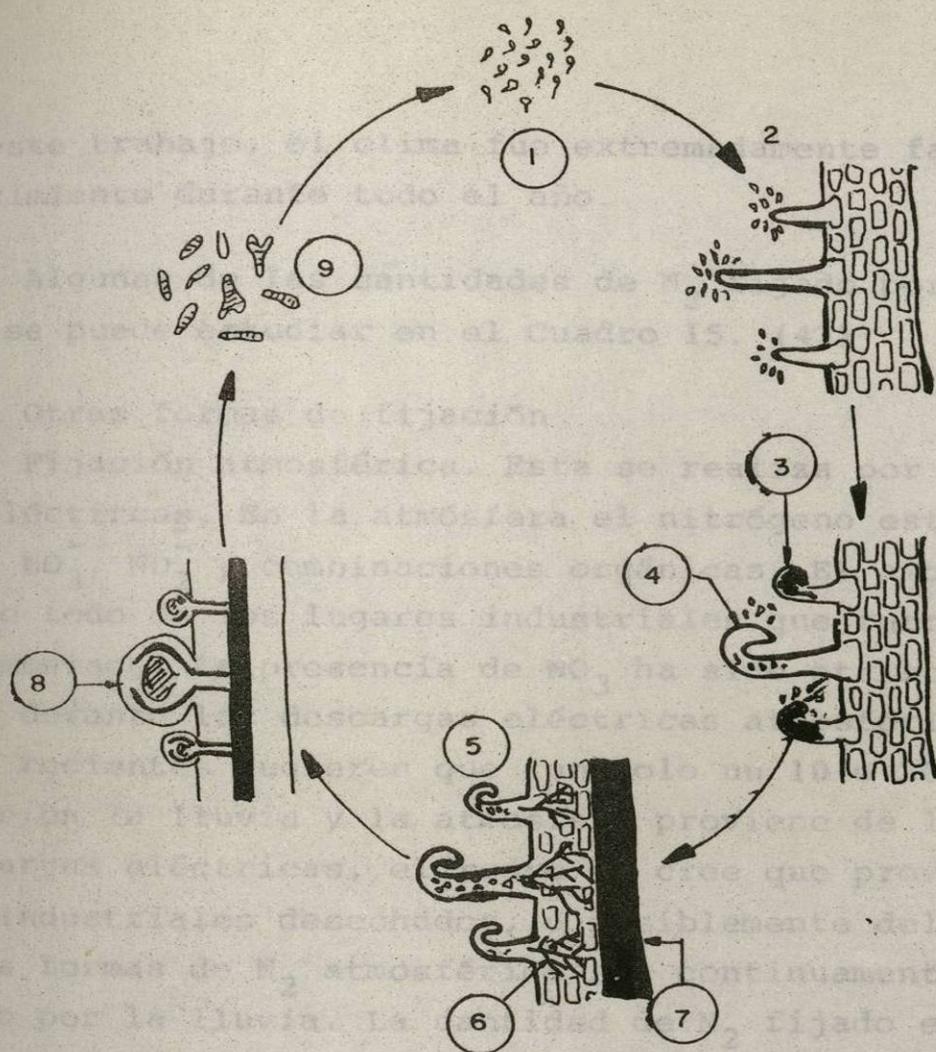


(b)

(c)

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1° Bacterias libres | 9° Celulas xilemáticas |
| 2° Atracción hacia la raíz | 8° Nodulo |
| 3° Penetración | 9° Bacterias libres inyectadas |
| 4° Rizado de la raíz | 10° Nodulo del frijol común |
| 5° Seccion rizada | 11° Nodulo del chicharo |
| 6° Hilo de infección | |

FIGURA 8. a)-Corte de un nódulo desarrollado, b)-Corte de una célula ocupada por rizo---bios, c)- las bacteris presentes en la-célula presentan formas distintas (bac-



- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1º Bacterias libres | 7º Celulas Xilematicas |
| 2º Atracción hacia la raíz | 8º Noclulo |
| 3º Penetración | 9º Bacterias libres intectadas |
| 4º Rizado de la raíz | 10º Nodulo del frijol común |
| 5º Se continuan rizando | 11º Nodulo del chicharo |
| 6º Hilo de infección | |

FIGURA 9. Proceso de Nodulación

de este trabajo, el clima fue extremadamente favorable para el crecimiento durante todo el año.

Algunas de las cantidades de N_2 fijado por algunos cultivos se puede estudiar en el Cuadro 15. (47)

Otras formas de fijación

Fijación atmosférica. Esta se realiza por medio de descargas eléctricas. En la atmósfera el nitrógeno está en forma de NH_4 , NO_3^- , NO_2^- y combinaciones orgánicas. El amoniaco proviene sobre todo de los lugares industriales que fabrican o utilizan el amoniaco. La presencia de NO_3^- ha sido atribuida a su formación durante las descargas eléctricas atmosféricas, pero estudios recientes sugieren que tan solo un 10 o 20% del NO_3^- presente en la lluvia y la atmosfera proviene de la fijación por descargas eléctricas, el resto se cree que proviene de los gases industriales desechados, o posiblemente del suelo. Todas estas formas de N_2 atmosférico son continuamente devueltas al suelo por la lluvia. La cantidad de N_2 fijado es: 1-50 kg/ha anualmente.

2.4. Características de Rhizobium

2.4.1. Taxonomía

La clasificación taxonómica en base a varios autores es la siguiente (14, 16, 23):

Reino	Vegetal (protophita)
Clase	Schizomycetes
Orden	Eubacteriales
Familia	Rhizobiaceae
Tribu	Rhizobieae
Género	Rhizobium
Especie	phaseoli, meliloti, trifolii, leguminosarum lupini, japonicum

Existe otra clasificación dependiendo de las relaciones de especificidad. De acuerdo a la leguminosa que infecten, es el

CUADRO 15. Cantidad de nitrógeno fijado en kg/ha por algunas leguminosas

LEGUMINOSAS	N ₂ FIJADO kg/ha
Alfalfa	194
Trébol ladino	179
Trébol dulce	119
Trebol rojo	114
Kudzú	107
Trébol blanco	103
Guisante vacuno	90
Lespedezas (anual)	85
Algarrobos	80
Guisantes	72
Soja	58
Guisantes de invierno	50
Cacahuate	42
Judías	40

nombre de la especie tomada. Esta clasificación se puede observar en el Cuadro 16. (2, 50, 53)

2.4.2. Morfología

Son pequeñas células en forma de bastoncillos que al principio se mueven por medio de flagelos periféricos, pero que más tarde pierden la movilidad, se hipertrofian y se convierten en células asociadas e irregulares denominadas (bacteroides), que son frecuentes sobre todo en los nódulos.

Desde el punto de vista bioquímico los rizobios pueden aprovechar una serie de azúcares monosacáridos y disacáridos. Cuando carecen de planta hospedante adecuada, no se verifica la fijación del nitrógeno.

Las bacterias son gram-negativas, no forman esporas, son bacilos aerobios de 0.5 a 0.9 μ de ancho y de 1.2 a 3.0 μ de largo. (2, 43, 50)

Crecen en medios que contengan agua de levaduras, manitol extractos de plantas, malta y otros materiales. Reducen ligeramente los nitratos y no utilizan los nitritos. (43)

2.5. Factores que afectan el proceso de nodulación y fijación del nitrógeno.

Los factores del medio ambiente que modifican la fijación del nitrógeno se pueden considerar de tres tipos: físicos, nutricionales y biológicos. (43)

Factores físicos que afectan la nodulación y fijación del nitrógeno.

Aire: Es esencial el paso del aire a través de las partículas del suelo, ya que las bacterias fijadoras la mayoría son aeróbicas.

Humedad: Se sabe que *Rhizobium* es sensible a la sequía y al exceso de humedad, todo depende del tipo de suelo.

CUADRO 16. Especies más importantes del género Rhizobium con sus hospederas más comunes.

ESTIRPE BACTERIANA	GRUPOS VEGETALES	GENEROS Y ESPECIES
Rhizobium meliloti	Alfalfa meliloto	Medicago, Melilotus, Trigonella
" trifolii	Trébol	Trifolium
" leguminosarum	Guisante	Lathyrus, Lens, Pism, Vicia
" phaseoli	Frijol	Phaseolus
" lupini	Lupino	Lupinus ornithopus
" japonicum	Soja	Glycine

Luz: Un exceso de luz, induce una formación excesiva de carbohidratos y eso trae como consecuencia una disminución en la fijación del N_3 . Si una planta en proceso de nodulación es puesta en la obscuridad, la formación de nódulos cesa y los formados degeneran; la hemoglobina se destruye y da origen a pigmentos verdes.

Temperatura: Son muy resistentes a las bajas temperaturas, pero muy sensibles a las altas. Cuando hay una disminución de $5^{\circ}C$ en la temperatura óptima del suelo, ocasiona una reducción de 4.5% en la cantidad de N_2 ; en cambio, cuando se aumenta en $4^{\circ}C$, la fijación se reduce en un 50%. Temperaturas abajo de $6.5^{\circ}C$ no afectan el poder infectante. La temperatura óptima para desarrollo y función de Rhizobium está entre $20-24^{\circ}C$. A los $40^{\circ}C$ se produce la muerte de la bacteria. (42, 43)

Algunos autores mencionan que la mayoría de los rizobios se desarrollan en forma óptima entre los $29-31^{\circ}C$, pero que se conocen estirpes de Rh. meliloti que tienen un óptimo de unos $35^{\circ}C$. (50)

Estudios realizados en 1979 en CIAT-Quilichao, mostraron la incapacidad de algunas cepas, específicamente (CIAT-57), para desempeñarse bajo condiciones de alta temperatura del suelo. En la nueva cámara de crecimiento disponible, se iniciaron experimentos para evaluar el comportamiento de cepas eficientes en la fijación de N_2 . Los resultados de un ensayo mostraron que la mayoría de las cepas eran relativamente débiles en la fijación de nitrógeno a la temperatura diurna de $34^{\circ}C$ y nocturna de $28^{\circ}C$. Más claramente se puede observar el efecto de la temperatura y sobrevivencia de Rhizobium a ésta en la Figura 10. (3)

Reacción del suelo: Este se refiere a las condiciones de PH del suelo, el cual influyen en la pérdida de elementos esenciales o aparición de tóxicos'

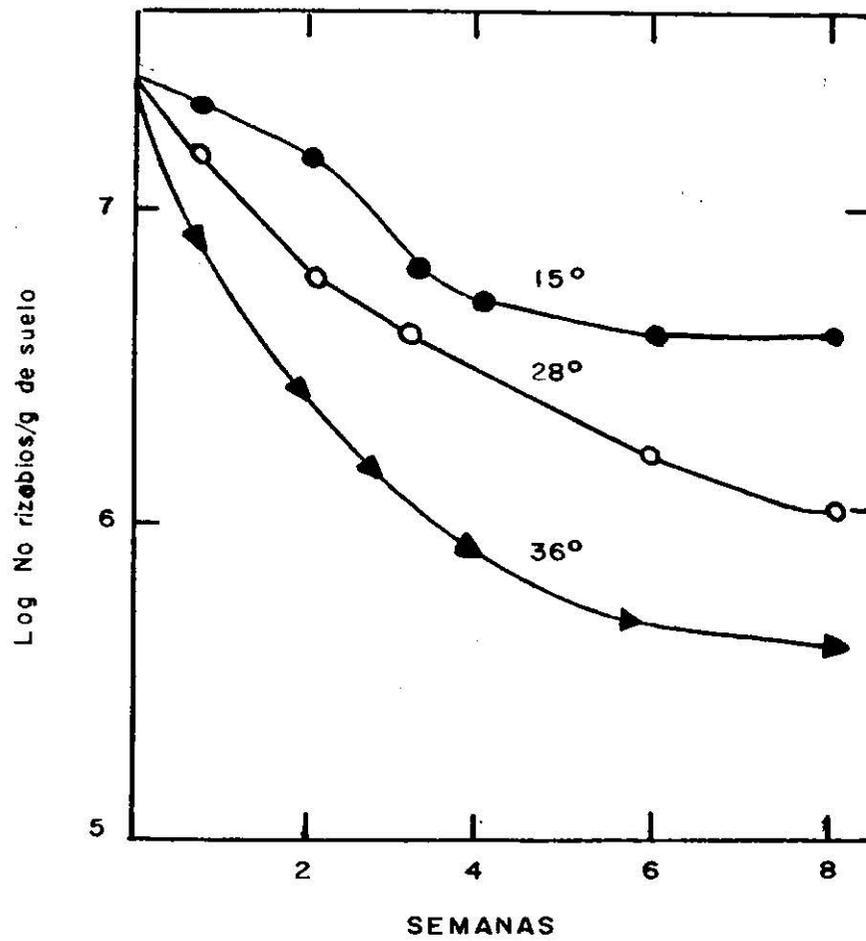


FIGURA 10. Efecto de la temperatura en la sobrevivencia de Rhizobium meliloti, en el suelo de arena fino-franca.

Todos los rizobios muestran la misma tolerancia a la alcalinidad con un límite aproximado de pH igual a 9.6; la acidéz les afecta de una forma variable, siendo Rh meliloti el menos tolerante, con un límite aproximado de pH igual a 5.0; los más tolerantes con un pH igual a 3.2 - 4.2 son Rh lupini y Rh japonicum. (50)

CIAT (1979) informó sobre la capacidad de algunas cepas de Rh meliloti para crecer en un medio sintético con un pH de 4.6 y en presencia de Aluminio y Manganeso en exceso. Al año siguiente, se emprendieron estudios adicionales para evaluar la aplicabilidad de estos descubrimientos en condiciones de campo. La Figura 11 muestra la supervivencia de una cepa, CIAT-640, sensible a pH bajo y otra, CIAT-899, capaz de crecer en el medio modificado de Keyser, a pH igual a 4.6 cuando se inocularon en el suelo aun sin encalar, pH igual a 4.15 y en el mismo suelo encalado a pH igual a 4.5, 4.9 y 5.8. Es evidente la mayor capacidad de la cepa tolerante al suelo ácido para sobrevivir bajo condiciones desfavorables del suelo. (3, 17)

2.5.2. Factores nutricionales que afectan la nodulación y fijación del nitrógeno.

Nitrógeno: Existen numerosas publicaciones que hablan del efecto sobre la producción, tamaño y función de los nódulos, esto puede ser posible debido a una baja relación C/N. (43)

Todos los factores que aumentan el ritmo de la fotosíntesis por ello los hidratos de carbono, pueden incrementar la fijación del nitrógeno. Un aumento de la intensidad lumínica, un acresentamiento de la presión parcial del anhídrido carbónico atmosférico, o incluso un suministro externo de hidratos de carbono, tenderan a aumentar el coeficiente de fijación, pero también puede suceder que el nivel de hidratos de carbono se eleve tanto que afecte adversamente la asimilación de nitrógeno libre. Si se abonan las leguminosas con nitrógeno combinado la absorción del nitrógeno por la planta puede mantener una re

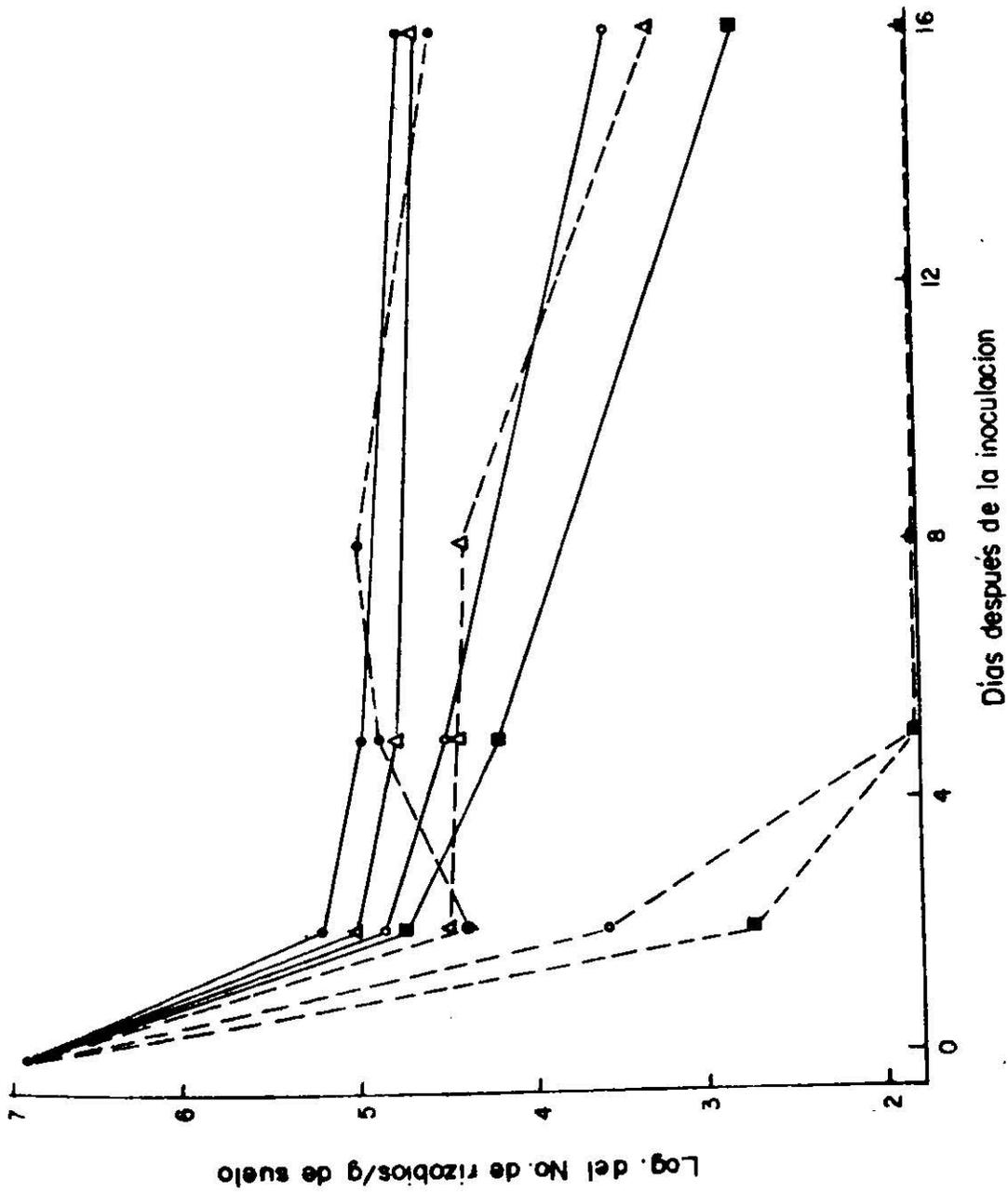


FIGURA 11. Patrones de sobrevivencia de dos cepas de *Rhizobium phaseoli* en suelos con diferentes valores de PH.

relación C/N tan estrecha que la fijación se reduzca; si esto se prolonga durante mucho tiempo, se inicia la degeneración del nódulo. Por lo tanto, se considera que en tales circunstancias, la presencia del nódulo en el hospedante es más perjudicial que útil y que los rizobios entran en una fase parasitaria.

Cuando el suelo contiene poco o ningún nitrógeno asimilable, y las plantas dependen por completo de la fijación simbiótica, después de la germinación y antes de que se haya establecido el sistema de simbiosis, la planta entra en un período de hambre de nitrógeno en que utiliza todas las reservas de la semilla durante una semana o más, hasta que empieza la fijación, si no se recurre a la inoculación. (43, 50)

Fósforo: Es un constituyente ampliamente distribuido en las proteínas. Cuando los niveles de fósforo en el suelo son muy bajos, *Rhizobium* puede penetrar a la raíz de las leguminosas, pero la infección se mantiene latente y los nódulos no se forman.

Potasio: Existe cierta controversia con su importancia.

Calcio: Afecta indirectamente al reaccionar en el suelo.

Magnesio: Se carece de información en cuanto a su importancia, pero la materia seca de leguminosas es generalmente más rica en este elemento, que los cereales.

Azufre: Es importante ya que es un constituyente de las proteínas. No existe evidencia clara de la influencia del azufre en la fijación del nitrógeno.

Molibdeno: Este elemento es requerido para la reducción de NO_3 a NH_3 y relativamente en grandes cantidades, para la fijación del nitrógeno. (43)

En ciertos suelos ácidos, lixiviados, de topografía en declive, de origen sedimentario y granítico, los tréboles se presentan raquíticos y amarillos y producen poca semilla. Hay algo de nodulación, pero en los nódulos se fija poco o ningún nitrógeno. Esto por la falta de molibdeno. (42, 50)

Cobalto: No ha sido posible esclarecer la cantidad mínima requerida por las leguminosas, pero el hecho es que se encuentra constituyendo parte de la vitamina B₁₂ y ésta a su vez se encuentra en los nódulos. Esto hace pensar que es un elemento esencial.

2.5.3. Factores biológicos que afectan la nodulación y fijación del nitrógeno

Microorganismos: Las bacterias de los nódulos de las raíces están bastante distribuidos en casi todas las tierras del globo terrestre, pero no lo suficiente para asegurar la aparición de nódulos en todas las plantas susceptibles. El número de rizobios disminuye durante períodos de sequía, temperatura desfavorable y acidez como resultado de la actividad de bacteriófagos y otros microorganismos antagonistas. Respecto al antagonismo, se pueden encontrar dos tipos de éste. Se ha comprobado que muchas bacterias actinomicetáceas y hongos del suelo, son incompatibles con los rizobios, pero se ha insistido especialmente en las actinomicetáceas que producen antibióticos. El segundo tipo de antagonismo reconocido, es el de la competencia por los sitios propios de la formación de nódulos por parte de los otros rizobios ineficientes, más vigorosos y que son ya autoctonos de ese suelo. Aún más, hay nodulación eficaz solamente cuando las especies de *Rhizobium* del grupo adecuado bacteria-planta se encuentran presentes y no abundan en un terreno en que se ha cultivado durante años plantas de otro grupo. En el Cuadro 17 se muestran más claramente la especificidad de los rizobios. (17, 43, 50)

CUADRO 17. Respuestas de nodulación de las cepas de Rhizobium.

Rhizobium aislado de:	LE GMBRE HUESPED												
	Trifolium	Pisum	Vicia	Lens	Cicer	Medicago	Melilotus	Trigonella	Phaseolus	Ornithopus	Lupinus	Glycine	Vigna
Trifolium	+	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-
Pisum	x	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Vicia	x	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Lens	x	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Cicer	x	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Medicago	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Melilotus	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Trigonella	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Phaseolus	*	*	*	*	*	-	-	-	+	x	+	x	x
Ornithopus	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Lupinus	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Glycine	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*
Vigna	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*

+ Plantas normalmente noduladas x Plantas noduladas algunas veces

* Nódulos raramente formados - Sin nódulos formados

Plantas superiores: La nodulación puede ser afectada por secreciones de la raíz de leguminosas o de otras especies de vegetales.

Insectos: Un ejemplo es Sitonema linealus, este insecto ocupa un lugar especial, ya que las larvas destruyen los nódulos de varias leguminosas. (43)

En un experimento realizado y en el cual se efectuó una asociación de maíz-frijol, e inoculando éste último para saber el efecto de dicha asociación, obtuvo que el número y tamaño de nódulos dependen de la variedad sobre la que se desarrollan, así como también que el período de nodulación está estrechamente relacionado al ciclo vegetativo de la variedad del frijol asociada. (12)

2.6. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la nodulación y fijación del nitrógeno.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados, provoca la inactivación de las bacterias radicícolas, y la planta depende del nitrógeno existente en el suelo, no aprovechándose así las bondades de las leguminosas.

Sin embargo, suele recomendarse la aplicación al momento de la siembra o germinación de las semillas de un fertilizante nitrogenado rápidamente asimilable, especialmente cuando el cultivo se realiza en suelos con bajos niveles de materia orgánica. Esta técnica se conoce como fertilización de arranque.

El mismo autor menciona que otros autores sostienen que para obtener altos rendimientos, la cantidad de nitrógeno fijado por las bacterias no es suficiente y que aproximadamente del 30-50% del nitrógeno necesario para la planta, es tomado de los nitratos o iones amoníacos directamente del suelo durante el último mes del período vegetativo, cuando se están formando las semillas. Esto es perfectamente lógico si se consi-

dera que luego de plena floración, la actividad nodular decrece paulatinamente por propio envejecimiento de las bacterias hasta hacerse nula a la caída de las hojas. (42, 47)

Realizando un experimento en laboratorio e invernadero en Chapingo, México, para estudiar el efecto de diferentes niveles de NH_4^+ y NO_3^- sobre la nodulación, eficiencia de N_2 y rendimiento de frijol, encontró que hay una tendencia similar para las dos formas de nitrógeno estudiadas a disminuir en su concentración a través del tiempo.

Las curvas de crecimiento de las plantas, mostraron una respuesta más clara por efecto de dosis, cuando la fuente de nitrógeno fue NO_3^- .

El peso y número de nódulos fueron reprimidos por los niveles más altos de nitrógeno (45 y 60 ppm), las menores fueron (15 y 30 ppm), durante las etapas iniciales de su formación y crecimiento, habiéndose detectado una asociación diferencial entre las dos fuentes estudiadas, encontrándose dicha represión más evidente para los nitratos. (1)

Los efectos de $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, y $\text{NH}_4\text{-N}$ sobre el crecimiento, formación de nódulos, fijación simbiótica de nitrógeno por *Rhizobium* y la asimilación mineral de N_2 de Desmodium intortum, recientemente fue investigado bajo condiciones controladas. La cantidad de aplicación de N_2 mineral influyó en la producción de materia seca, pero la forma de nitrógeno no. A medida que la cantidad de N_2 se incrementó, el número de nódulos y su peso fue positivamente afectado con $\text{NH}_4\text{-N}$, pero no con $\text{NO}_3\text{-N}$. El peso por nódulo aumentó con una cantidad más alta de $\text{NO}_3\text{-N}$, pero no con aplicación de $\text{NH}_4\text{-N}$. El nitrógeno por planta producido por fijación simbiótica aumentó linealmente con $\text{NH}_4\text{-N}$ y bajó con $\text{NO}_3\text{-N}$. (53)

2.7. La leghemoglobina como parámetro para evaluar la fijación del nitrógeno, su función e importancia en el proceso.

Los nódulos activos contienen una sustancia llamada leg hemoglobina de color rojo o rosa, indicando que las bacterias están fijando el nitrógeno gaseoso. Los nódulos que carecen de él son incapaces de fijar el gas. (15, 30, 40, 41, 45)

Se han aislado pigmentos rojos en los nódulos de las raíces de leguminosas identificados como hemoproteínas (grupo de la hemoglobina), capaces de tomar y ceder oxígeno molecular. Algunos autores han sugerido el nombre de leghemoglobina y se ha examinado más de cerca la relación entre la fijación del nitrógeno y el referido pigmento, encontrándose una correlación estrecha entre el contenido de hemoglobínico y la intensidad de fijación del nitrógeno en el chícharo (Pisum sativum). Resultados similares se han obtenido en haba.

Por purificación de la leghemoblogina mediante precipitaciones repetidas con Sulfato de amonio, se ha obtenido una preparación cuyo hierro y contenido hemínico es igual que el de la hemoglobina de la sangre. La hemoqlobina en las raíces nodulares, se localiza en las células de la planta donde hay bacterias fijadoras de N_2 . Cuando el pigmento rojo de los nódulos se vuelve verde, y la fijación de N_2 cesa, los bacteroides desaparecen y sólo se encuentran bastoncillos en los nódulos. La hemoglobina no ha sido encontrada en Azotobacter por lo tanto, parece ser esencial sólo para los nódulos de las raíces de leguminosas. Esta comprobado que funciona como almacén y transporte de oxígeno. (43)

2.8. Características y uso del agua de desecho

Las aguas residuales están definidas como el conjunto de aguas utilizadas por una comunidad y están constituidas por:

- 1) Los desechos domésticos arrastrados por el agua, incluyendo las deposiciones humanas y las aguas de limpieza, en suma, todo lo que recogen los desagües y colectores, y por el sistema general de alcantarillado.
- 2) Los residuos industriales evacuados con agua, como ácidos, aceites, grasas y materia orgánica animal y vegetal procedente de las fábricas.
- 3) Las aguas subterráneas, superficiales y atmosféricas que vierten en el sistema de alcantarillado, el cual puede ser de tres tipos:
 - A) Colectores sanitarios, que conducen las aguas residuales domésticas e industriales
 - B) Alcantarillas que recogen aguas superficiales y atmosféricas.
 - C) Canalización combinada que encausa todas las aguas residuales por un solo sistema de alcantarillado. (33)

Composición química del agua residual

Las características químicas del agua residual son de la siguiente manera:

99.9%	Aqua
0.02 - 0.03%	Sólidos en suspensión y otras sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas.

Los componentes orgánicos proceden de las deposiciones humanas y otros desechos domésticos y los residuos industriales añaden tanto componentes orgánicos como inorgánicos. Los componentes orgánicos se clasifican en nitrogenados y no nitrogenados. Los principales productos nitrogenados son: Urea, proteínas, aminas y aminoácidos; entre las sustancias no nitrogenadas, se incluyen: hidratos de carbono, grasas y jabones.

En las aguas de desecho se puede tener o reconocer dos tipos de contaminación: Contaminación en la que intervienen contaminantes biodegradables, éstos se caracterizan por ser desechos domésticos que pueden descomponerse por procesos naturales o por sistemas perfectos, como una planta de tratamientos de aguas negras; el otro tipo de contaminación es en la que intervienen contaminantes no degradables y éstos contaminantes comprenden metales como Mercurio, metales vestigiales, botes de aluminio y productos orgánicos como el DDT. (33)

El I.M.R.N.R. (1965) menciona que después de haber analizado este tipo de aguas, en cuanto a salinidad, concluyeron que:

- 1) Las aguas negras que sirven para riego agrícola registran conductividades eléctricas que las sitúan como aguas de alta salinidad que constituyen un peligro para los suelos y cultivos; que no pueden aprovecharse en lugares con drenaje deficiente, y que hacen necesaria la selección de cultivos con buena resistencia a las sales, que no es precisamente el caso de la alfalfa y el maíz ni mucho menos el frijol.
- 2) Por otra parte, se encontraron aguas con contenido de sodio mediano, alto y muy alto. Las aguas con mediano contenido de la sustancia mencionada, se pueden aprovechar y también las de alto contenido, pero entonces se requiere una operación especial que incluya buen drenaje, eficiente lavado de tierras y quizás la adición de mejoradores del suelo. Las de muy alto contenido de sodio no pueden emplearse. (4)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del experimento

El experimento fue realizado en terrenos del Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la UANL, el cual se encuentra localizado en la Carretera Monterrey-Gral. Escobedo, N.L., siendo sus coordenadas geográficas 23°49' Latitud Norte y 99°10' Longitud Oeste, con una altura de 489 msnm.

3.2. Condiciones climáticas

El clima de la región es semiárido, con un ciclo de lluvias muy irregular, teniendo una precipitación pluvial que varía de 360 a 720 mm anuales y con una temperatura media anual de 21 a 24°C.

Las condiciones climáticas que prevalecieron durante el período del cultivo se presentan en el Cuadro 18.

3.3. Suelo

El experimento se efectuó durante el ciclo temprano de 1984. Antes de iniciar el experimento se procedió a muestrear el suelo a una profundidad de 0-30 cm y el subsuelo (30-60 cm), analizando estas muestras por separado. Los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro 4. del Apéndice.

El color fue determinado por el método de la escala de Munsell. La textura se determinó por el método del Hidrómetro de Bayaucus. el pH mediante el potenciómetro; la materia orgánica por el método de Walkey y Black; el nitrógeno total por método Kjeldahl; el fósforo por el método Olsen; el potasio por el método de Peech y English y por último las sales solubles por el método del Puente de Wheatstone.

CUADRO 18. Temperatura (°C) mínima, media y máxima; precipitación pluvial (mm) registradas durante el período de Marzo a Junio de 1984.

M E S	TEMPERATURA (°C)			PRECIPITACION (mm)
	Mínima	Media	Máxima	
Marzo	12	20	27	0
Abril	14	23	32	0
Mayo	17	26	32	52.50
Junio	21.5	27	32.4	30.50

3.4. Diseño experimental y tratamientos

Este experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y un testigo y seis repeticiones.

El modelo estadístico usado es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, 3 \\ j = 1, \dots, 6 \end{array}$$

donde:

Y_{ij} = Es el valor de la variable estudiada que se observa en la u.e. que recibió el i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque

μ = Es el efecto de la media general

T_i = Es el efecto del i -ésimo tratamiento

B_j = Es el efecto del j -ésimo bloque

E_{ij} = Es el error aleatorio asociado con la u.e. que recibió el i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque.

cada tratamiento está formado de la siguiente manera:

T0 = Testigo

T1 = Nitrato de amonio

T2 = Sulfato de amonio

T3 = Urca

dichos tratamientos están distribuidos en seis repeticiones. Siendo un total de 24 repeticiones con un área de 28 m² cada una. El área total que se utilizó fue de 1,143 m². Cada parcela estuvo constituida por siete surcos de 5 m, con una distancia entre surcos de 80 cm, y 20 cm entre plantas. La parcela útil estaba formada por los tres surcos centrales de cada parcela y un metro hacia adentro de cada orilla de éstas (Figura 1 del Apéndice).

3.5. Trabajo de campo

3.5.1. Preparación del terreno

Se realizó el surcado después de 15 días de haber dado un riego de presiembra (ya había sido trabajado el terreno al inicio del experimento).

3.5.2. Riegos

Se dieron un total de dos riegos, uno de presiembra (15 días antes de la siembra) el día 3 de Marzo de 1984 y otro el 5 de Abril, para esto se empleó agua de desechos domésticos.

3.5.3. Siembra

La siembra se efectuó el 18 de Marzo de 1984 (después de haber surcado) en el lomo de los bordos, a una distancia entre plantas de 10-15 cm con la finalidad de asegurar la germinación y emergencia, aclarándose después a 20 cm.

Se empleó la variedad Canario 101, la cual ya había sido utilizada en este municipio, la cual presenta las siguientes características:

Días al inicio de floración	36
Días al 50% de floración	57
Días al final de floración	72
Días a madurez comercial	98
Rendimiento promedio	445 kg/ha

3.5.4. Fertilización

La dosis utilizada fue de 40 kg/ha de Nitrógeno. Las fórmulas son: Nitrato de Amonio (33.5 - 0-0); Sulfato de Amonio (20.5 - 0-0) y Urea (46- 0-0). La aplicación se efectuó en el costado del bordo.

3.5.5. Prácticas culturales

Las prácticas que se efectuaron fueron: primeramente un aclareo (a los 20 días del cultivo); se efectuaron tres deshierbes (10 de Abril, 5 de Mayo y por último el 25 de Mayo) en forma manual y con azadón.

3.5.6. Muestreos

Se efectuó un total de nueve muestreos, distribuidos éstos de la siguiente manera: antes de la siembra se efectuó un muestreo de suelo con la finalidad de obtener las características físico-químicas del mismo, un segundo muestreo de suelo se realizó antes de la siembra para conocer el contenido inicial de nitratos por tratamientos, a partir de este se realizó un muestreo cada 10 días en cada parcela hasta finalizar el ciclo. Otro tipo de muestreo fue de plantas con su raíz para observar su nodulación. Se tomaron cinco plantas por parcela al azar con muestreos de suelo.

3.5.7. Cosecha

Se llevó a cabo el 9 de Junio de 1984. Se tomaron 15 plantas al azar de cada parcela útil para realizar el análisis de número de vainas por planta, peso de vainas, peso de granos, peso de la planta y número de granos por planta.

3.6. Trabajo de laboratorio

3.6.1. Análisis vegetal

Este análisis se realizó en forma relativamente visual para saber si se desarrollaron nódulos y su proporción en el sistema radicular. Cada una de las plantas de cada muestreo se revisó minuciosamente.

3.6.2. Análisis de suelo

El análisis se inició con la obtención de sus características físico-químicas. Posteriormente, se determinó el contenido

inicial de nitratos por tratamiento. Después se obtuvo el contenido de esta misma sal pero por parcela, cada 10 días hasta finalizar el cultivo.

El método mediante el cual se determinó el contenido de nitratos en el suelo fue el de Acido Fenol-2,4-Disulfónico. la metodología es la siguiente:

Primeramente se toma una muestra de suelo de aproximadamente 100 g, se procede a llevarla al laboratorio inmediatamente, se tamiza y se pesan 50 g de éste depositándose en un matraz de Erlenmeyer de 50 ml. Se pesan otros 25 g de suelo y se obtiene su contenido de humedad.

En el matraz que contiene los 50 g de suelo se agregan 250 ml de la solución extractora que se prepara de la siguiente manera: (20 ml de $\text{CuSO}_4^{-1}\text{N}$ y 1 lt de Ag_2SO_4 al 6% diluido hasta 10 litros con agua destilada). El matraz con la solución extractora se agita durante 10 minutos, posteriormente se agregan 0.4 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y un gramo de MgCO_3 , se sigue la agitación por dos minutos más.

Esta solución se filtra en un papel filtro seco, descartándose los primeros 20 ml. Del filtro se toman 25 ml y se evaporan en una cápsula de porcelana hasta sequedad en una atmósfera libre de humos de HNO_3 . Se dejan enfriar las cápsulas y se agrega al residuo 3 ml de Acido Fenol-2, 4-Disulfónico que se prepara con (25 g de Fenol puro, 150 ml de Acido Sulfúrico concentrado y 75 ml de Acido Sulfúrico Fumante, se calienta por dos horas en agua hirviendo a baño maría). Se mueve la cápsula en forma circular para mojar todo el residuo y se deja actuar por 10 minutos.

En seguida se añaden 15 ml de agua fría y se agita con una varilla de vidrio, agregándose lentamente una solución de $\text{NH}_4\text{OH}-6\text{N}$ hasta que vire a color amarillo estable, que indica que ha pasado a condición alcalina. Se agregan 3 ml más y se afora a 100 ml con agua destilada. Finalmente se observa en el

fotocolorímetro con una longitud de onda de 420 y se lee la transmitancia para compararse en la curva patrón.

Para obtener las ppm de nitratos en muestras de suelo se usa la siguiente fórmula:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{ppm de Nitratos} & & \text{ppm de NO}_3 \text{ en la} \\
 \text{en el suelo} & = & \text{disolución ensaya} \quad \times \\
 & & \text{da (de la curva)} \\
 & & \\
 & & \text{ml del volumen final} \\
 & & \text{cuyo color se mide} \quad \times \\
 & & \text{ml de la parte alcu} \\
 & & \text{ta evaporada} \\
 & & \text{ml de la disolu-} \\
 & & \text{ción de extrac-} \\
 & & \text{ción + ml de H}_2\text{O} \\
 & & \text{g de suelo dese-} \\
 & & \text{cados en la estu} \\
 & & \text{fa - ml de H}_2\text{O}
 \end{array}$$

3.6.3. Análisis de agua

Este análisis se realizó con el fin de saber la calidad del agua para uso agronómico, Cuadro 24.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Análisis estadístico de resultados

Se realizó un análisis estadístico por cada uno de los muestreos de suelo que se tomaron para la obtención de nitratos, y no hubo diferencia significativa en los muestreos del primero al quinto. En los Cuadros del 2 al 6 del Apéndice, se observan más claro estos resultados. En los muestreos sexto y séptimo si hubo diferencia significativa a un nivel de 0.05 en los dos muestreos, pero no para el nivel de significancia de 0.01, esto se observa en los Cuadros 7 y 8 del Apéndice. Para el octavo muestreo, no hubo diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 9 del Apéndice).

Otro análisis estadístico que se realizó fue para determinar si existía diferencia significativa entre el tipo de fertilizante utilizado, variación de la concentración de nitratos y el rendimiento. Para poder analizar en cuanto a rendimiento, se tomó: peso total de la planta excepto hojas y granos, número promedio de vainas por planta, peso promedio de vainas por planta, número promedio de granos por planta, y peso de granos por planta. El resultado estadístico fue que no hubo diferencia significativa entre tratamientos para ninguno de estos factores estudiados. Los Cuadros del 10 al 14 nos muestran más claramente esta aseveración.

4.2. Pruebas de comprobación de medias

Debido a que los muestreos de suelo sexto y séptimo resultaron con diferencia significativa entre sus tratamientos, se procedió a realizar una comparación de medias para saber cuál de los tratamientos difiere significativamente de los demás y el resultado fue que en los dos muestreos presentaron en el tratamiento (0) ó testigo, una diferencia bastante marcada en cuanto a los otros tratamientos. La comparación de medias que se utilizó fue la de Tukey, los resultados se pueden verificar

en los Cuadros 15 y 16 del Apéndice.

4.3. Concentración de nitrato en el suelo

El experimento fue realizado con seis repeticiones y a cada una se le realizó una gráfica para poder observar la tendencia de la concentración de nitratos por separado, posteriormente se obtuvo una gráfica promedio y es la que se considera más representativa para dicha variable.

Para poder obtener la gráfica promedio, se sacaron los valores medios de todas las repeticiones y se tabularon para su mejor manejo (Cuadro 19). En base a este cuadro y después de graficarlo (Figura 12) se puede explicar de la siguiente manera:

El primer muestreo que se obtuvo fue antes de haber fertilizado y sembrado y es llamado muestreo inicial, pues se toma como punto de partida para cada uno de los tratamientos de todos los muestreos, estos valores son para el tratamiento (cero) que es el testigo de 15 ppm; para el tratamiento (1) que es de dosis de 40 kg/ha de Nitrato de amonio igual a 25 ppm de nitratos; el tratamiento (2), con la misma dosis pero de Sulfato de amonio, tuvo 17 ppm. y por último, el tratamiento (3) que fue Urea con la misma dosis, se obtuvieron 27.4 ppm de nitratos. Partiendo de estas concentraciones y después de haber sembrado o más bien 10 días después del muestreo inicial, se procedió a hacer el primer muestreo ya en forma con todas las condiciones del cultivo y los resultados fueron que en todos los tratamientos existió un descenso en la concentración, pero fue más marcado en el tratamiento (3) con 19.5 ppm. los tratamientos (0, 1 y 2) tuvieron 11.4; 22.46 y 18.25 respectivamente. Este descenso pudo haber sido por las características de volatilidad de la Urea. Otra causa posible es que tal vez no hubo una distribución correcta del fertilizante en la parcela, además, el descenso general de los tratamientos pudo haber sido por la utilización del nitrógeno por la planta, al iniciar su actividad fotosintética.

T-0
 T-1
 T-2
 T-3

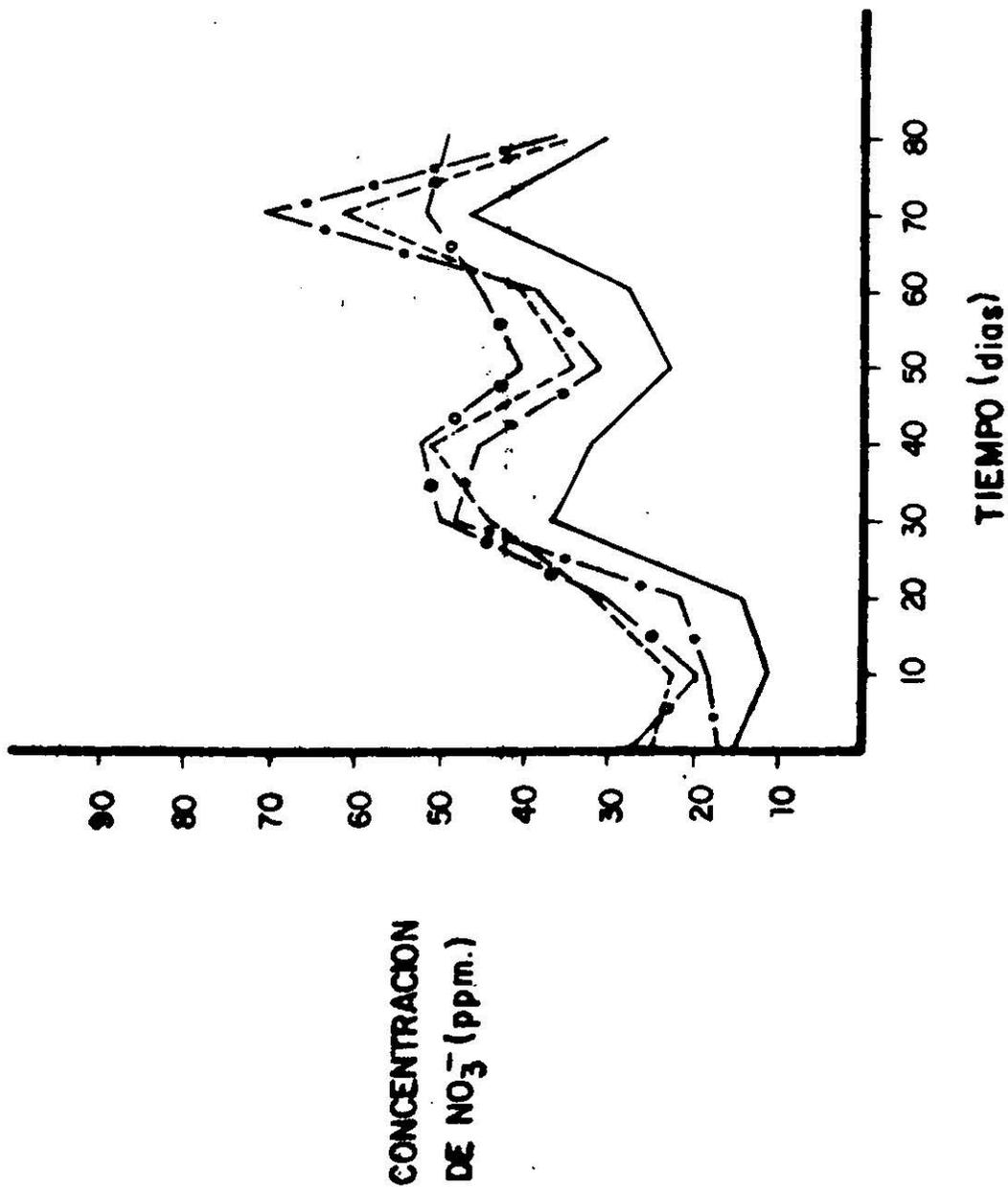


FIGURA 12. Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada uno de los tratamientos de el promedio de repeticiones realizadas, por el tiempo (días) de el cultivo.

CUADRO 19. Medias de tratamientos del total de repeticiones en cada uno de los muestreos en el análisis del contenido de NO_3^- (ppm) en el suelo.

TRATAMIENTOS	MUESTRO INICIAL	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x}
0	15	11.1	14.16	36.55	32.02	22.73	27.36	46.53	30.44	27.65
1	25	22.46	31.6	44.12	50.94	34.18	40.88	61.84	35.18	40.15
2	17	18.25	21.88	48.18	45.39	31.01	38.59	70.57	36.88	38.17
3	27.4	19.5	30.23	49.90	52.32	40.09	45.13	51.81	49.45	42.30
\bar{y} General		17.90	24.46	44.68	45.16	32.00	37.99	57.68	37.98	

En el muestreo dos, aumentó la concentración en todos los tratamientos, sobrepasando muy levemente el valor del muestreo inicial y existiendo una compensación más marcada en los tratamientos (1 y 3) con 31.6 y 30.23 respectivamente. Cabe aclarar que dos días antes de realizar este muestreo se efectuó un riego de auxilio usando agua de desecho, más exactamente el día 5 de Abril. Se puede interpretar este aumento en base a que, posiblemente el agua de desecho aumentó la actividad microbiana, no interfiriendo muy marcadamente en contra de este aumento, la utilización de nitrógeno por la planta. La compensación más pronunciada en los dos tratamientos antes mencionados pudo ser debido a la fácil capacidad de degradación de estos fertilizantes, provocando una distribución más uniforme y en el tratamiento (2) tuvo 21.88 pp, es más lento para su distribución por su baja capacidad de lixiviación. El tratamiento (0) tuvo una concentración de 14.16 ppm y pudo ser por falta de fertilizante.

En el muestreo tres, existe un aumento más pronunciado para todos los tratamientos, pero más fuerte el aumento para los tratamientos (2 y 3) con valores de 48.18 y 49.9 ppm respectivamente. Los otros tratamientos tuvieron: Tratamiento 0 (36.55 ppm) y para el Tratamiento 1 (44.12 ppm.). Posiblemente la actividad de los microorganismos, con más tiempo pudieron incrementar con más facilidad la degradación de los fertilizantes.

La floración ya se ha iniciado para el muestreo cuatro y también la humedad del suelo ha disminuido, tal vez por eso la concentración de nitratos detuvo su aumento pronunciado. En los tratamientos 1, con 50.94 pp, y 3 con 52.32 ppm sí se observa un pequeño aumento, pero en los tratamientos 0 con 32.02 ppm y 2 con 45.39 ppm sí hubo un descenso.

El quinto muestreo nos revela una drástica baja en la concentración de nitratos para los cuatro tratamientos casi en forma paralela y los valores obtenidos son: para el tratamiento 0 22.73 ppm, para el tratamiento 1, 34.18 ppm; para el 2, 31.01 ppm

y por último, el 3 con 40,09 ppm. Este descenso más bien pudo ser por la alta utilización del nitrógeno debido a que en este período ya va aproximadamente en el 50% de floración del cultivo y las primeras plantas que florecieron ya están formando el fruto. Otra causa, pudo haber sido la falta de humedad, pues a esta altura ya requería de agua y no se pudo regar.

Nuevamente el muestreo 6 nos registra un aumento de concentración y de nueva cuenta se observa la influencia del agua en el resultado de la concentración, pues al día siguiente de haber realizado el quinto muestreo ocurrió una precipitación de 5,30 mm, o sea, el día 8 de Mayo y otra tres días antes de realizar el sexto muestreo con 2,30 mm (14 de Mayo). Otra precipitación de 8,00 mm el día 17 de Mayo, día en que se realizó el sexto muestreo. Posteriormente, siguieron ocurriendo pequeñas precipitaciones que se mencionarán a su tiempo, pero pueden observarse en el Cuadro 20.

En este sexto muestreo las concentraciones alcanzadas para cada tratamiento fueron: para el 0, 27,36 ppm; para el 1, 40,88 ppm, para el 2, 38,59 ppm y por último para el 3, 45,13 ppm.

Como se mencionó anteriormente, ocurrieron varias precipitaciones y éstas fueron el día 20 de Mayo (26,20 mm); 23 de Mayo (5,40 mm). El día 27 de Mayo se realizó el séptimo muestreo y es el momento en el cual, existe la mayor concentración del experimento para el tratamiento 2 con 70,57 ppm y para el tratamiento 1 con 61,84 ppm. El tratamiento cero también aquí alcanzó su más alto valor con relación a los demás muestreos, pero menor que los otros tratamientos, alcanzado un valor de 46,53 ppm, sólo el tratamiento 3 con 51,81 ppm no alcanzó su valor más alto, ya que éste lo tiene en el muestreo 4. En esta etapa ya la floración está llegando a su fin y ya existe una gran cantidad de vainas, algunas ya empiezan a madurar.

Los días 28 y 29 de Mayo ocurrieron otras precipitaciones que fueron de 2,63 y 2,17 mm respectivamente. Después, el día 5 de

CUADRO 20. Profundidad del sustrato mojado por la precipitación ocurrida en el mes de Mayo y parte de Junio de 1984.

FECHA	PRECIPITACION (mm)	PRECIPITACION EFECTIVA (mm)	PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (cm).
8-V-84	5.30	5.1596	4.75
14-V-84	2.80	2.7608	2.54
17-V-84	8.00	7.68	7.07
20-V-84	26.20	22.6	20.829
23-V-84	5.40	5.254	4.842
28-V-84	2.63	2.595	2.391
29-V-84	2.17	2.146	1.977
5-VI-84	5.70	5.537	5.103
10-VI-84	2.80	2.760	2.543

de Junio cayeron 5.70 mm de lluvia, y el 6 del mismo mes se realizó el último muestreo, o sea el octavo y se observa una disminución de la concentración en todos los tratamientos, más drásticamente en el tratamiento dos hasta 36.88 ppm y el tratamiento 1 con 35.18 ppm, el tratamiento tres también bajó pero muy leve y fue de 49.45 ppm, y por último, el tratamiento 0 bajó a 30.44 ppm.

Este último muestreo se ha tomado como la etapa final, en la cual los nitratos son utilizados y se ha realizado una comparación entre esta concentración y la concentración del primer muestreo (Cuadro 21). Otra comparación que se hizo y que puede ser más correcta, es la diferencia de concentración entre el muestreo en los cuatro tratamientos, esto se puede observar en el Cuadro 22. Gráficamente se puede observar esta ganancia en la Figura 13. Para el tratamiento 0, hubo una ganancia de 12 ppm, para el 1, hubo un aumento de 15.15 ppm, el tratamiento 2 nos muestra un mayor aumento que los demás tratamientos y es de 21.17 ppm, el 3 nos indica un aumento de 14.90 ppm con respecto al muestreo inicial.

Otras figuras que nos dan una explicación por separado o más bien por repetición del comportamiento de los nitratos son las Figuras 14, 14, 16, 17, 18 y 19. Fue de éstas donde se obtuvo la figura promedio.

4.4. Resultados de los factores del rendimiento

4.4.1. Peso de la planta sin hojas ni grano

Por no tener una buena uniformidad en el contenido de hojas al momento de la cosecha, se decidió eliminar en todo el experimento esta parte, lo mismo que el grano, se excluyó éste para poder obtener un análisis de la materia vegetal solamente, eso si se agregó la cubierta del grano en este análisis. Los resultados se pueden observar en el Cuadro 23, en el cual no se observa diferencia entre los cuatro tratamientos, el tratamiento que presentó el valor más alto fue el 1 con 9.58 g.,

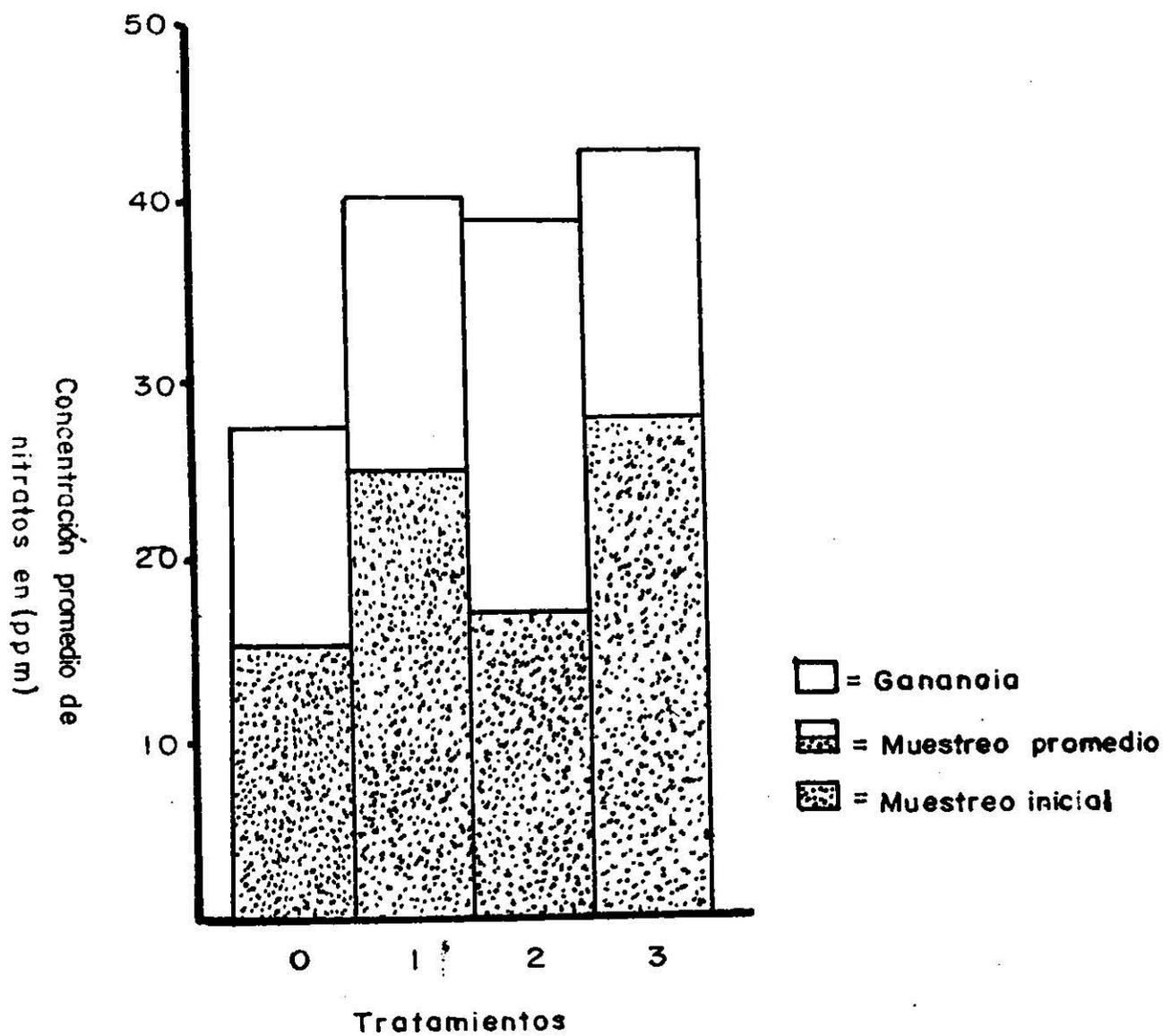


FIGURA 13. Concentración promedio de nitratos, muestreo inicial y ganancia (ppm).

T-0
T-1
T-2
T-3

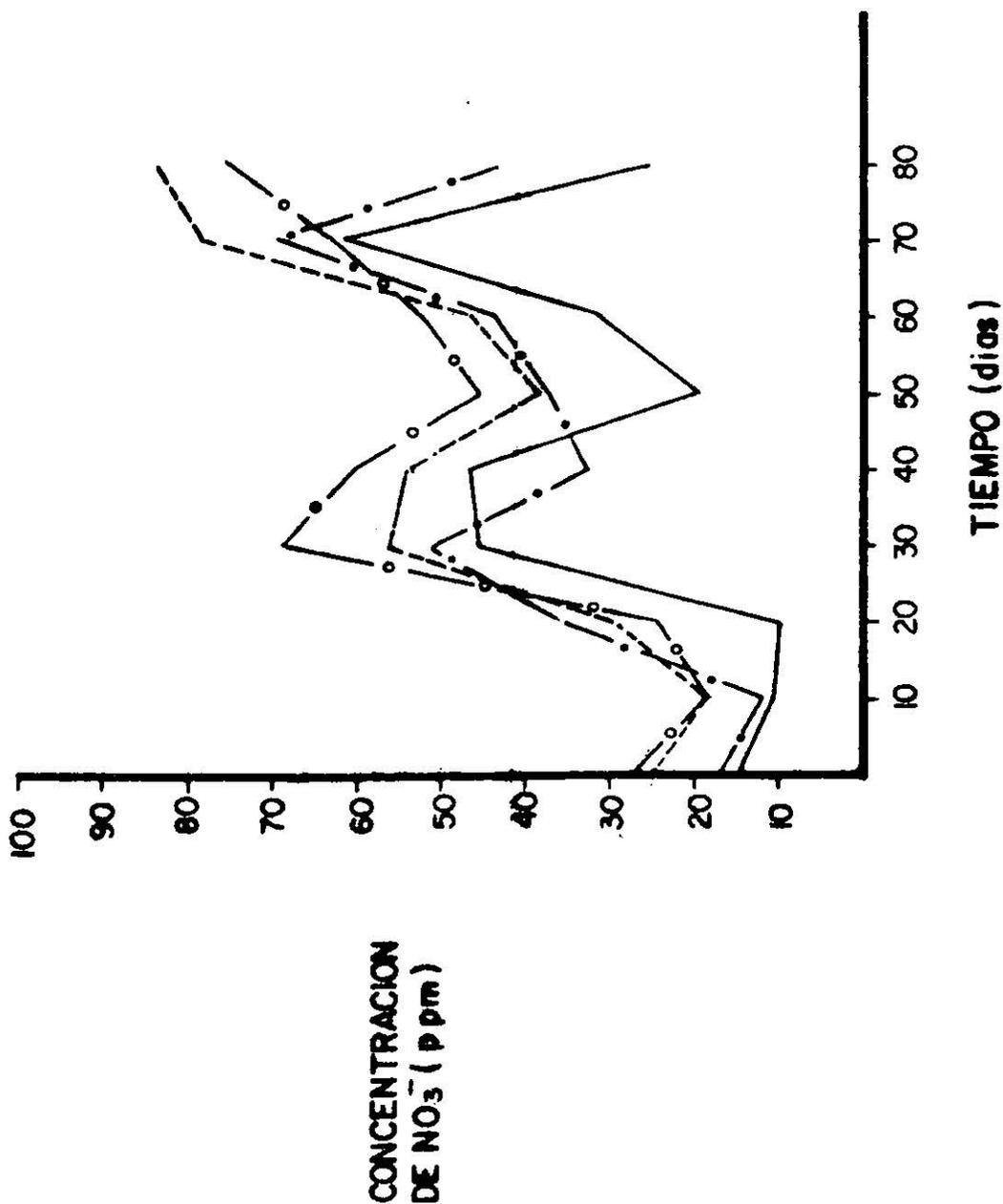


FIGURA 14. Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición I, por el tiempo (días) de el cultivo.

T-0
 T-1
 T-2
 T-3

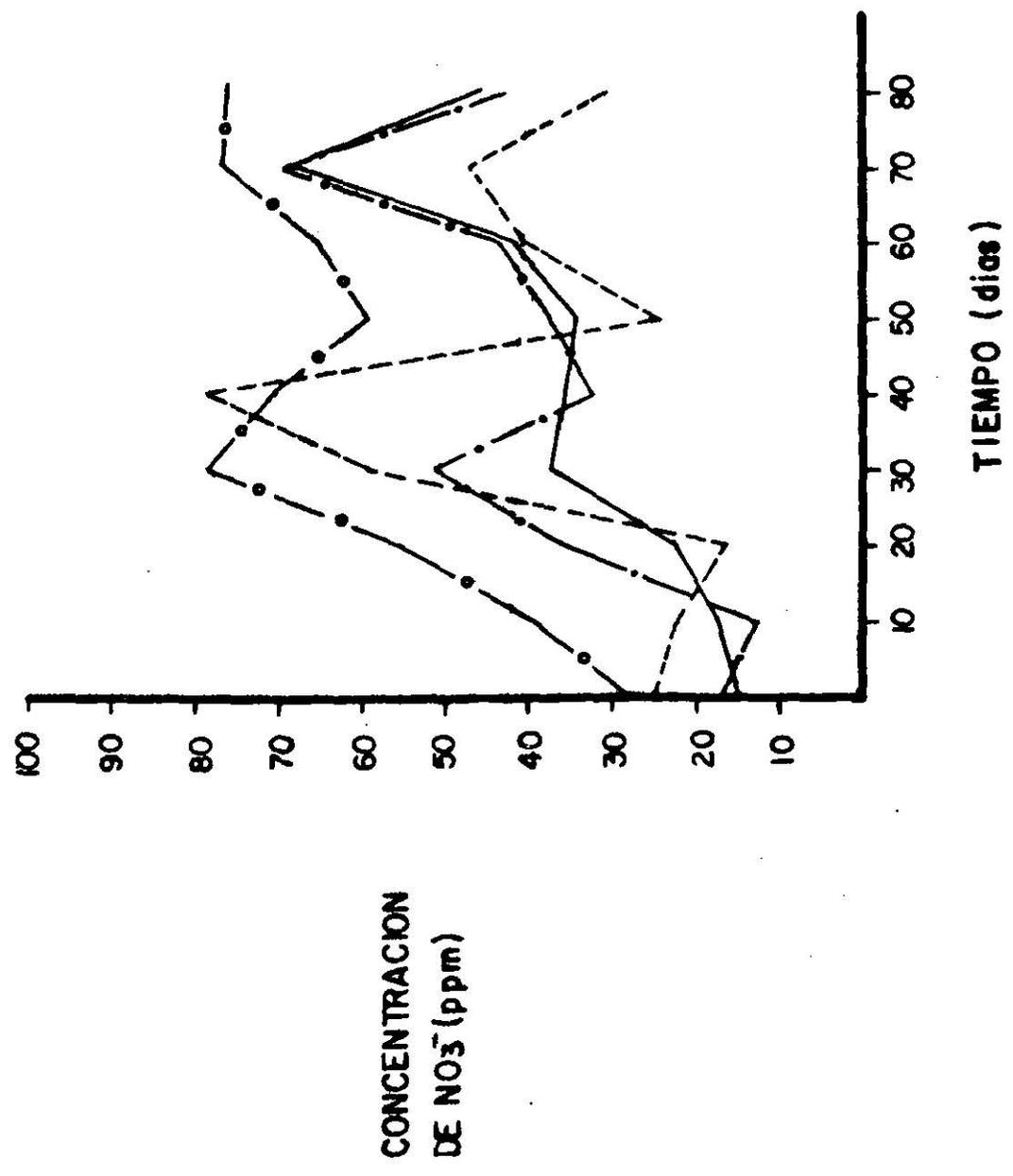


FIGURA 15. Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición II, por el tiempo (días) de el cultivo.

T-0
 T-1
 T-2
 T-3

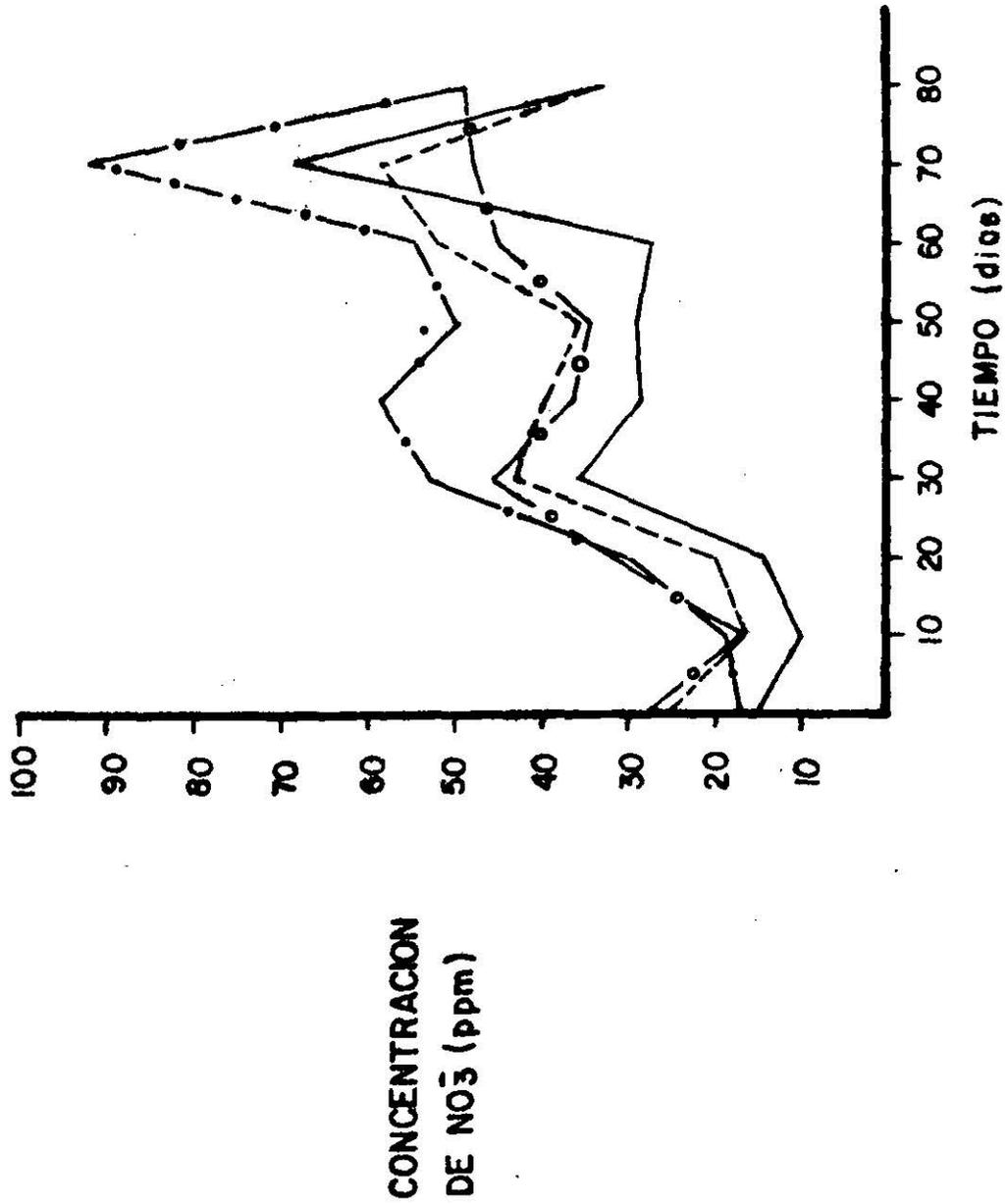


FIGURA 16. Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición III, por el tiempo (días) de el cultivo.

T-0
 T-1
 T-2
 T-3

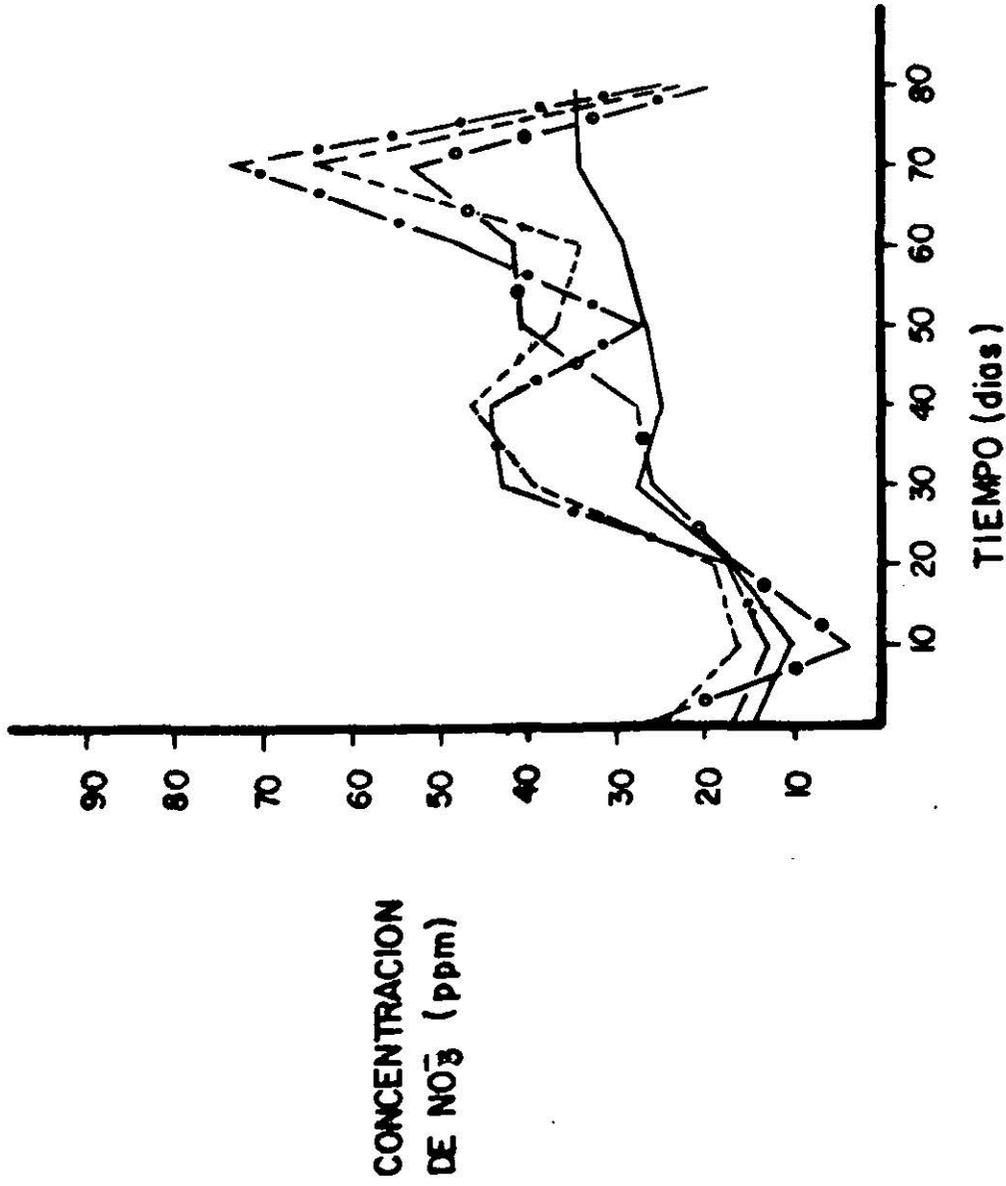


FIGURA 17. Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición IV, por el tiempo (días) de el cultivo.

T-0
 T-1
 T-2
 T-3

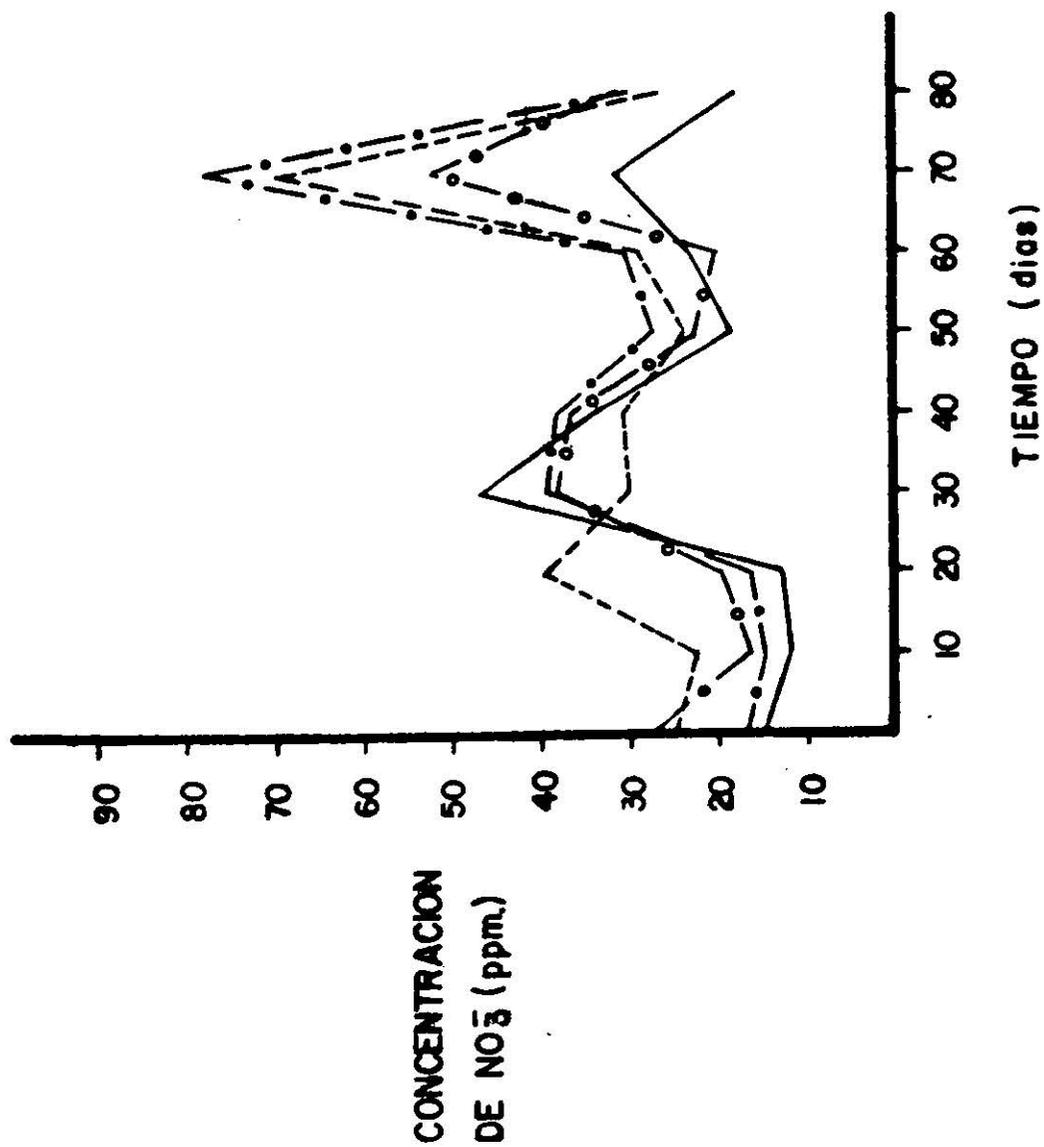


FIGURA 18. Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición V, por el tiempo (días) de el cultivo.

T-0
 T-1
 T-2
 T-3

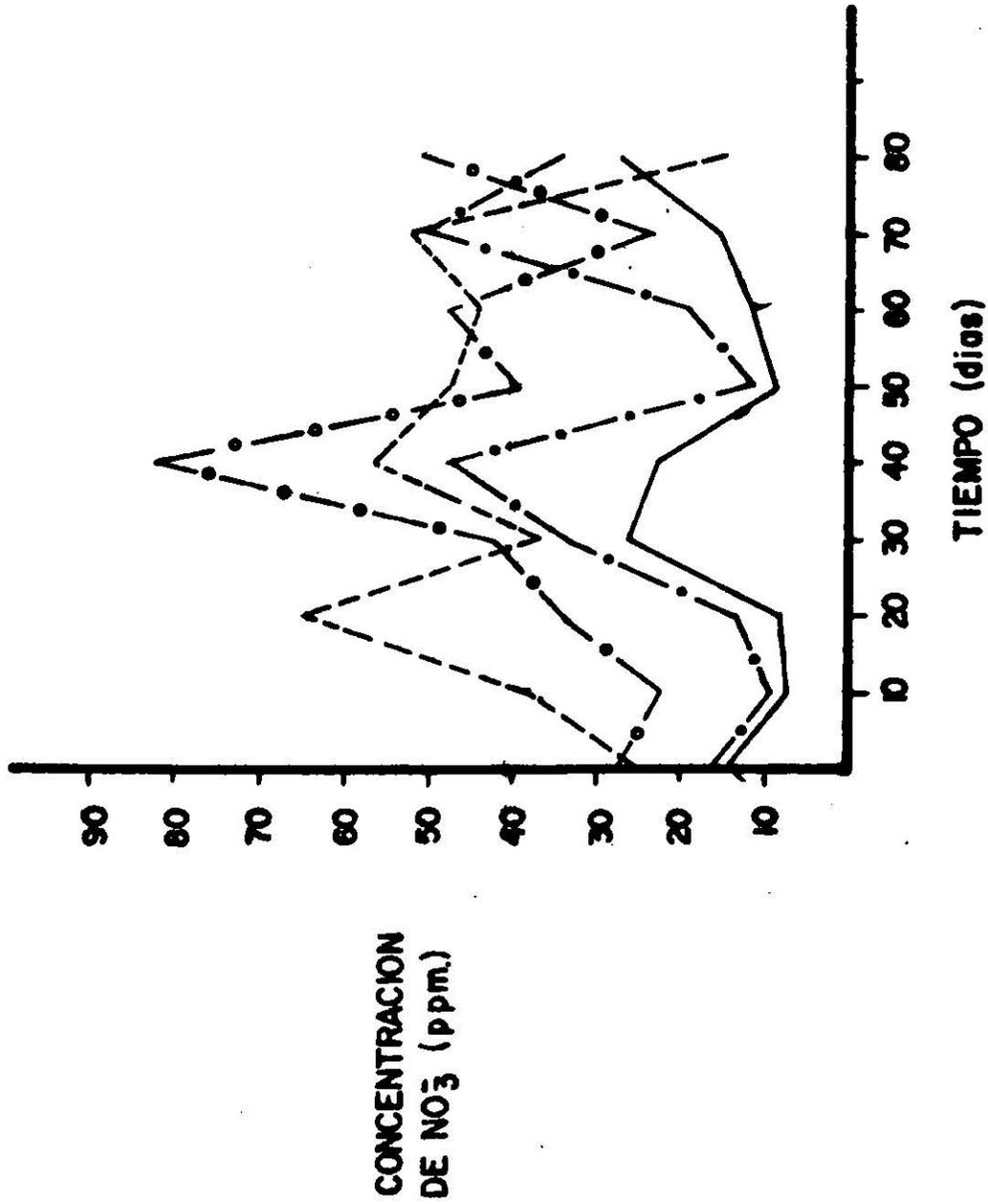


FIGURA 19. Comportamiento de la concentración de nitratos (ppm) en cada tratamiento de la repetición VI, por el tiempo (días) de el cultivo.

CUADRO 21. Comparación y ganancia de nitratos (ppm) entre los tratamientos del muestreo 1 y los del muestreo 8.

TRATAMIENTO	MUESTREO 1 (ppm)	MUESTREO 8 (ppm)	GANANCIA (ppm)
0	11.4	30.44	19.04
1	22.46	35.18	12.72
2	18.25	26.88	18.63
3	19.5	49.45	29.25

CUADRO 22. Ganancia promedio de nitratos (ppm).

TRATAMIENTO	MUESTREO INICIAL (ppm)	MUESTREO PROMEDIO (ppm)	GANANCIA (ppm)
0	15	27.65	12
1	25	40.15	15.15
2	17	38.17	21.17
3	27.4	42.30	14.90

el tratamiento 3 fue el que resultó con el menor valor con 8.43 g, estos valores aunque un poco distantes, no difirieron estadísticamente. Para esta variable se realizó una gráfica en donde se observan más claramente éstos resultados (Figura 20).

4.4.2. Número de vainas por planta

En esta variable sólo el tratamiento 1 alcanzó un valor más alto que el de los otros tres tratamientos, su valor fue de 10.34 vainas por planta en promedio, los tratamientos 0, 2 y 3 tuvieron valores de 9.62; 9.84 y 9.65 vainas por planta respectivamente. Tampoco hubo diferencia estadística entre tratamientos, gráficamente podemos observar estos resultados en la Figura 20.

4.4.3. Peso de vainas por planta

También esta variable se observa muy marcadamente la mayor cantidad numérica del tratamiento 1, y es lógico ya que como tuvieron mayor cantidad de vainas, tienen un mayor peso y éste es de 11.47 g en comparación con los tratamientos 0, 2 y 3 que tuvieron un peso de 11.20; 11.11 y 10.60 g respectivamente. Su gráfica se observa en la Figura 21.

4.4.4. Número de granos por planta

Para esta variable los tratamientos 0, 2 y 3 se comportaron casi iguales, produciendo 26.00; 25.94 y 25.98 granos por planta respectivamente, una vez más el tratamiento 1 mostró el valor más alto con 28.77 granos por planta en promedio, lo cual se justifica, ya que hubo un mayor número de vainas en este tratamiento (Figura 22).

4.4.5. Peso de granos por planta

Con 8.02 g el tratamiento 1 fue mayor que los demás tratamientos que alcanzaron 7.38 g para el tratamiento 0; 7.28 g para el 2, y 7.07 g para el 3 (Figura 21).

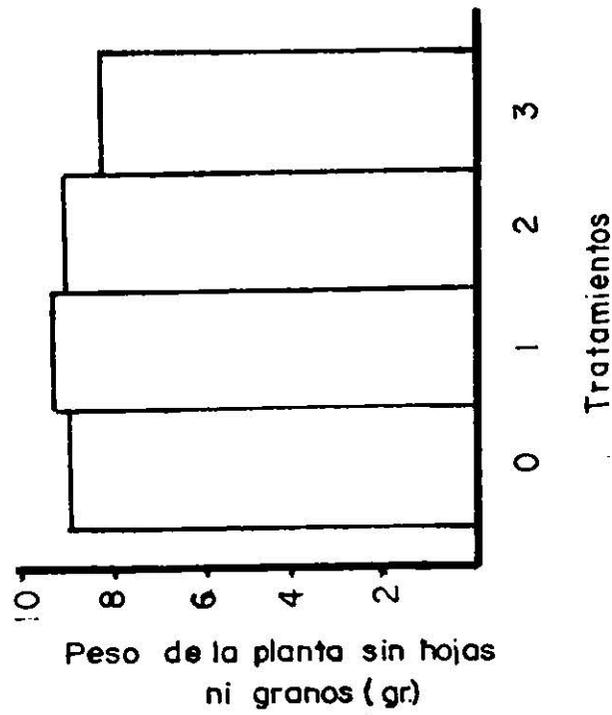
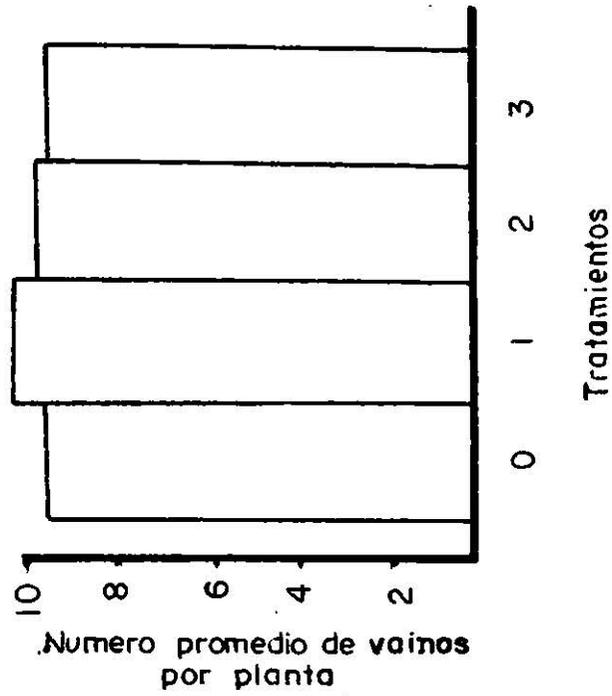


FIGURA 20. Peso promedio de la planta sin hojas ni granos y número promedio de vainas por planta por tratamiento.

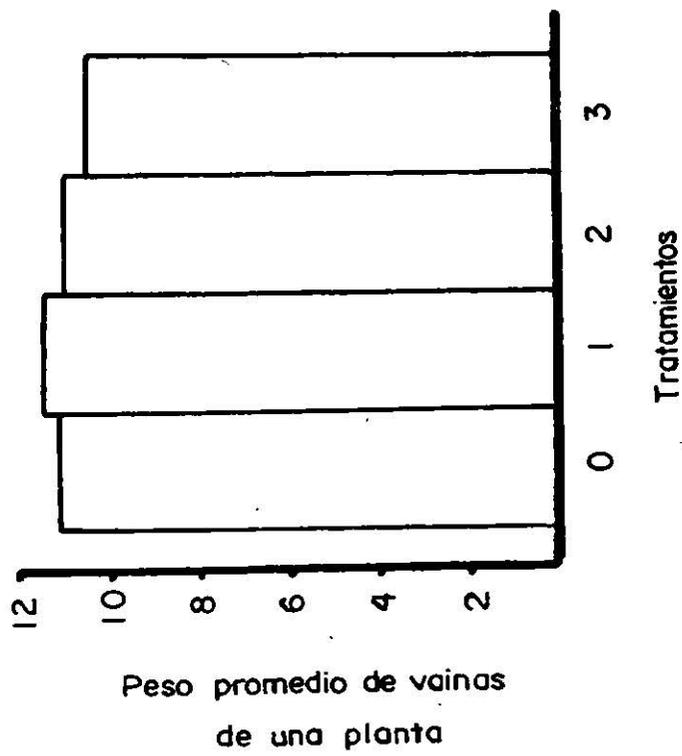
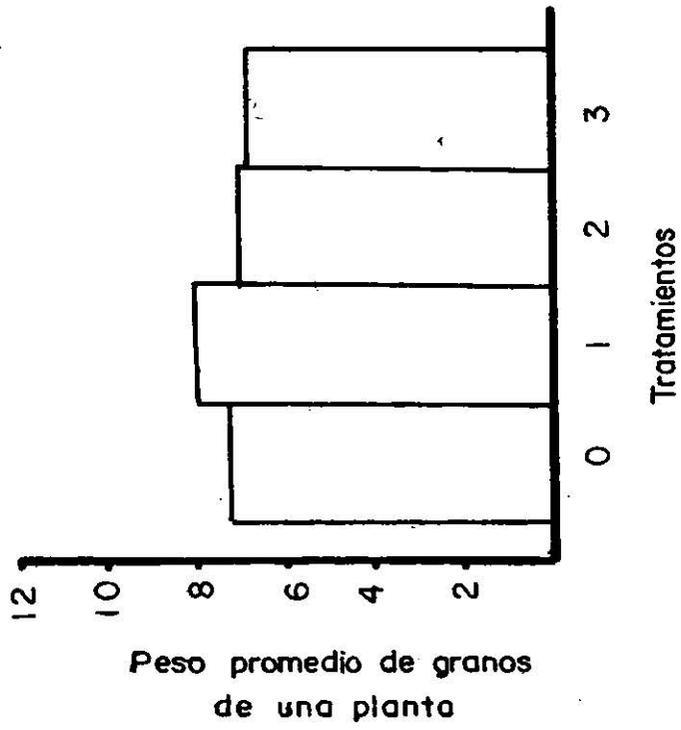


FIGURA 21. Peso promedio de vainas y de granos de una planta por tratamiento.

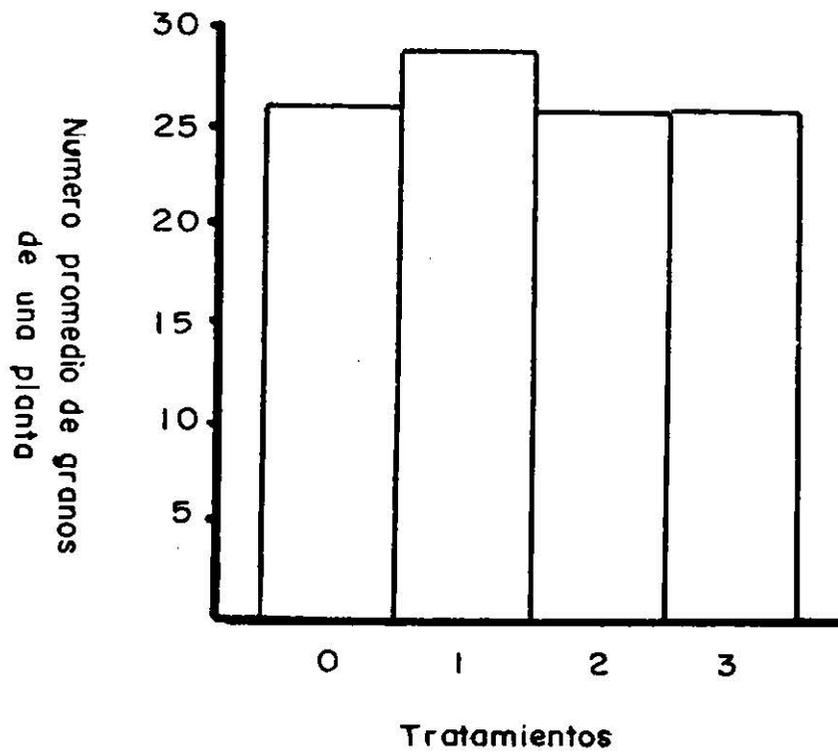


FIGURA 22. Número promedio de granos de una planta por tratamiento.

CUADRO 23. Medias de tratamientos del total de repeticiones para peso de planta sin hojas ni granos, número de vainas/planta, peso de vainas/planta (g), número de granos por planta y peso de granos por planta (g).

TRATAMIENTO	PESO DE LA PLANTA SIN HOJAS NI GRANOS	NUMERO DE VAINAS POR PLANTA	PESO DE VAINAS POR PLANTA (g)	NUMERO DE GRANOS POR PLANTA	PESO DE GRANOS POR PLANTA (g)
0	9.19	9.62	11.20	26.00	7.38
1	9.58	10.34	11.47	28.77	8.02
2	9.34	9.84	11.11	25.94	7.28
3	8.43	9.65	10.60	25.98	7.07
\bar{y} General	9.13	9.86	11.09	26.67	7.43

4.5. Análisis del agua de desecho

Los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro 24. La clasificación en la cual se ubicó este tipo de agua fue C_3S_1 que significa altamente salina por tener 1500 micro mhos y un bajo contenido de sodio. Entonces se considera no apta para el riego agrícola, ya que puede perjudicar al suelo en la cual se aplique, incluyendo al cultivo.

4.6. Grado de nodulación

En esta variable no se tuvo el resultado esperado, ya que todos los muestreos de plantas que se tomaron para analizar su raíz no existió absolutamente nada de nodulación en ninguno de los tratamientos, a pesar de que se siguió muy de cerca esta variable con cada muestreo. Se puede atribuir esto a que la nodulación es inhibida con la aplicación de Nitrógeno, o puede ser que existió un antagonismo entre los microorganismos fijadores nativos y los introducidos en el agua de desecho.

CUADRO 24. Análisis químico del agua de desecho en cuanto a ca lidad para uso en riego agrícola.

ANALISIS	DATOS	OBSERVACIONES
Gasto aforado		
CE x 10 ⁶ a 25°C	1.5	
pH	8.0	Medianamente alcalino
Ca en me/l	3.4	
Mg en me/l	3.1	
Na en me/l	8.5	
K en me/l	-	
Σ de cationes me/l	15	
CO ₃ en me/l	0	
HCO ₃ en me/l	5.7	
Cl en me/l	7.0	no recomendable
SO ₄ en me/l	2.3	
NO ₃ en me/l	-	
Σ de aniones me/l	15	
SE en me/l	9.3	Condicionada
SP en me/l	8.15	Condicionada
RAS	4.71	Agua baja en sodio
CSR en me/l	0.8	Buena
PSP en me/l	91.397	Condicionada
B en ppm	-	
Clasificación	C ₃ S ₁	Agua altamente salina

FUENTE: Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, UANL

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por los resultados obtenidos, tenemos que:

1. Para la concentración de nitratos, el factor determinante de su variación se encuentra la humedad, y tenemos que a mayor humedad va a existir más concentración de nitratos e inversamente, con menor humedad, menor concentración, esto para las condiciones químicas, edáficas y de temperatura presentados en este experimento.
2. La fuente de fertilizante no influyó en los resultados de la variable rendimiento, aunque el tratamiento 1 de Nitrato de amonio tuvo los valores más altos no difiere significativamente de los demás tratamientos, por lo que dió lo mismo aplicarlos o no.
3. El agua negra es altamente salina y no se recomienda para riego agrícola, pero sí se puede aplicar en suelos con pH ácido para modificarlo.
4. La precipitación que ocurrió no fue suficiente para lixiviar los nitratos y sólo se concentró a aumentar la actividad microbiana, pues solo mojó la capa arable del terreno.
5. No hubo nodulación por causa de factores como la aplicación de fertilizante, ya que se inhibió con éste. Además, existió antagonismo entre bacterias fijadoras del agua negra y bacterias nativas.
6. Se recomienda seguir realizando los muestreos de suelo para analizar el contenido de nitratos, aún después de haber realizado la cosecha del cultivo, debido a que se observa una tendencia al aumento de dicha concentración al aplicar agua, además que las (ppm) de nitratos en el último muestreo quedaron con un número muy alto.

7. También se recomienda hacer muestreos para el análisis del contenido de nitratos tanto en suelo (0-30 cm) como en el subsuelo (30-60 cm) para efectuar un trabajo más completo.
8. Se recomienda efectuar un análisis de identificación de las bacterias nitrificantes tanto en el agua de desecho como del suelo donde se trabaje.

VI. RESUMEN

En el ciclo Primavera-Verano de 1984 en la Ex-Hacienda El Canadá, municipio de Gral. Escobedo, N.L. se realizó un experimento para determinar el grado de descomposición de los fertilizantes, usando para el riego agua de desecho, y como fuente de fertilizante; Nitrato de amonio, Sulfato de amonio y Urea.

La variable principal es la concentración de nitratos; otras variables fueron: peso de la planta sin hojas ni granos, número y peso de vainas por planta, y número y peso de granos por planta. Se analizaron las características agronómicas del agua de riego, resultando no aptas para éste por su salinidad muy alta.

Otro punto que se estudió fue el grado de nodulación para cada tratamiento.

En cuanto a la concentración de nitratos, resultó significativa para el muestreo 6 y 7, con diferencia en el muestreo 6 entre los tratamientos 1, con 40.88 ppm, 2, con 38.59 ppm y el 3, con 45.13 ppm, contra el tratamiento 0, con 27.36 ppm y el muestreo 7, en el mismo orden, tratamiento 1, con 61.84 ppm, el tratamiento 2 con 70.57 ppm y el tratamiento 3, con 51.81 ppm contra el tratamiento 0, con 46.53 ppm.

En las variables de rendimiento, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos.

Por último, en la variable de nodulación, no existió ésta en ningún muestreo.

A P E N D I C E

CUADRO 1. Características Físico-químicas del suelo (0-30 cm) y subsuelo (30-60 cm) de la Ex-Hacienda El Canadá, municipio de Gral. Escobedo, N.L.

DETERMINACION	ANALISIS		CLASIFICACION AGRONOMICA	
	(0 - 30 cm)		(30 - 60 cm)	
Color (Escala Munsell)	Seco 10 Y R 6/3 Húmedo 10 Y R 3/3	Seco 10 Y R 6/4 Húmedo 10 Y R 5/3	Café pálido Café obscuro	Café
Reacción (Relación suelo-agua 1:2)	pH = 7.6	pH = 7.7	Ligeramente Alcalino	Ligeramente Alcalino
Textura (Método del Hidrómetro)	Arena: 30% Limo : 28% Arcilla: 42%	Arena: 30% Limo : 24% Arcilla: 46%	Arcilloso	Arcilloso
Materia orgánica (Método de Walkley y Black)	1.93%	1.10%	Medio	Pobre
Nitrógeno total (Método Kjeldahl)	0.0966%	0.0552%	Pobre	Pobre
Fósforo aprovechable (Método Olsen)	2.256 ppm	1.4396 ppm	Bajo	Bajo
Potasio aprovechable (Método Pechn y English)	238.49 kg/ha	67.32 kg/ha	Mediano	Extremadamente pobre
Sales solubles totales Puente Wheatstone	2.2 mmhos/cm	1.4 mmhos/cm	Ligeramente salino	No salino

FUENTE: Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, UANL.

CUADRO 2. Análisis de varianza para la concentración de nitratos (Muestreo #1) en ppm.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Cal.	F. TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	7694.8528				
Tratamiento	3	394.74913	131.58304	2.240927	3.29	5.42
Bloques	5	865.0781	173.015			
Error	15	880.77157	58.718105			
Total	24	9835.4516				
C.V. = 42.80						

CUADRO 3. Análisis de varianza para la concentración de nitratos (Muestreo #2) en ppm.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F. cal	F. TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	14,371.72				
Tratamiento	3	1181.415	392.805	2.125824	3.29	5.42
Bloques	5	432.8325	86.5665			
Error	15	2778.7225	185.24817			
Total	24	18,764.69				
C.V. = 55.62						

CUADRO 4. Análisis de varianza para la concentración de nitratos (Muestreo #3) en ppm.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F. cal	F. TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	47936.282				
Tratamiento	3	635.91663	211.97221	2.6881108	3.29	5.42
Bloques	5	2580.788	516.1576			
Error	15	1228.5344	81.902293			
Total	24	52381.521				

C.V. = 20.25

CUADRO 5. Análisis de varianza para la concentración de nitratos (Muestreo #4) en ppm.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F. cal	F. TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	48969.7				
Tratamiento	3	1544.6965	514.89883	2.794267	3.29	5.42
Bloques	5	1850.535	370.107			
Error	15	2764.0457	184.26971			
Total	24	55128.977				

C.V. = 30.05

CUADRO 6. Análisis de varianza para la concentración de nitratos (Muestreo #5) en ppm.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F: cal.	F TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	24585.601				
Tratamientos	3	943.53715	314.51238	2.8652	3.29	5.41
Bloques	5	766.5388	153.307			
Error	15	1646.524	109.76826			
Total	24	27942.201				
C.V. = 32.74						

CUADRO 7. Análisis de varianza para la concentración de nitratos (Muestreo #6) en ppm.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Cal.	F TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	34633.964				
Tratamientos	3	1031.639	343.87967	3.7636 **	3.29	5.42
Bloques	5	1374.592	274.9184			
Error	15	1370.528	91.36853			
Total	24	38419.723				
C.V. = 25.16						

CUADRO 8. Análisis de varianza para la concentración de nitratos (Muestreo #7) en ppm.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	F TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	79883.343				
Tratamientos	3	2053.1034	684.367	3.6584 **	3.29	5.42
Bloques	5	2778.8056	555.7611			
Error	15	2805.9539	187.063			
Total	24	87521.206				
C.V. = 23.70						

CUADRO 9. Análisis de varianza para la concentración de nitratos (Muestreo #8) en ppm.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	F TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	34676.52				
Tratamientos	3	1178.9594	392.986	1.865	3.29	5.42
Bloques	5	3157.66	631.53			
Error	15	3160.34	210.689			
Total	24	42173.49				
C.V. = 38.18						

CUADRO 10. Análisis de varianza para el peso de planta sin hojas ni granos.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal	F TEORICA	
					0.05	0.01
Medias	1	2004.59				
Tratamientos	3	4.39	1.46	0.67	3.29	5.42
Bloques	5	31.86	6.38			
Error	15	32.86				
Total	24	2073.76				
C.V. = 16.20						

CUADRO 11. Análisis de varianza para el número de vainas por planta.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal	F TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	2337.41				
Tratamientos	3	2	0.67	0.29	3.29	5.42
Bloques	5	24.33	4.866			
Error	15	34.58	2.31			
Total	24	2398.32				
C.V. = 15.41						

CUADRO 12. Análisis de varianza para el peso promedio de vainas de una planta (g).

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal	F TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	2956.59				
Tratamientos	3	2.3755	0.79183	0.2634	3.29	5.42
Bloques	5	22.5922	4.5184			
Error	15	45.0879	3.0058			
Total	24	3026.65				
C.V. = 15.62						

CUADRO 13. Análisis de varianza para el número de granos por planta.

F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	F TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	17077.34				
Tratamientos	3	35.23	11.74	0.63	3.29	5.42
Bloques	5	132.41	26.48			
Error	15	281.53	18.77			
Total	24	17526.51				
C.V. = 16.24						

CUADRO 14. Análisis de varianza para el peso promedio de granos de una planta (g).

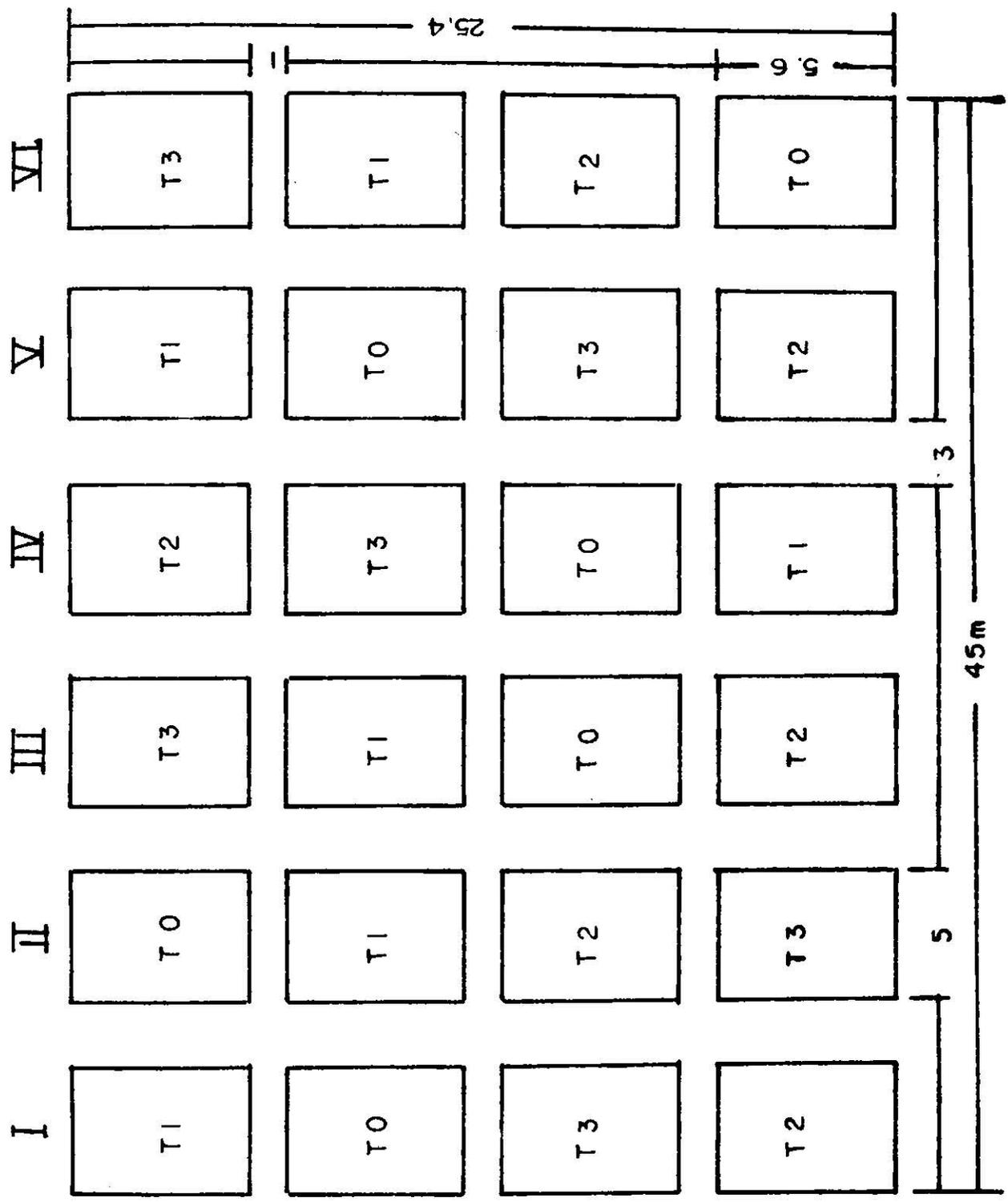
F. VAR.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal	F TEORICA	
					0.05	0.01
Media	1	1329.23				
Tratamientos	3	2.9669	0.98897	0.7716	3.29	5.42
Bloques	5	6.3655	1.2731			
Error	15	19.2238	1.2815			
Total	24	1357.78				
C.V. = 15.21						

CUADRO 15. Comparación de medias de tratamientos del muestreo #6 por el método de Tukey.

TRATAMIENTO	MEDIA	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	TUKEY 0.05	TUKEY 0.01
T3	45.13	a	a	15.92	20.48
T1	40.88	a	a		
T2	38.57	a	a		
T0	27.35	a b	a		

CUADRO 16. Comparación de medias de tratamientos del muestreo #7 por el método de Tukey.

TRATAMIENTO	MEDIA	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	TUKEY 0.05	TUKEY 0.01
T2	70.57	a	a	22.78	29.31
T1	61.84	a	a		
T3	51.81	a	a		
T0	46.53	a b	a		



F0 - Sin fertilizante
 F1 - Nitrato de Amonio
 F2 - Sulfato de Amonio
 F3 - Urea

FIG. 1. Croquis del experimento y area empleada (1143 m²) en una distribución en bloques al azar.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Alcantar G., G. 1978. Estudio del efecto de diferentes dosis de nitrógeno en dos fuentes sobre los procesos de nodulación, fijación del nitrógeno y rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.). Escuela Nacional de Agricultura Colegio de Postgraduados Chapingo, México. Tesis no publicada. pp. 110-111.
2. Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. 1a. Ed. AGT Editor, S.A. México. pp. 327-338.
3. Anónimo. 1980. Informe anual del programa de frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical (C.I.A.T.). Cali Colombia. pp. 68-69.
4. _____. 1965. Mesa redonda sobre problemas del agua en México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México. pp. 285.
5. _____. 1983. Cultivos básicos. Manuales de educación agropecuaria. Area Producción Vegetal Ed. Trillas. México. SEP. p. 9.
6. _____. 1981. Frijol y chícharo. Manuales de educación agropecuaria. Area Producción Vegetal. Ed. Trillas, México. SEP., pp. 11, 25.
7. _____. S.F. Frijol de riego. Recomendaciones técnicas. Servicio de Educación técnica al usuario. Hoja de divulgación 11. Talleres gráficos de la Unión, México pp. 1-2.
8. _____. 1977. Antecedentes históricos de la estadística agrícola en México. Econotecnia Agrícola. Dirección General de Economía Agrícola. Vol. 1 No. 5. Mayo. SARH, México. pp. 40.

9. _____, 1981. Consumos aparentes de productos agrícolas Econotecnia Agrícola, Dirección General de Econotécnia Agrícola Vol. V No. 7. Septiembre. SARH. México. pp. 37-38.
10. _____. 1983. La producción agropecuaria y forestal en el mundo y la participación de México. Econotecnia Agrícola. Dirección General de Economía Agrícola. Vol. VI. No. 7, Julio. SARH. México. pp. 69-71.
11. _____. 1979. Estimación del uso de fertilizantes a nivel nacional, con base en los datos obtenidos en las encuestas sobre uso de dicho insumo en los ciclos Primavera-Verano 77-77, Otoño-Invierno 77-78. Econotecnia Agrícola. Dirección General de Economía Agrícola Vol. III, No. 2, Febrero. SARH, México. pp. 9-28.
12. Barrera S., J. 1980. Nodulación, rendimiento y algunos componentes del rendimiento de frijol y maíz en cultivo asociado. Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados Chapingo, México. Tesis no publicada.
13. Buckman H., O. and Brady N.C. 1960. Nature and properties of soils. 6th Edition. MacMillan Co. United States of America. pp. 409-424.
14. Burdon, K.L. y R.P. Williams. 1971. Microbiología. 1a. Ed. Impresora y Editora Jac's, S.A. Mexico. pp. 121, 122, 352-356.
15. Burges, A. 1960. Introducción a la microbiología del suelo. 1a. Ed. Editorial Acribia, España. pp. 153.
16. Burrows, W. 1974. Tratado de Microbiología. 20ava. Ed. Nva. Editorial Interamericana. México. pp. 195-196.
17. Carpenter, P.L. 1969. Microbiología. 2a. Ed. Editorial Interamericana, S.A. México. p. 286.

18. Collings, G.H. 1958. Fertilizers Commercial. 1a. Ed. Salvat Editores, S.A. Barcelona, España. pp. 1-5.
19. Conn, E.E. y P.K. Stumpf. 1973. Bioquímica fundamental. 2a. Ed. Ed. LIMUSA. México. pp. 383-384.
20. Chapman, H.D. y P.F. Pratt. 1979. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. 1a. Ed. Ed. Trillas, México. pp. 102-103, 107.
21. Demolon, A. 1965. Dinámica del suelo. 5a. Edición. Ed. Omega, S.A. España. pp. 277-279.
22. Engleman, E.M. 1979. Contribuciones al conocimiento del frijol (Phaseolus) en México. 1a. Edición. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados Chapingo, México. p. 20.
23. Frobisher, M. y R. Fuerst. 1976. Microbiología. 13ava. Edición. Ed. Interamericana, S.A. México. pp. 509-511.
24. Gutiérrez, V.J.; A. Barrera y otros. 1974. Biología. Unidad del mundo vivo. 1a. Edición. Ed. CECSA. México pp. 31, 52-54.
25. Jackson, M.L. 1982. Análisis químico de suelos. 4a. Edición. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España. pp. 272-278.
26. Jeanprost, P. 1970. La botánica y sus aplicaciones. Ed. Mundiprensa. España. p. 377.
27. Juscafresa, B. 1966. Bulbos, tubérculos y leguminosas. Ed. Serrahima y Urpi, S.L. Barcelona, España. p. 88.
28. Miranda, C.S. 1967. Origen de Phaseolus vulgaris L. Agrociencia. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados Chapingo, México.

29. Odum. EP. 1982. Ecología. Ed. CECSA. México pp. 118, 123.
30. Ortiz, V.B. y C.A. Ortiz S. Edafología. 3a. Edición. Escuela Nacional de Agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México pp. 126-127.
31. Ortiz, V.B. 1977. Fertilidad de suelos. Escuela Nacional de Agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México. pp.
32. Palacios, V.O. y E. Aceves, N. 1970. Instructivo para el muestreo, registro e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. 1a. Edición. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados Chapingo, México.
33. Pelczar, M.J. y R.D. Reid. 1966. Microbiología. 1a. Edición McGraw Hill de México, S.A. México. pp. 513-576.
34. Piatkin, K. 1968. Microbiología. 1a. Edición. Ed. MIR, URSS. pp. 133-134.
35. Quintanilla, C.L. 1979. El uso de los fertilizantes nitrogenados por los agricultores del proyecto de riego. Tepehuaje, municipio de Cadereyta Jiménez, N.L. Tesis no publicada. Monterrey, N.L. p. 4.
36. Reyes, C.P. 1972. Notas para el curso de Cereales y Leguminosas, teoría y laboratorio. ITESM, División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Monterrey, N.L. p. 3.
37. Robinson, T.J.; D.L. Jackson y otros. 1971. Fundamentals of modern agriculture. 1a. Edition. Ed. Aedos, Barcelona, España. p. 107.
38. Robinson, D.H. 1961. Leguminosas forrajeras. 1a. Edición. Ed. Acribia. España. pp. 14-15.

39. Robles, S.R. 1982. Producción de granos y forrajes. 3a. Edición. Ed. LIMUSA, México p. 554.
40. Rodríguez, S.F. 1982. Fertilizantes nutrición vegetal. 1a. Edición. AGT. Editor, S.A. México p. 53.
41. Saenz, N.P. y J. Pérez, S. 1976. Microbiología general. 1a. Edición. Ed. Alhambra, S.A. España. pp. 306, 307, 352-362.
42. Saumell, H. 1977. Soja. Información técnica para su mejor conocimiento y cultivo. 2a. Edición. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 84-85, 66
43. Sánchez, M.A. 1964. Microbiología Agrícola. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo México . pp. 128-132.
44. Scott, G.D. 1976. Simbiosis vegetal. Ed. Omega. Barcelona, España. pp. 12-15, 44-46.
45. Schlegel, H.G. 1979. Microbiología general. 2a. Edición Ed. Omega. España. pp. 249-251, 307.
46. Thompson, L.M. 1956. El suelo y su fertilidad. 3a. Edición Ed. Reverte, S.A. México pp. 75-89, 190-198.
47. Tisdale, S.L. y W.L. Nelson. 1982. Fertilidad de suelos y fertilizantes. 1a. Edición. Ed. UTEHA, S.A. México. pp. 138-200.
48. Villee, C.A. 1974. Biología. 6a. Edición. Ed. Interamericana, S.A. México p. 764.
49. Vincent, J.M. 1975. Manual práctico de Rhizobiología. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp. 172-174.
50. Whyte, R.O. y H.C. Trumble. 1868. Las leguminosas en la agricultura. 2a. Edición. FAO: Estudios Agropecuarios. Yugoslavia. pp. 193-209.

51. Wilkinson, J.F. 1976. Introducción a la microbiología. 1a. Edición. Ed. Blume. Madrid, España. pp. 128-129.
52. Yúfera, E.P. y J.M. Carrasco, D. 1973. Química Agrícola. I suelos y fertilizantes. 1a. Edición. Ed. Alhambra, S.A. España. pp. 132-133, 281-282.
53. Yukio, K. y S. Nishimura. 1980. The influence of rate and form of mineral nitrogen on seedling growth symbiotic nitrogen fixation and mineral nitrogen assimilation in *desmodium intortum* cultivar greenleaf. Biological Abstracts. Okinawa. pp. 290-296.

03117

