

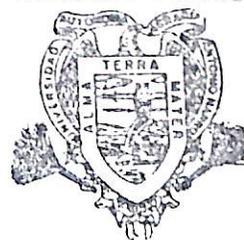
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE ALFALFA
(Medicago sativa L.) BAJO DIFERENTES NIVELES
DE FERTILIZACION Y DENSIDADES DE SIEMBRA

MOISES BEJAR HINOJOSA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN TECNOLOGIA DE SEMILLAS

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

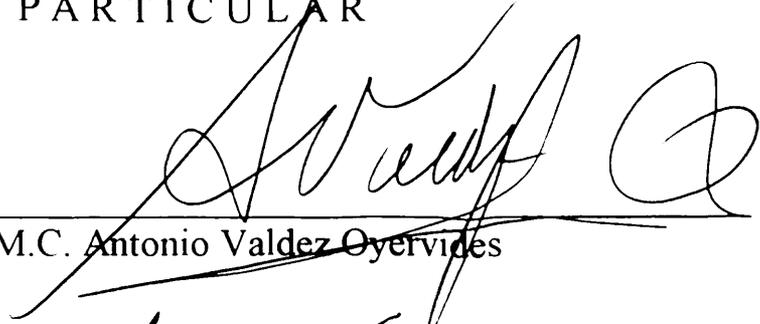
OCTUBRE DE 1997

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

COMITE PARTICULAR

Asesor principal:



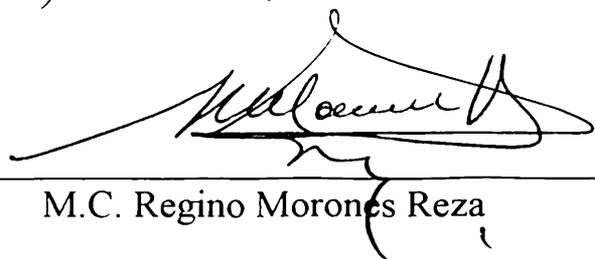
M.C. Antonio Valdez Oyervides

Asesor:



M.C. Rommel de la Garza Garza

Asesor:



M.C. Regino Morones Reza



Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre de 1997.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria por las facilidades y el apoyo para la realización de mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante la maestría.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” y al Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas por haberme brindado la valiosa oportunidad de superarme profesionalmente.

Al M.C. Antonio Valdez Oyervides por su acertada dirección y apoyo constante en la investigación.

Al M.C. Rommel de la Garza Garza por sus valiosas aportaciones y sugerencias durante la investigación.

Al M.C. Regino Morones Reza por su gran apoyo en los aspectos estadísticos de la investigación.

A la M.Sc. Leticia A. Bustamante García por sus sugerencias y apoyo en los análisis de calidad.

Al M.V.Z. José Antonio Gallardo Maltos por su disposición y colaboración en el manejo de las colmenas.

Al M.S. Francisco Mendoza Salcido por su confianza y apoyo brindado.

Al Ing. Hector Domínguez Caraveo por su amistad y apoyo durante la realización de mis estudios de maestría.

A todos los maestros del CCDTS, quienes lograron infundir en mi el deseo constante de superación.

A la TLQ Sandra Luz García Valdez y QFB Alejandra Torres Tapia por su valiosa colaboración en los ensayos de laboratorio.

A mis compañeros Adalberto, Juan Manuel, Miguel Angel, Juan José y Salvador por su gran amistad. Así como a todos mis compañeros de maestría con quienes tuve una agradable convivencia.

A la Familia Cisneros Martínez por su gran amistad y apoyo durante mi estancia en Saltillo.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron para que mi estancia en esta Universidad fuera agradable.

DEDICATORIA

A DIOS:

Por estar presente en todo momento y hacer sentir en mí esa gran fuerza interior que me impulsa cada día a seguir adelante.

A mis padres María y Marcelino:

Con gran respeto y admiración por su incansable labor al ser pilares inquebrantables de la gran familia Béjar Hinojosa.

A mis hermanos:

Manuel, Adelaida, Marcelino, José, Mario, Teresa, Rafael, Cecilia, Guadalupe, José Jesus, Oscar y Francisco Javier, por la gran amistad y armonía familiar que nos une.

A todas aquellas personas que han depositado en mí su amistad y confianza.

COMPENDIO

Rendimiento y Calidad de Semilla de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo
Diferentes Niveles de Fertilización y Densidades de Siembra.

POR

MOISÉS BÉJAR HINOJOSA

MAESTRÍA

TECNOLOGÍA DE SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, OCTUBRE DE 1997.

- Asesor- M.C. Antonio Valdez Oyervides

Palabras clave: Alfalfa, rendimiento y sus componentes, calidad de semilla, densidad de siembra, fósforo, potasio

Se realizó una investigación con la finalidad de determinar el efecto de la densidad de siembra y la fertilización fosfatada y potásica sobre el rendimiento y la calidad de semilla de alfalfa, así como también evaluar el comportamiento de los principales componentes de rendimiento en la variedad INIA-76.

Para el factor densidad de siembra se manejaron los niveles 1, 3, 5 y 7 kilogramos de semilla/ha; para el fósforo 0, 90, 180 y 270 kg de P₂O₅/ha y para potasio 0, 30, 60 y 90 kg de K₂O/ha. Los tratamientos fueron seleccionados con base a un diseño Matriz Plan Puebla I para tres factores, obteniéndose 14 combinaciones, más un testigo absoluto. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con seis repeticiones.

Se evaluaron diez componentes de rendimiento, cuatro variables de calidad física y seis variables de calidad fisiológica de la semilla. El tratamiento 1-90-30 presentó las medias más altas para todos los componentes de rendimiento y produjo la mayor cantidad de semilla (405 kg/ha) en una sola cosecha.

Los componentes que mostraron una correlación significativa con el rendimiento fueron: tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta y semillas por planta; siendo el número de tallos con racimos por planta, el que presentó el mayor efecto directo sobre el rendimiento.

La mejor calidad física de la semilla, evaluada mediante el peso de mil semillas fue obtenida por los tratamientos 3-90-30, 3-90-60 y 3-180-30 con medias de 2.11, 2.12 y 2.15 g, respectivamente. En cuanto a la calidad fisiológica de la semilla, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales en su capacidad de germinación; pero en cuanto al vigor, evaluado mediante el primer

conteo y clasificación de plántulas, los tratamientos 3-90-60, 3-180-30, 3-180-60, 5-90-60 y 1-90-30 resultaron ser superiores a los demás.

Los coeficientes de correlación mostraron que no existe correlación significativa ($P < 0.05$) entre el rendimiento y la calidad física y fisiológica de la semilla. La densidad de siembra fue el factor que afectó más significativamente tanto a los componentes como al rendimiento, mientras que el fósforo y el potasio afectaron principalmente la calidad de la semilla.

En el análisis de rentabilidad económica el tratamiento 1-90-30 resultó ser el mejor.

ABSTRACT

Yield and Quality of Alfalfa Seed (*Medicago sativa* L.) under Different Levels of Fertilization and Seeding Rates

BY:

MOISÉS BÉJAR HINOJOSA

MASTER OF SCIENCE

SEED TECHNOLOGY

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. OCTOBER, 1997.

M.C. Antonio Valdez Oyervides - Advisor -

key words: Alfalfa, yield and its components, seed quality, seeding rate, phosphorus, potassium.

A research work was carried out in order to determine the effects of the seeding rate, phosphorus and potassium fertilizers on yield and quality of alfalfa seed, as well as to evaluate their effect on yield components on cv. INIA-76.

Seeding rate was assessed at four levels (1, 3, 5 and 7 kg/ha); and phosphorus and potassium were at 0, 90, 180 and 270 kg P₂O₅/ha and 0, 30, 60 and 90 kg K₂O/ha respectively. Treatments were selected using a Matriz Plan Puebla I design for three factors, obtaining fourteen combinations; in addition a control was included. A random block experimental design with six replications was used. Ten yield components were evaluated; four variables of physical quality and six of physiological seed quality.

The treatment 1-90-30 showed the highest values in all the yield components and as a result had the highest seed yield (405 kg/ha) in a single harvest. The components that showed a significant correlation with the yield were: stems with racemes per plant, racemes per plant, pods per plant and seeds per plant; and the variable stems with racemes per plant had the highest direct effect on the yield.

The treatments 3-90-30, 3-90-60 and 3-180-30 resulted in the highest physical seed quality values (2.11, 2.12 and 2.15 g, respectively) for the 1000-seed weight test. In relation to physiological seed quality there were no significant differences for the treatments on germination capacity; nevertheless the treatments 3-90-60, 3-180-30, 3-180-60, 5-90-60 and 1-90-30 showed the highest values on the vigor test.

There was no significant correlation between seed yield and the physical and physiological seed quality. Seeding rate affected more significantly the yield components and the seed yield; and phosphorus and potassium affected mainly the seed quality. The highest economic rate was obtained with the treatment 1-90-30.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
Origen e Historia de la Alfalfa.....	6
Distribución Mundial.....	7
Descripción Botánica.....	9
Ambientes para la Producción de Semilla.....	11
Zonas Adecuadas para Producción de Semilla de Alfalfa.....	14
Prácticas Agronómicas para Producción de Semilla de Alfalfa.....	15
Componentes de Rendimiento.....	31
Calidad de Semillas.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
Ubicación del Sitio Experimental.....	37
Material en Estudio.....	38
Descripción de tratamientos.....	38

	Página
Descripción del Experimento.....	41
Preparación del terreno.....	41
Siembra.....	41
Fertilización.....	41
Riegos.....	42
Control de malezas.....	43
Control de plagas y enfermedades.....	43
Control de la polinización.....	44
Cosecha.....	44
Variables Agronómicas Evaluadas.....	45
Altura de Planta.....	46
Número de Tallos por Planta.....	46
Número de Tallos con Racimos por Planta.....	46
Número de Racimos por Tallo.....	46
Número de Racimos por Planta.....	47
Número de Vainas por Racimo.....	47
Número de Vainas por Planta.....	47
Número de Semillas por Vaina.....	47
Número de Semillas por Planta.....	48
Diámetro de Corona.....	48
Rendimiento de Semilla Aprovechable.....	48

	Página
VARIABLES DE CALIDAD FÍSICA DE LA SEMILLA.....	49
Peso Volumétrico.....	49
Peso de Mil Semillas.....	50
Color de Semilla.....	50
Semilla Manchada.....	50
VARIABLES DE CALIDAD FISIOLÓGICA DE LA SEMILLA.....	51
Capacidad de Germinación.....	51
Semilla Dura.....	52
Plántulas Normales Fuertes.....	52
Germinación Potencial.....	52
Peso Seco.....	53
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	53
Variables Agronómicas.....	53
Variables Físicas y Fisiológicas.....	54
TRANSFORMACIONES.....	56
CORRELACIONES.....	56
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	57
RESULTADOS.....	58
Variables Agronómicas.....	58
Análisis Económico.....	82

	Página
Variables de Calidad Física.....	84
Variables de Calidad Fisiológica.....	97
Correlaciones.....	105
DISCUSIÓN.....	111
CONCLUSIONES.....	144
RESUMEN.....	147
LITERATURA CITADA.....	152
APÉNDICE.....	161

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1.	Superficies mundiales dedicadas al cultivo de alfalfa	8
3.1.	Tratamientos evaluados para producción de semilla de alfalfa. UAAAN.1996.....	39
4.1.	Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de las variables agronómicas evaluadas en producción de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	59
4.2	Medias de tratamientos para las variables agronómicas evaluadas en la producción de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	60
4.3.	Análisis para la variable altura de planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	62
4.4.	Análisis para la variable tallos por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	65
4.5.	Análisis para la variable tallos con racimos por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	66
4.6.	Análisis para la variable racimos por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	69
4.7.	Análisis para la variable vainas por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	71

Cuadro		Página
4.8.	Análisis para la variable semillas por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	72
4.9.	Análisis para la variable diámetro de corona de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	75
4.10.	Análisis para la variable rendimiento de semilla de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	77
4.11.	Análisis de varianza con descomposición del efecto de tratamientos mediante contrastes para la variable rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	81
4.12.	Análisis económico para la variable rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	83
4.13.	Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de las variables de calidad física evaluadas en semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	85
4.14.	Medias de tratamientos de las variables de calidad física y fisiológica evaluadas en producción de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	86
4.15.	Análisis de la variable peso volumétrico de semilla de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	87
4.16.	Análisis de la variable peso de mil semillas en alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	89
4.17.	Análisis de la variable semilla amarilla de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	92

Cuadro	Página
4.18. Análisis de la variable semilla café en alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	93
4.19. Análisis de la variable semilla manchada en alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	95
4.20. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de las variables de calidad fisiológica evaluadas en semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	98
4.21. Análisis de la variable capacidad de germinación al primer conteo de semilla de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	99
4.22. Análisis de la variable semilla dura en alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	102
4.23. Análisis de la variable plántulas normales fuertes en alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.....	103
4.24. Matriz de correlaciones de las variables agronómicas evaluadas en producción de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	106
4.25. Coeficientes de sendero directos e indirectos de los principales componentes de rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	108
4.26. Matriz de correlaciones de las variables físicas y fisiológicas evaluadas en producción de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
3.1.	Representación espacial de los tratamientos de la Matriz Plan Puebla I para tres factores de la producción.....	40
4.1.	Representación gráfica del efecto de los tratamientos sobre la variable altura de planta en alfalfa. UAAAN. 1996.....	63
4.2.	Comportamiento de la variable tallos por planta en los tratamientos evaluados en alfalfa. UAAAN. 1996.....	63
4.3.	Efecto de los tratamientos sobre la variable tallos con racimos por planta de alfalfa. UAAAN. 1996.....	67
4.4.	Respuesta de la variable racimos por planta de alfalfa a los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.....	67
4.5.	Comportamiento de la variable vainas por planta de alfalfa en los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.....	73
4.6.	Respuesta de la variable semillas por planta en alfalfa a los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.....	73
4.7.	Influencia de los tratamientos sobre la variable diámetro de corona de la alfalfa. UAAAN. 1996.....	78
4.8.	Comportamiento del rendimiento de semilla de alfalfa por efecto de los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.....	78

Figura		Página
4.9.	Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	79
4.10.	Respuesta de la variable peso volumétrico de semilla de alfalfa a los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.....	90
4.11.	Representación gráfica del efecto de los tratamientos estudiados sobre el peso de mil semillas de alfalfa. UAAAN. 1996.....	90
4.12.	Efecto de los tratamientos sobre el color de la semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.....	96
4.13.	Comportamiento de la variable semilla manchada en los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.....	96
4.14.	Efecto de los tratamientos estudiados sobre la variable capacidad de germinación de semilla de alfalfa en primer conteo. UAAAN. 1996.....	100
4.15.	Respuesta de la variable semilla dura en alfalfa a los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.....	100
4.16.	Comportamiento de la variable plántulas normales fuertes en alfalfa por efecto de los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.....	104

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) constituye el forraje más utilizado en la actividad ganadera del país, tanto por los grandes volúmenes que aporta, así como por la excelente calidad nutritiva del mismo (Castro, 1992).

La alfalfa se encuentra distribuida en las áreas templadas, áridas y semiáridas del país, bajo condiciones de riego. La superficie sembrada se ha venido incrementando considerablemente en los últimos años, y así se tiene que en el año de 1981 había establecidas 260 mil hectáreas y para el año de 1995, dicha cantidad se incrementó a 285 mil hectáreas.

La producción anual de forraje verde de esta leguminosa en el país, es de aproximadamente 15.6 millones de toneladas, con un rendimiento medio anual de 58 ton/ha; pero a pesar de tales rendimientos y del incremento en la superficie sembrada, no se ha podido compensar el déficit que se tiene en cuanto a producción.

Son varios los factores que influyen para que el rendimiento por unidad de superficie, se mantenga por debajo del nivel requerido, siendo uno de los principales, la falta de variedades adaptadas a las diferentes condiciones ecológicas del país, además de la falta de semilla de alta calidad y por supuesto aspectos fitosanitarios y agronómicos.

En lo que respecta a la producción de semilla certificada, para la sustitución de alfalfares improductivos o establecimiento de nuevas áreas, es importante mencionar que ha sido totalmente deficiente en relación a los requerimientos, los cuales se ubican aproximadamente en 9 975 ton/año, con un valor estimado de 300 millones de pesos y considerando que más del 90 por ciento de la semilla se importa de Estados Unidos, esto trae como consecuencia una importante fuga de divisas para el país.

Cabe mencionar que en nuestro país se tienen áreas plenamente identificadas que reúnen las mejores condiciones para producción de semilla de alfalfa (clima cálido seco con prolongados períodos de sol durante la floración y cosecha y suficiente agua de riego), donde se han obtenido rendimientos de hasta 900 kg/ha, los cuales son muy superiores a los que comúnmente se obtienen en lugares que producen semilla a nivel comercial, como es el caso del estado de California en los Estados Unidos, donde los más altos rendimientos fluctúan entre los 250 y 400 kg/ha. A pesar de todo esto, en nuestro país no se ha explotado

cabalmente este recurso ambiental, debido en parte a que no se han establecido programas de investigación continua e integral, que permitan conformar el paquete tecnológico de producción que se adapte a nuestras necesidades y facilidades de producción.

Por otro lado, se carece de la infraestructura necesaria para la cosecha y beneficio de la semilla, así como la no existencia de líneas crediticias de apoyo, para emprender un programa de producción de semilla a nivel comercial. De ahí la importancia de realizar nuevos trabajos de investigación, que contribuyan a determinar la factibilidad técnica y económica, para producir semilla tanto a nivel regional como nacional, con el fin de evitar al máximo la fuga de divisas que se presenta al importar semilla a precios cada vez más elevados y con el subsecuente problema de que los materiales importados no responden tan favorablemente bajo nuestras condiciones ecológicas, debido a que fueron generados para resolver una problemática muy particular de otros lugares.

El noreste de México y específicamente el sur de Coahuila, está considerado como una de las regiones con potencial para producción de semilla de alfalfa, debido a que las condiciones climáticas prevalecientes durante el año, hacen factible en un momento dado, la obtención de hasta dos cosechas de semilla en ese período. Bajo este orden de ideas y considerando que la densidad de siembra y la fertilización, son dos de los factores controlables de la producción

más importantes para la obtención de altos rendimientos de semilla, se consideró necesario realizar el presente trabajo de investigación, en el cual se contempla el manejo de dichos factores, planteándose los siguientes:

Objetivos

- a) Determinar la mejor combinación de densidad de siembra y fertilización fosfatada y potásica, que incida sobre un mayor rendimiento y mejor calidad de la semilla de alfalfa.
- b) Determinar el efecto de la densidad de siembra y la fertilización sobre los componentes de rendimiento de la semilla de alfalfa
- c) Evaluar desde el punto de vista económico, qué tratamientos muestran la mejor tasa de retorno a capital variable.

Hipótesis

- a) Bajo las condiciones del Sur del Estado de Coahuila, la densidad de siembra y la fertilización fosfatada y potásica, influyen sobre el rendimiento y la calidad de la semilla de alfalfa.

b) La densidad de siembra y la fertilización afectan significativamente la expresión de los principales componentes de rendimiento de semilla.

c) Los tratamientos evaluados muestran diferentes tasas de retorno a capital variable.

REVISION DE LITERATURA

Origen e historia de la alfalfa

La alfalfa es una planta proveniente del Cercano Oriente y Centro de Asia. Existe un consenso general de que *Medicago sativa* se originó en el “Cercano Oriente Central”, según la clasificación de Vavilov, zona integrada por Asia Menor, Transcaucasia, Irán y la región montañosa de Turkmenistán (Bolton, 1962 y Del Pozo, 1983).

Varios autores opinan que la alfalfa fue llevada a Grecia por los persas en el años 490 A. de C. y que fue usada por los romanos en su conquista a Grecia como alimento para sus caballos y llevada a Italia en el año 146 A. de C.

Esta especie fue cultivada en el viejo Mundo por más de 20 siglos. Los griegos la llamaron “Medike” y los romanos “hierba médica”, debido a su origen meda o persa; en Europa se conoció como Luzerne, por cultivarse con éxito en Lucerna, al norte de Italia (Ahlgren, 1949). Los árabes la llamaron Alfalfacah que significa el mejor forraje. De Italia se extendió a otros países europeos incluso

España. Los conquistadores hispanos se encargaron de traerla a América, siendo México, Perú y Chile, los países donde primero se cultivó. Después, en 1854 fue llevada a Norteamérica, a los estados de California, Nuevo México y Arizona (Walton, 1962).

Distribución Mundial

El cultivo de la alfalfa está principalmente distribuido en las regiones templadas de todo el mundo; EUA, la antigua URSS y Argentina cuentan aproximadamente con el 70 por ciento de los 33' 140, 000 ha del total mundial estimado; en tanto que Francia, Italia, Canadá y Australia en conjunto suman el 20 por ciento (Bolton *et al.*, 1972 y Del Pozo, 1983)

Si tomamos en cuenta que aproximadamente cada cuatro años se renueva toda esta superficie sembrada con alfalfa, y considerando una densidad de siembra de 36 kg/ha, esto nos da un total de 1' 193, 040 toneladas de semilla, para lo cual se requieren sembrar 3' 976, 800 ha, con un rendimiento promedio de 300 kg/ha.

Ahora si se considera, que para producir semilla de alfalfa de alta calidad, se requiere pasar por un proceso muy minucioso, tanto en campo como en

beneficio, ésto repercute en altos costos de producción y como tal en un alto precio de venta; es por ésto que resulta apremiante que cada país pueda producir su propia semilla y evite al máximo importarla a precios cada vez más elevados, ocasionando una fuerte fuga de divisas.

Cuadro 2.1. Superficies mundiales dedicadas al cultivo de alfalfa.

Continente y país	Hectáreas
Europa: Francia	1' 437, 000
Italia	1' 997, 000
Rusia europea	3' 375, 000
Resto	2' 554, 000
Subtotal	9' 363, 000
América del Norte: Canadá	1' 989, 000
EUA	10' 993, 000
México	285, 000
Total	13' 267, 000
América del Sur: Argentina	7' 500, 000
Resto	300, 000
Total	7' 800, 000
Asia: URSS (Siberia)	1' 125, 000
Resto	198, 000
Total	1' 323, 000
Africa: Sudáfrica	172, 000
Rodesia	2, 000
Total	174, 000
Oceania: Australia	1' 133, 000
Nueva Zelanda	80, 000
Total	1' 213, 000
TOTAL MUNDIAL	33' 140, 000

Descripción botánica

La alfalfa pertenece a la familia fabaceae, subfamilia papilionidae, tribu trifoliácea, género *Medicago* y especie *sativa*. Es una planta herbácea perenne, su promedio de vida varía de cinco a siete años, dependiendo de la variedad, clima, agua y suelo ((Ruiz, 1964 y Robbins, 1967).

a) Raíz: La raíz de la alfalfa penetra más que la de ninguna otra herbácea cultivada. Las plantas nuevas desarrollan una raíz principal pivotante que penetra rápidamente, llegando a profundidades de 1.5 a 2.0 m durante su primera estación de crecimiento. Se ha estimado que una sola planta de un año, ocupa un volumen de suelo de 90 cm de diámetro y 2 m de profundidad (Hughes y Henson, 1957).

b) Tallo: La alfalfa tiene tallos herbáceos, delgados, erectos y muy ramificados, de 60 a 90 cm de altura. Puede haber de cinco a 25 ó más tallos por planta, que nacen de una corona semileñosa, de la que brotan nuevos tallos cuando los viejos maduran o se acortan (Wheler, 1950).

c) Hojas: Las hojas son trifoliadas, de filotaxia alterna, los folíolos son lineares, oblongos y ovalado-oblongos, dentados hacia los ápices con escasas estípulas en forma de leznas adheridas al peciolo (Hughes y Henson, 1957).

d) Flores: Las flores son libres y pequeñas, localizadas en densos racimos axilares. Usualmente son moradas, pero algunas veces amarillas según la variedad. La flor de una leguminosa típica tiene un pétalo estandarte, dos pétalos ala y dos pétalos quilla, éstos últimos que están unidos parcialmente, encierran al pistilo y a los estambres; por lo general existen 10 estambres, nueve de los cuales están soldados en sus filamentos, formando un tubo que envuelve al pistilo y ovario. Los cinco pétalos se unen parcialmente para formar una corola de forma tubular. En la base de la corola hay secreción de néctar (Ramírez, 1970 y Del Pozo, 1983).

e) Fruto: El fruto maduro es una vaina curvada de color café con tres o cinco espirales, ligeramente pubescente. Cada vaina lleva varias semillas en forma arriñonada (Del Pozo, 1983).

f) Semillas: Las semillas son ovaladas o de aspecto arriñonado, con una cicatriz en una depresión ancha cerca de un extremo en las semillas ovaladas o en una incisión bien definida. Su color es amarillo verdoso o café claro, dependiendo de la variedad y del estado de madurez (Bolton, 1962).

En relación a la citotaxonomía del género *Medicago*, Lesins y Gillies (1972), mencionan la existencia de 100 especies, siendo muy confusa la diferenciación de cada una de ellas, por el hecho de estar emparentadas entre sí.

Dichos autores afirman que sólo existen tres especies que se consideran importantes, dentro de las cuales se encuentran la mayoría de las formas perennes que se cultivan para forraje. Estas especies son *sativa*, *falcata* y *glutinosa*; de estas tres especies, *sativa* y *glutinosa* se presentan como tetraploides, con número cromosómico $2n = 32$ y *falcata* como diploide y tetraploide con $2n = 16$ y 32 respectivamente.

Ambientes para la producción de semilla

El cultivo de la alfalfa se adapta a diversos tipos de climas y suelos, aunque se desarrolla mejor en aquellas regiones con clima templado, que coinciden con los ambientes naturales de acuerdo a los centros de origen, que son en los que se obtienen los mejores rendimientos de forraje. Sin embargo para producción de semilla, se requieren otras condiciones ambientales hasta cierto punto diferentes (Castro, 1982).

Condiciones generales

Cualquier especie que pretenda cultivarse con el fin de producir semilla, debe adaptarse perfectamente a las condiciones climáticas que prevalezcan en la región, en virtud de que tanto el crecimiento vegetativo como la fructificación de

las plantas, no depende solo de los factores genéticos, si no también de la interacción que se establezca con los factores del medio ambiente, tales como temperatura del ambiente, luz, humedad del aire, condiciones del suelo, velocidad del viento e insectos polinizadores (Robles, 1983 y Petrovich y Prokofeva, 1996).

Para poder obtener altos rendimientos de semilla, se requiere de un clima seco, con períodos prolongados de sol durante la floración, fructificación y cosecha, así como también que las temperaturas y las lluvias sean moderadas, particularmente durante la época de cosecha. El hecho de no contemplar todos estos factores tan importantes, pueden ser una limitante para obtener una producción satisfactoria de semilla, tanto en cantidad como en calidad.

Temperatura y luminosidad

La temperatura y la luminosidad, constituyen dos de los principales factores climáticos para la mayoría de los cultivos que se destinan a la producción de semillas. La temperatura ejerce sus efectos principalmente sobre la formación de flores, vainas y semillas; el intervalo más favorable para la producción de semilla de alfalfa varía de 21 a 38 °C (Barnes *et al.*, 1972 y Narváez, 1996).

Con respecto a la luminosidad, se ha comprobado que las diferentes especies de plantas, responden de muy diferente modo a una determinada duración del día. La alfalfa para florecer y fructificar normalmente después de la etapa vegetativa, necesita una luminosidad solar que varía entre 12 y 13 horas diarias, razón por la cual se le ha ubicado dentro del grupo de las especies de fotoperíodo largo (Robles, 1983).

Lluvias y vientos

La lluvia y el viento juegan un papel muy importante en la producción de semillas; regiones con precipitación pluvial relativamente baja y con ausencia de vientos fuertes, son las que generalmente producen los mejores rendimientos de semilla. Las regiones con precipitaciones anuales inferiores a los 400 mm, al parecer son las más adecuadas para la producción de semilla. Deben evitarse las zonas donde caen granizadas o soplan vientos fuertes o huracanados (Sánchez y Ramírez, 1963).

Condiciones edáficas

Los suelos bien drenados con bajo contenido de álcalis y sales solubles, de una profundidad de enraizado de 1.20 m ó más, son los apropiados para la

producción de semilla de alfalfa bajo riego. Los suelos preferidos son los profundos con buena fertilidad, arcillosos o arcillo-arenosos de gran capacidad de retención de humedad y no los arenosos. Es conveniente que la textura del suelo sea uniforme, para facilitar el riego y lograr que las plantas maduren en forma homogénea. Se deben evitar los suelos pedregosos o con horizontes arcillosos subsuperficiales o capas duras (Pedersen *et al.*, 1972).

Zonas Adecuadas para Producción de Semilla de Alfalfa

Considerando los reportes que existen de varios autores, el cultivo de alfalfa para producción de semilla requiere de un clima cálido seco, en el que se disponga de suficiente agua de riego. En México las regiones que reúnen tales condiciones ambientales se localizan principalmente en los distritos de riego del norte como son: Valle del Yaqui, Mexicali, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León; y en el Valle de Apatzingán en la región centro del país (Galván y Aburto, 1979 y Castro, 1992).

En estas áreas las condiciones climáticas indicadas como favorables, prevalecen durante la mayor parte del año, lo cual permite obtener por lo menos dos cosechas de semilla anuales.

Los rendimientos de semilla de alfalfa en México, varían considerablemente de acuerdo con la región. Debido a sus condiciones climáticas favorables, algunas tienen mayor potencial para producir semilla que otras. Por ejemplo en el Valle de Mexicali la producción media de dos cortes es de 900 kg/ha, en La Laguna los rendimientos varían de 300 a 800 kg/ha en dos o tres cortes (Avalos y Neri, 1981 y Aguirre, 1976). En el Bajío en los municipios de Zacapu y Tanhuato, Mich. y Apaseo, Gto. se han obtenido de 150 a 300 kg/ha en una sola cosecha/año. Estas producciones de semilla son por lo general mayores a las obtenidas en el extranjero; por ejemplo las reportadas en Nuevo México, USA, Ucrania, India y Nueva Zelanda varían de 175 a 300 kg/ha/año (Misra y Rai, 1979 y Askarian *et al.*, 1996).

Prácticas Agronómicas para Producción de Semilla de Alfalfa

Selección y preparación del terreno

En la selección del terreno deben de contemplarse en la medida de lo posible, el mayor número de características favorables de índole climáticas, agronómicas y de comunicación. Estas características consisten fundamentalmente en terrenos planos sin pendiente, profundos y fértiles, con un nivel adecuado de materia orgánica, permeables, franco-areno-arcillosos, con pH

alcalino (7.5 a 8.0), libres de malezas como la correhuela y la cuscuta, y libres de patógenos causantes de enfermedades transmitidas por semillas (Avalos y Neri, 1981 y Bustamante, 1996).

Se debe realizar una adecuada preparación del terreno mediante un subsoleo, barbecho y rastreo cruzado para conformar una adecuada cama de siembra, que favorezca la aplicación del riego y la emergencia de las plántulas (Galván y Aburto, 1979 y Narváez, 1996).

Fertilización

Esta práctica es muy aconsejable, ya que ciertos elementos como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, boro y molibdeno, desempeñan importantes funciones en las plantas destinadas a producir semilla (Sánchez y Ramírez, 1963 y Hofbauer, 1982).

La alfalfa requiere grandes cantidades de nutrimentos, el suelo puede proveer todos o una porción de éstos; análisis de suelo y planta son útiles en la determinación de los niveles de cada uno de ellos (Bolton, 1962 y Bendixen, 1991).

Con respecto a las funciones del fósforo en la planta, Del Pozo (1983) y Rodríguez (1996), mencionan que este elemento promueve un mayor desarrollo radical, incrementa el crecimiento y desarrollo general de la planta, acelera la floración y fructificación y provee mayor resistencia a condiciones adversas. Además este nutrimento se acumula principalmente en tejidos activos, semillas y frutos, siendo muy móvil en la planta pero lento en el suelo.

Por su parte Pedersen *et al.* (1984), reportan que si la alfalfa se deja florear y fructificar, la mayor parte del fósforo de la planta se traslada a las semillas, donde se acumula en forma de fitina.

En lo que respecta al potasio, Rodríguez (1996) y Pedersen *et al.* (1984), reportan que este nutrimento promueve un mayor crecimiento y vigor de la planta, así como un mejor desarrollo de flores, frutos y semillas y en general un aumento de la calidad de los frutos. Además, si no hay una adecuada cantidad de potasio, los cultivos de alfalfa degeneran y rápidamente predominan las malezas y las gramíneas.

Rehinhart (1990), indica que una adecuada fertilización con fósforo es importante en cualquier programa de manejo intensivo de producción de alfalfa ya sea para forraje o semilla; además puntualiza que el potasio es el elemento más importante para producción de esta leguminosa.

Las exigencias en cuanto a fósforo y potasio para producción de semilla suelen ser mayores que en el cultivo normal para producción de forraje (Besnier, 1989).

Stivers y Ohlrogge (1952) y Gross *et al.* (1953), concuerdan en que tanto la aplicación de fósforo como potasio, son necesarios para mantener una adecuada densidad de plantas a lo largo del ciclo productivo de la alfalfa.

Sanderson y Jones (1993), reportan que un adecuado contenido de fósforo y potasio en el suelo al momento de la siembra, es esencial para que se establezcan favorablemente las leguminosas. La cantidad y método de colocación depende de la fertilidad nativa del suelo y la capacidad de fijación de estos nutrimentos.

Ivanov y Lapa (1982), encontraron que la relación óptima de P:K fue de 2:1, para aplicar en alfalfa que creció para producción de semilla en suelos demopodzólicos en Bielorusia. El incremento de las tasas de fósforo aceleró la floración de siete a nueve días.

Aplicaciones de 120 kg de P_2O_5 más 60 kg de K_2O /ha incrementaron el rendimiento de semilla de alfalfa en un 29.5 por ciento (Semenou, 1976).

Por su parte Vazhov (1982), indica que la aplicación de 110 kg de P_2O_5 más 90 kg de K_2O /ha, produjo rendimientos de semilla mayores de 500 kg/ha.

Geller (1978), en ensayos bajo irrigación con alfalfa en un suelo chernozem, encontró que la aplicación de 30 kg/ha de P_2O_5 y K_2O produjo 469 kg/ha de semilla, en comparación con 204 kg sin fertilizante. Además la aplicación de estos nutrimentos incrementó el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina y el peso de mil semillas.

Galván y Aburto (1979), sugieren que para producir semilla de alfalfa hay que aplicar una dosis al momento de la siembra de 40-80-0 y después otras 100 unidades de fósforo, durante el segundo año de producción.

García, M. (1987), en un experimento sobre producción de semilla de alfalfa manejó la dosis de fertilización 54-138-50, obteniendo resultados potenciales que flucturaron entre 445 y 1296 kg/ha.

Ovsyannikov (1976), reporta que en un suelo chernozem la aplicación de N y K, no tuvo efecto sobre el rendimiento de semilla de alfalfa. Por otro lado, al aplicar 120 kg/ha de P_2O_5 y manteniendo un contenido de humedad en el suelo de 80 por ciento hasta la floración y decreciendo después a 65 por ciento, dió como

resultado un rendimiento de semilla de 860 kg/ha. La aplicación de 90 kg de P_2O_5 /ha con un contenido de humedad de 65 por ciento durante todo el período de crecimiento produjo 410 kg de semilla/ha.

En cuanto al efecto de la fertilización sobre la calidad de las semillas, Roberts (1972), menciona que las deficiencias minerales afectan predominantemente el número de semillas producidas y a medida que la deficiencia es severa, se afecta también la composición química de la semilla.

En la mayoría de los casos, las semillas con deficiencias minerales desarrollarán pobremente, al compararse con las semillas normales, a menos que sean plantadas en un suelo que sea nutricionalmente adecuado y provea los elementos esenciales faltantes (Copeland y McDonald, 1985).

Estos mismos autores, comentan que la deficiencia de un elemento nutritivo usualmente produce cambios relacionados en la concentración de otros elementos, por lo que frecuentemente es difícil atribuir cualquier efecto sobre la viabilidad de las semillas y plántulas en crecimiento, a diferencias en las reservas en la semilla de un solo elemento.

Austin (1966), mostró que semillas cosechadas de plantas con deficiencia de fósforo, tuvieron más baja germinación que semillas de plantas no deficientes.

Otros estudios han mostrado que semillas con deficiencias de fósforo, producen plántulas más pequeñas que semillas no deficientes (Copeland y McDonald, 1985).

Harrington (1960), encontró que plantas de *Capsicum frutescens* con deficiencias severas de potasio, dieron una alta proporción de semillas anormales con embrión y cubiertas de color oscuro.

Ozanne y Asher (1965), indican que las cantidades de potasio en semillas maduras, ponen un límite a la extensión con que las plántulas pueden crecer en un medio donde este elemento es limitante.

Siembra

La época del año más adecuada para realizar el establecimiento del cultivo de alfalfa para producción de semilla, es durante el otoño, que comprende los meses de septiembre, octubre y noviembre. Durante este período del año la alfalfa desarrolla mejor, al presentar menor competencia con malezas por efecto de las bajas temperaturas (Avalos y Neri, 1981 y Castro, 1992).

Avalos y Neri (1981), señalan que la cantidad de semilla por unidad de superficie, que debe ser utilizada en un cultivo para producción de semilla de

alfalfa, depende básicamente de tres factores: categoría o clase de semilla que se desea producir, métodos de siembra (surcos o al voleo) y calidad de la semilla.

Con respecto al método de siembra, el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 1980), exige que se realice en surcos, ya que éste tiene la ventaja de poder eliminar las malezas y plantas involuntarias y a la vez realizar adecuadamente las demás labores culturales.

Cuando la siembra se realiza en surcos, la separación debe ser de 60 a 92 cm y depositar la semilla a chorrillo ligero; si los suelos son ligeros, se recomiendan de 1 a 3 kg/ha de semilla viable y de 5 a 7 kg/ha si la textura del suelo es moderadamente arcillosa. En la India se recomienda de 15 a 20 kg de semilla, mientras que en Nuevo México y California de 0.5 a 1.0 kg/ha (Misra y Rai, 1979 y Avalos y Neri, 1981).

Besnier (1989), menciona que las plantas cultivadas en hileras son más abiertas y erectas que las provenientes de siembras al voleo; ésto facilita la penetración de la luz en el follaje, en cuyo interior hay menos humedad relativa, la temperatura del aire del suelo también es mayor, favoreciéndose la secreción de néctar y la actividad de los insectos polinizadores y por consiguiente se incrementa el cuajado de semilla.

Las plantas de alfalfa extremadamente espaciadas aprovechan más eficientemente los elementos como luz, humedad y nutrimentos del suelo entre otros, pues las relaciones de competencia son mínimas, por lo que este método posibilita que las plantas acumulen una mayor cantidad de materia seca, la cual se acumula principalmente en raíces, tallos y hojas de las plantas individuales, incrementándose con ello la capacidad fotosintética y por consiguiente el rendimiento de semilla (García, M. 1987).

Maslinkov *et al.* (1982) y Kowithayakorn (1982), encontraron que con densidades bajas de población se incrementa el ahijamiento, el número de flores y puntos de fructificación por planta, el número de vainas y semillas por vaina y como consecuencia el rendimiento de semilla.

Ivanov *et al.* (1975) y Medvedev (1975), reportan que las poblaciones de alfalfa mayormente espaciadas o arraladas tienden a producir una mayor cantidad de semilla.

Al incrementarse el espacio entre las plantas de alfalfa, se incrementa el diámetro de corona y el número de tallos por planta y como consecuencia la capacidad reproductiva por planta es mayor (Rumbaugh, 1963 y Dobrenz y Massengale, 1966).

Wynn y Palmer (1974) y Pedersen *et al.* (1972), mencionan que se pueden obtener buenos rendimientos de semilla de alfalfa, manejando densidades de siembra de 0.5 a 2.0 kg/ha, sin aparente ventaja de densidades más altas.

Aguirre (1976), reporta que en Mexicali, BCN las densidades de 1 kg/ha de semilla, permitieron obtener rendimientos de hasta 900 kg/ha. En Apatzingán, Mich. se manejó una densidad de 1.5 kg/ha, obteniéndose un rendimiento de 920 kg/ha en dos cortes.

García M. (1987), a nivel experimental manejó una densidad de siembra de 2.187 kg/ha aclareando después a diferentes distancias entre plantas, encontrando que la mejor separación fue la de 30 cm con un rendimiento de 97.12 kg de semilla/ha. Cabe señalar que este rendimiento resultó ser bajo, debido a la influencia de la lluvia durante el período de floración.

Las densidades de población altas en alfalfa, con frecuencia resultan en baja producción de polen, menor atractividad para insectos y un mayor incremento de la abortación de ovarios (Pedersen *et al.*, 1972).

Por su parte Askarian *et al.* (1996), estudiaron el efecto de cuatro espaciamientos entre hileras (15, 30, 45 y 60 cm) y cuatro densidades de siembra (1, 3, 6 y 12 kg/ha) sobre el rendimiento de semilla de alfalfa y sus componentes.

Durante el primer año el rendimiento de semilla del espaciamiento de 15 cm fue inferior a los demás, mientras que la densidad de siembra no mostró efectos significativos. Para el segundo año de evaluación el espaciamiento entre hileras no tuvo efecto sobre el rendimiento de semilla, pero el número de racimos/ metro cuadrado y el peso de mil semillas, se incrementaron significativamente para la tasa de siembra de 1 kg. El rendimiento de semilla fue más alto para la densidad de 1 kg; sin embargo, no hubo interacción significativa entre el espaciamiento entre hileras y las densidades de siembra. El promedio de rendimiento de semilla para todos los tratamientos fue de 127 y 187 kg/ha para el primer y segundo año, respectivamente; tanto la separación entre surcos como la densidad de siembra, no tuvieron efecto sobre la calidad de la semilla. Según Abu-shakra *et al.* (1969), las características de peso de mil semillas, porcentaje de germinación y cantidad de semilla dura, no se ven afectadas por la densidad de población.

Riegos

Los requerimientos de riego para la producción de semilla de alfalfa dependen de la textura y profundidad del suelo, de la precipitación pluvial, la evapotranspiración, la temperatura, la duración de la temporada de crecimiento y las prácticas de cultivo. Los mayores rendimientos de semilla se logran cuando las prácticas de riego impiden el estrés de la planta y promueven un lento y continuo

crecimiento durante todo el período de producción, sin un excesivo estímulo del crecimiento vegetativo (Pedersen *et al.*, 1972 y Castro, 1992).

Galván y Aburto (1979) y Abu-shakra *et al.* (1969), reportan que los riegos deben de espaciarse cada 15 días hasta la floración y después interrumpirlos cuando haya un 10 por ciento de vainas formadas, para evitar un excesivo rebrote y a la vez que durante la cosecha, el suelo y la planta estén secos.

Control de malezas

Las malezas reducen los rendimientos, retrasan la cosecha, aumentan los costos de limpieza y pueden contaminar otros cultivos en la rotación. El control de las malezas en los cultivos para semilla constituye un problema desde el establecimiento hasta la limpieza final de la semilla. No obstante se dispone de métodos culturales y químicos para su control. Si se deja que las malezas maduren y sus semillas se mezclen con las de alfalfa, deberán ser extraídas después en las plantas de beneficio. Ciertas semillas como la cuscuta y la enredadera (*Convolvulus sp*) pueden requerir un repaso con un separador magnético para extraerlas de entre las semillas de alfalfa, lo cual puede causar pérdidas de semilla de aproximadamente un 11 por ciento y además un mayor costo (Pedersen *et al.*, 1972 y Cajic y Stjepanovic, 1996).

Control de plagas y enfermedades

Una de las especies de insectos plaga que causa los mayores daños durante la producción de semilla de alfalfa es la chinche *Ligus elisus*, ya que ataca tanto a las inflorescencias, flores, vainas y semilla tierna; en segundo término se puede mencionar al cálcido de la semilla *Buchophagus gibbus*, al pulgón manchado *Therioaphis maculata* y a la *Diabrotica spp*, los cuales deberán de mantenerse por debajo del umbral económico para evitar reducciones en el rendimiento (Avalos y Neri, 1981).

Dentro de las enfermedades que más comunmente atacan a la alfalfa, se encuentran las causadas por hongos, bacterias y virus, tales como la peca *Pseudopeziza medicaginis* y el mildiú vellosa *Peronospora trifolium*, los cuales pueden combatirse mediante fungicidas o bien utilizando variedades resistentes. La pudrición texana provocada por *Phymatotrichum omnivorum* y pudriciones del cuello de la raíz, son de las enfermedades más dañinas (Galván y Aburto, 1979 y Del Pozo, 1983).

Insectos polinizadores

A pesar de que la alfalfa es un cultivo que posee flores hermafroditas, la autopolinización presenta muchos problemas, sobre todo de autoincompatibilidad

y aborción de embriones: por lo que la polinización cruzada resulta ser una mejor opción, llegándose a presentar hasta en un 90 por ciento de los casos.

Por la característica tan particular de la estructura de las flores de las leguminosas, se requiere de una acción mecánica para que la columna estaminal pueda liberar el polen, por lo que los insectos silvestres o domesticados que recogen polen o néctar, juegan un papel muy importante en la polinización. En la actualidad la abeja doméstica *Apis mellifera*, debido a su hábito de recolección es el más importante polinizador, aunque abejas silvestres como *Nomia melanderi* y *Megachile sp*, desempeñan también una importante labor (Sánchez y Ramírez, 1963; Teuber *et al.*, 1983 y Brookes *et al.*, 1994). Por lo general se recomiendan de siete a ocho colmenas/ha para cultivos con abundante floración (Galván y Aburto, 1979).

Cosecha de semilla

El crecimiento de las leguminosas es por lo general indeterminado, es decir que continúa el crecimiento de las yemas terminales y axilares, al mismo tiempo que están en progreso tanto la floración como la formación de semilla. En consecuencia en la parte baja de la planta hay semilla lista para ser cosechada mientras que en la punta aun se están formando nuevas flores. La decisión de cosechar es siempre arbitraria, ya que al retardar demasiado el corte se pierde

semilla por desgrane y si se corta demasiado temprano se obtendrá una cantidad excesiva de semilla verde y chupada (Pedersen *et al.*, 1984). Otro problema durante la cosecha es el tamaño tan pequeño de la semilla, por lo que todo el proceso deberá realizarse con el equipo adecuado para lograr una alta eficiencia.

Según Sánchez y Ramírez (1963) y Robles (1983), los métodos de cosecha de semilla de alfalfa son de dos tipos: método indirecto y método directo. En el primero la alfalfa se corta cuando aproximadamente $\frac{3}{4}$ partes del total de las vainas están de color café oscuro, realizándose el corte mediante una segadora o un aditamento especial que coloca el material en hileras para que complete su madurez y secamiento adecuado, para posteriormente trillarlo alimentándolo a una combinada. El segundo método consiste en el empleo de una máquina combinada, la cual realiza mediante una sola operación el corte y la trilla al separar las semillas de la vaina y la paja.

Según Valdez (1997), para eficientar el proceso de la trilla, es necesario realizar los siguientes ajustes a la combinada: velocidad de avance lenta no mayor de 0.8 a 1.0 km/hr; la polea del ventilador debe ajustarse a su mínima velocidad para evitar pérdidas de semilla detrás de la máquina; la velocidad del cilindro de trilla deberá ser de aproximadamente 1200 rpm; la distancia entre el cilindro y el cóncavo debe ser de aproximadamente 5 cm con el fin de producir un flujo rápido

del material; los orificios de las zarandas deben tener las aperturas adecuadas para facilitar el paso de las semillas.

Zubal (1996), reporta que la aplicación de ciertos desecantes como el diquat, previo a la cosecha permite homogeneizar y acelerar el secado del follaje para facilitar esta operación.

Varios autores concuerdan en que se obtienen mejores rendimientos de semilla, si se permite que el corte anterior al que se destina para semilla, llegue a su plena floración antes de cosecharlo, ésto con el propósito de que se fortalezcan las raíces y la corona de la planta y se promueva a su vez un mayor ahijamiento.

Justice y Bass (1978), mencionan que después de que la semilla de alfalfa ha sido cosechada y beneficiada, el contenido de humedad de ella durante el almacenamiento es sin lugar a dudas el factor más determinante en su longevidad; siendo importante cosechar la semilla bien madura, con un adecuado contenido de humedad o bien reducir tal contenido, si es almacenada después de la cosecha.

Por su parte Gunn (1972), enfatiza que si bien las semillas de alfalfa se pueden conservar vivas durante mucho tiempo en condiciones naturales, para mantener su más alto vigor y viabilidad durante varios años, se debe tener cuidado en el almacenamiento, ya sea que se trate de lotes comerciales para almacenar uno

o dos años, o de lotes genéticos que se deben conservar durante más tiempo. La máxima longevidad de semilla de alfalfa generalmente se logra almacenándolas en un ambiente con menos del 10 por ciento de humedad y con una temperatura de 0°C o inferior, siendo la baja humedad más importante que la baja temperatura.

Componentes de rendimiento

El estudio de los componentes de rendimiento, ya sea de forraje o semilla, resulta ser muy importante ya que con base en su conocimiento se podrá determinar cual de ellos influye más directamente sobre el rendimiento y por consecuencia poder realizar las prácticas agronómicas que favorezcan su adecuada expresión.

Dovrat *et al.* (1969) y Melton (1972), señalan que los componentes de rendimiento son fuertemente influenciados por el ambiente y pueden variar de un ambiente a otro; no obstante su estudio es fundamental para entender las interacciones y los aspectos biológicos determinantes del rendimiento de semilla.

García, M. (1987), indica que las relaciones que se establecen entre los componentes de rendimiento de semilla son aspectos importantes, si éstos se

analizan desde la perspectiva de su variación con respecto a los diferentes arreglos de plantas en el campo

A su vez Li (1956), reporta que el grado de influencia de una variable sobre otra, puede expresarse en términos cuantitativos y por lo tanto resulta posible calcular una expresión numérica de cada influencia, siendo necesario un adecuado diagrama de relación causal de las variables mediante el manejo de técnicas de regresión y correlación, estandarización de las variables y un conocimiento pleno del procedimiento de análisis de senderos.

Liang y Riedl (1964), encontraron que las características agronómicas que más influyeron en el rendimiento de semilla fueron altura de planta, número de tallos y número de semillas por racimo.

Dovrat *et al.* (1969), reportan que los rendimientos de semilla, número de racimos por tallo y vainas por racimo estuvieron positivamente correlacionadas con el por ciento de carbohidratos en las raíces con $r=0.90$, 0.88 y 0.93 respectivamente. Los resultados experimentales sugieren que las prácticas culturales que tienden a conservar las reservas en la corona y en las raíces durante el período de rebrote, tienden a incrementar el potencial de semilla en alfalfa.

Kowithayakorn (1982), indica que la producción de semilla de alfalfa depende de los rendimientos de semilla por planta más que del número de plantas por unidad de área. Altos espaciamientos promueven mayor cantidad de tallos y flores por planta y por consiguiente altos rendimientos de semilla.

García, M. (1987), encontró que los componentes de rendimiento más estrechamente vinculados a la producción de semilla de alfalfa, fueron el número de tallos con racimos por planta, la distribución de racimos en el tallo y el número de vainas por planta, cuyos efectos combinados en la ecuación de regresión denotaron un $R = 0.981$.

Por su parte Huang *et al.* (1984); Ma (1984) y Jasani *et al.* (1996), reportan que en leguminosas los componentes que están más directamente asociados con el rendimiento de semilla, son la altura de planta, nódulos por planta, vainas y semillas por planta y el peso de mil semillas.

Calidad de Semillas

Para constituir una tecnología productiva, la semilla requiere poseer calidad. Las evidencias empíricas han demostrado que las semillas de buena

calidad permiten obtener buenos resultados en el campo, mientras que las semillas de mala calidad conducen a resultados insatisfactorios y fracasos.

La calidad de cualquier producto en su sentido amplio, es un conjunto de características que el consumidor evalúa para decidir si satisface sus expectativas. En el contexto de las semillas, podríamos decir que esas características se agrupan en cuatro componentes o cualidades básicas que son: **genética**, **sanitaria**, **fisiológica** y **física**, que dan a la semilla su capacidad para dar origen a una planta productiva (Garay, 1989). Cada uno de los componentes tiene la capacidad de limitar la aptitud de la semilla, en su función de dar origen a plantas y campos altamente productivos.

El componente **genético**, se refiere a la fidelidad o autenticidad de una muestra de semillas de una determinada variedad, que después de varias generaciones de incremento, conserva el mismo genotipo con el cual fue liberado por el fitomejorador (Bustamante, 1996).

El componente **sanitario**, se refiere principalmente a la presencia o ausencia de patógenos causantes de enfermedades (Bustamante, 1996).

En cuanto a la calidad **fisiológica**, el resultado tangible de ésta estriba en la facultad de la semilla de germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. Una buena calidad fisiológica, implica integridad de estructuras y procesos fisiológicos que le permitan a las semillas mantenerse no solo vivas, sino con un alto índice de vitalidad (Garay, 1989).

Para evaluar este componente de calidad, existen muchas pruebas que cuantifican su nivel de actividad, tales como: Pruebas de viabilidad (tetrazolio), pruebas de germinación estándar, pruebas de vigor (peso seco, crecimiento de plántulas, prueba fría, envejecimiento acelerado y conductividad eléctrica) (Bustamante, 1996).

El componente **físico**, se refiere al grado de pureza de un lote de semillas, es decir a la presencia o ausencia de otras especies, variedades, malezas y materia inerte; también comprende la integridad física de la semilla (semilla quebrada, tamaño y peso de la semilla). La evaluación de este componente es a través de pruebas de pureza analítica, conteos de semillas extrañas, contenido de humedad, peso de mil semillas y peso volumétrico (Bustamante, 1996 y Garay, 1989).

Cuando el agricultor siembra semilla sin conocer su origen y calidad, está expuesto a pérdidas económicas que pueden ser considerables, tanto por lo que

respecta a sus inversiones de siembra, como en sus expectativas de cosecha. Esto se debe a que no es posible estar seguros sobre la calidad de una semilla, basándose únicamente en su apariencia; por lo que resulta de gran importancia, el poder realizar los ensayos de calidad de semillas, para determinar su nivel real de calidad (SNICS, 1980 y Bustamante, 1996).

Al respecto la International Seed Testing Association (ISTA, 1981), indica que la prueba de germinación se considera insuficiente para predecir la emergencia en el campo y detectar diferencias de calidad (vigor) entre lotes de semillas, trayendo como resultado la necesidad de una prueba adicional de calidad capaz de estimar el potencial de emergencia de plántulas, tanto bajo condiciones adversas como favorables.

Carleton y Cooper (1972), reportan que el método más común de medida del vigor de plántulas en leguminosas, ha sido el peso seco después de un período dado de crecimiento. Otras técnicas tales como la velocidad de germinación, velocidad de elongación, fuerza de emergencia, tasa de expansión de área foliar y tasa relativa de crecimiento, también han sido usadas como medida del vigor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Sitio Experimental

La presente investigación se llevó a cabo en los terrenos experimentales (Bajío), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, cuya ubicación geográfica es 25° 23' de Latitud Norte y 101° 80' de Longitud Oeste, con una altitud de 1785 msnm; el clima es seco templado, con verano cálido, con temperatura media anual de 17.1 °C. El régimen de lluvias es intermedio entre verano e invierno, siendo la precipitación media anual de 345 mm y la evaporación media mensual de 178 mm (Depto. de Agrometeorología, UAAAN).

Los suelos son de textura migajón arcilloso, medianamente ricos en materia orgánica, medianamente pobres en nitrógeno y fósforo aprovechables y medianos en potasio intercambiable, siendo el pH de 8.03 (Cuadro A.1).

La fase de análisis de calidad se realizó en el laboratorio de ensayo de semillas, perteneciente al Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la propia Universidad.

Material en Estudio

Se utilizó semilla de la variedad INIA-76, proveniente de la cosecha de Agosto-95 de un lote ubicado dentro de los terrenos de la Universidad. Esta semilla fue pasada por limpiador neumático para desechar impurezas, semilla vana y chica. Al realizarse la prueba de germinación estándar, se obtuvo un 80 por ciento de plántulas normales y un 18 por ciento de semillas duras.

Descripción de Tratamientos

Los factores en estudio, así como sus respectivos niveles fueron los siguientes:

- a) Densidad de Siembra (DS): 1, 3, 5 y 7 kg/ha
- b) Fósforo (P₂O₅): 0, 90, 180 y 270 kg/ha
- c) Potasio (K₂O): 0, 30, 60 y 90 kg/ha

El diseño experimental utilizado en la fase de campo, fue bloques al azar con seis repeticiones y los tratamientos fueron seleccionados con base a una Matriz Plan Puebla I para tres factores ($2^k + 2k$), propuesta por Turrent y Laird (1980), obteniéndose de esta manera 14 combinaciones, a las cuales se adicionó

un testigo absoluto con la densidad más baja, sin nitrógeno, fósforo y potasio (Cuadro 3.1. y Figura 3.1.).

La parcela total fue de cuatro surcos de cuatro m de largo a una separación de 0.80 m, dando un total de 12.8 m². La parcela experimental correspondió a los dos surcos centrales, eliminando 0.5 m de las orillas, obteniéndose una superficie de 4.8 m². Para la fase de laboratorio se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Cuadro 3.1. Tratamientos evaluados para producción de semilla de alfalfa.
UAAAN. 1996.

No. tratamiento	D S k i l o g r a m o s	P ₂ O ₅ p o r	K ₂ O h e c t á r e a
1	3	90	30
2	3	90	60
3	3	180	30
4	3	180	60
5	5	90	30
6	5	90	60
7	5	180	30
8	5	180	60
9	1	90	30
10	7	180	60
11	3	0	30
12	5	270	60
13	3	90	0
14	5	180	90
15 *	1	0	0

Tratamientos 1 al 8 representan la parte factorial (2^k)

Tratamientos 9 al 14 constituyen las prolongaciones inferiores y superiores (2k)

D S: Densidad de Siembra

* Testigo absoluto

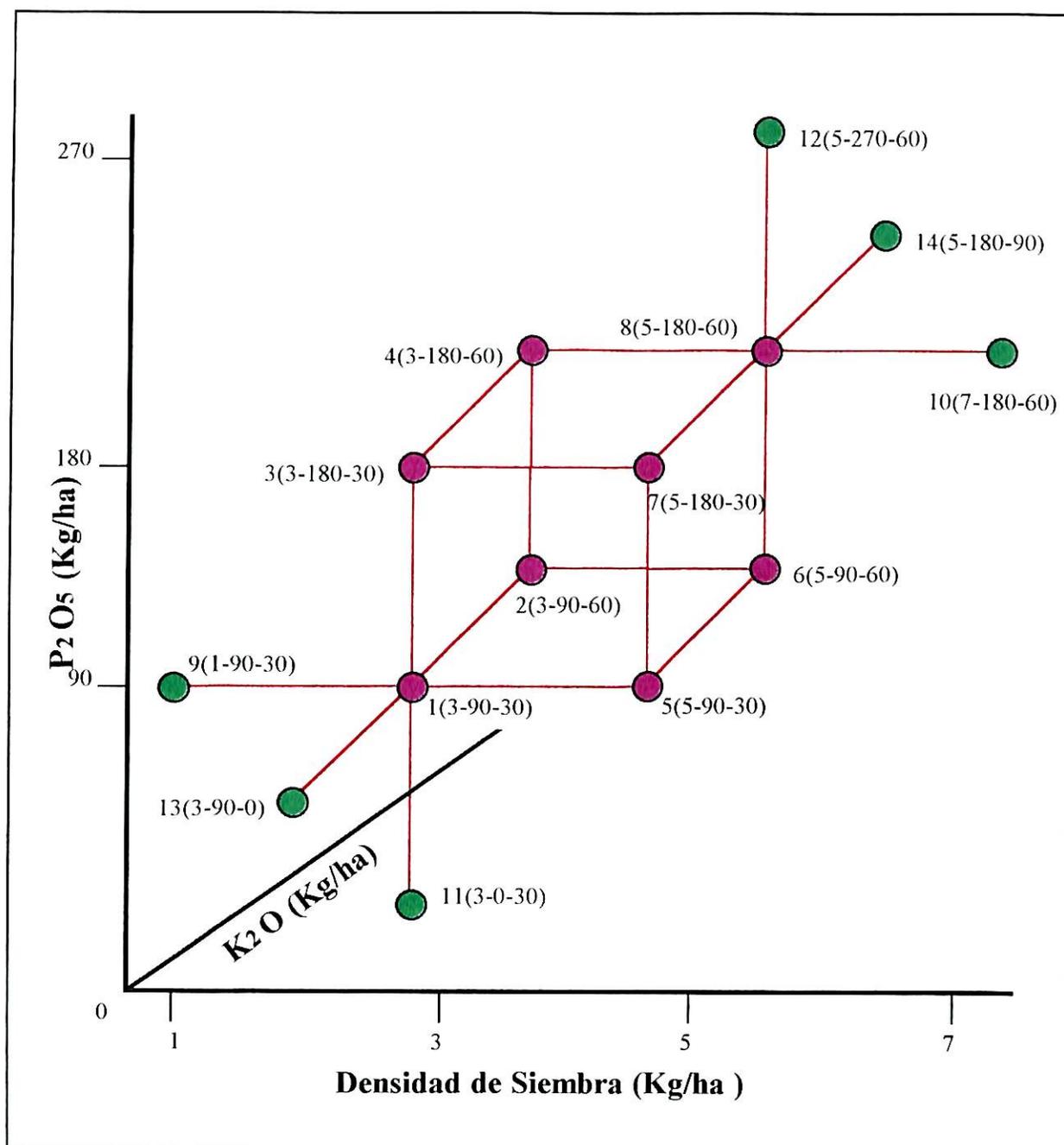


Figura 3.1 Representación espacial de los tratamientos de la Matriz Plan Puebla I para tres factores de la producción.

Descripción del Experimento

Preparación del terreno

Consistió de un barbecho a una profundidad de 30 cm, dos pasos de rastra cruzados para mullir bien los terrones y posteriormente se niveló y se trazaron los surcos a una separación de 0.80 m.

Siembra

Se realizó en seco el día 19 de Noviembre de 1995, a hilera sencilla sobre el lomo del surco, depositándose la semilla a chorrillo a una profundidad aproximada de 0.5 cm.

Fertilización

Previamente se realizó un análisis de suelos para determinar tanto las características físico-químicas como los niveles de los macronutrientes primarios (Cuadro A.1.). La fertilización se realizó al momento de la siembra, depositándose el fertilizante a chorrillo a un costado de la semilla. A todos los tratamientos se les aplicó 40 kg/ha de nitrógeno, siendo la mitad en la siembra y el resto durante el mes de marzo. En cuanto al fósforo se aplicó un tercio de la

dosis en la siembra y los dos tercios restantes durante el mes de marzo. El potasio se aplicó todo en la siembra. Las fuentes utilizadas fueron sulfato de amonio (20.5 por ciento); Fosfato monoamónico (10 - 50 - 0), y Sulpomag-Po (22 por ciento K₂O). También durante el desarrollo del cultivo se realizaron tres aplicaciones de fertilizante foliar Bayfolán a razón de 2 lt/ha.

Riegos

Después de la siembra se aplicaron riegos ligeros por aspersión para promover una rápida germinación y emergencia. Cuando las plántulas hubieron emergido se siguió aplicando el riego de esta manera a intervalos de 10 días. Posteriormente al alcanzar las plantas un tamaño aproximado de 20 cm, los riegos se aplicaron por gravedad a intervalos de 15 días. El último riego se aplicó cuando había aproximadamente un 20 por ciento de vainas formadas. Cabe hacer mención de que durante el cuajado de vainas y maduración de la semilla se tuvieron precipitaciones considerables, lo cual ocasionó que el ciclo de madurez se retardara y a la vez se promovió un fuerte rebrote.

Control de malezas

Desde el momento de la emergencia de las plántulas, se realizaron deshierbes manuales y con azadón; posteriormente cuando el tamaño de las plantas lo permitió, se llevaron a cabo cuatro cultivos y deshierbes en forma mecanizada; todo ésto con el fin de evitar de que las posibles malezas llegaran a florear y fructificar.

Control de plagas y enfermedades

A partir de la emergencia y durante el desarrollo del cultivo, se tuvo principalmente el ataque de *Diabrotica spp*, la cual se controló tanto manualmente como con dos aplicaciones en dosis bajas del insecticida Tamarón. Con respecto a incidencia de enfermedades, no se presentaron daños de consideración, ya que sólo al final de la madurez de la semilla se presentó en baja escala la peca *Pseudopeziza medicaginis*, ésto debido principalmente a la alta humedad atmosférica producto de las lluvias.

En cuanto a la sanidad de la semilla cosechada, no se tuvo problema alguno, ya que no se detectó físicamente ni al momento de las pruebas de germinación la presencia de algún patógeno.

Control de la polinización

Cuando se tuvo aproximadamente un 15 por ciento de floración se colocaron dos colmenas con abejas domésticas *Apis mellifera* con buena población, las que realizaron una buena polinización, la cual se vio reflejada en una considerable formación de vainas.

Cosecha

Con el fin de promover un mayor amacollamiento y engrosamiento de la corona de la planta, durante el mes de abril se realizó un corte de forraje. Posteriormente cuando se tuvo aproximadamente un 75 por ciento de vainas de color café oscuro, se cortaron las plantas de la parcela útil, se colocaron en bolsas y se pusieron a secar, procediéndose luego al trillado y limpiado con el auxilio de una miniclipper.

Cabe señalar que inicialmente se tenía contemplado realizar dos cosechas de semilla, lo cual no fue posible debido a que las plantas se retardaron en su crecimiento por efecto de la alta compactación del terreno, presencia de heladas, daño por liebres e incidencia de lluvias al final del ciclo (Figura A.1).

Variables Agronómicas Evaluadas

Cuando las plantas se encontraban en estado de llenado de vainas, se tomaron cinco plantas al azar con competencia completa dentro de la parcela útil, con el fin de tomar las lecturas y así evaluar el efecto de los tratamientos sobre los componentes de rendimiento, los cuales fueron los siguientes:

- Altura de planta
- Número de tallos por planta
- Número de tallos con racimos por planta
- Número de racimos por tallo
- Número de racimos por planta
- Número de vainas por racimo
- Número de vainas por planta
- Número de semillas por vaina
- Número de semillas por planta
- Diámetro de corona
- Rendimiento de semilla aprovechable en kg/ha

El procedimiento para evaluar cada una de estas variables, se detalla a continuación:

Altura de Planta

Después de que se cortaron las cinco plantas de la parcela útil, se trasladaron al laboratorio y de cada una de ellas se midieron cinco tallos desde el nudo basal hasta el ápice, con éstas mediciones se calculó el promedio por planta.

Numero de Tallos por Planta

En cada una de las cinco plantas cortadas se contó el número de tallos y se obtuvo un promedio general por parcela.

Número de Tallos con Racimos por Planta

Esta variable se evaluó contando el número de tallos que poseían racimos en cada planta y luego se realizó el promedio respectivo por parcela.

Número de Racimos por Tallo

Esta característica se obtuvo contando en forma directa el número de racimos en cinco tallos de cada planta y obteniendo con ellos un promedio por parcela.

Número de Racimos por Planta

Estos datos fueron obtenidos en forma indirecta multiplicando el promedio de tallos con racimos por planta y racimos por tallo de cada parcela.

Número de Vainas por Racimo

De las cinco plantas muestreadas se tomaron al azar 10 racimos y se contó el número de vainas, para luego realizar su promedio respectivo por parcela.

Número de Vainas por Planta

Este componente se obtuvo en forma indirecta al multiplicar el promedio del número de racimos por planta por el de vainas por racimo, para obtener el promedio de vainas por planta por parcela.

Número de Semillas por Vaina

Esta variable se evaluó tomando 10 vainas al azar de las cinco plantas y contando el número de semillas en cada una de ellas, realizándose luego el promedio de semillas por vaina por parcela.

Número de Semillas por Planta

Este promedio se obtuvo de manera indirecta, al multiplicar el número de vainas por planta y el número de semillas por vaina.

Diámetro de Corona

Para cuantificar esta variable, se realizó un corte perpendicular en cada una de las cinco plantas, en el lugar de inserción de los tallos a la planta (nudo basal), para luego con un vernier tomar su diámetro exacto y promediar para obtener el diámetro de corona por parcela en centímetros.

Rendimiento de Semilla Aprovechable

La cosecha de semilla se realizó en forma manual, cortando las plantas de la parcela útil y colocándolas en bolsas para luego desprender las vainas y secarse, realizando después el trillado y limpiado en una máquina miniclipper. En primera instancia se obtuvo el rendimiento en gramos por parcela, el cual se transformó a kilogramos por hectárea y luego al promediarse las seis repeticiones se obtuvo el rendimiento de semilla por tratamiento. Cabe señalar que este rendimiento fue de materia prima, pero para obtenerse realmente la semilla aprovechable, fue necesario homogeneizar y tomar una muestra representativa, de

la cual se tomaron tres repeticiones que fueron pasadas por un limpiador neumático, para separar impurezas, así como la semilla vana y chica.

Variables de Calidad Física de la Semilla

Del total de semilla obtenida en cada tratamiento, producto de sus seis repeticiones, se homogeneizó en homogeneizador tipo Riffle y se separaron tres muestras de 50 g, a partir de las cuales se realizaron las pruebas subsecuentes.

Las variables consideradas para determinar la calidad física de la semilla fueron las siguientes:

Peso Volumétrico (PV)

Se obtuvo mediante un volumen de 60 ml de semilla con tres repeticiones por tratamiento, realizándose después la transformación a kilogramos por hectolitro. Cabe señalar que se tomó como base este volumen, considerando la cantidad de semilla disponible y a la vez previendo la necesidad de realizar las demás pruebas.

Peso de Mil Semillas (PMS)

Esta variable se cuantificó en semilla aprovechable, pesando ocho muestras de 100 semillas dentro de cada una de las tres repeticiones y posteriormente se calculó el promedio y se extrapoló a mil semillas, expresándose en gramos (Moreno, 1984).

Color de Semilla

Esta característica se determinó en semilla aprovechable, tomándose al azar dos submuestras de 100 semillas dentro de cada una de las tres repeticiones, separándose visualmente en dos diferentes colores (amarillo y café), expresándose el resultado en por ciento.

Semilla Manchada

De cada una de las tres muestras de semilla en materia prima utilizadas para peso volumétrico, se tomaron al azar 100 semillas y se contó el número de semillas manchadas para obtenerse el porcentaje por tratamiento.

Variables de Calidad Fisiológica de la Semilla.

Con el propósito de determinar el efecto de los tratamientos sobre la calidad fisiológica de la semilla de alfalfa, se realizaron pruebas de germinación estándar y de vigor, según la metodología propuesta por ISTA (1985). El procedimiento seguido para cada una de las variables fue de la siguiente manera: Primeramente se realizaron pruebas preliminares de germinación, tanto en cajas de petri con papel filtro humedecido, así como entre papel (tacos), ésto con el fin de determinar donde se tenía una mejor expresión del potencial de la semilla y por consiguiente un mejor desarrollo de las plántulas; observándose que en la prueba entre papel se obtenían mejores resultados, sobre todo cuando se colocaban dos toallas abajo y una encima. Presentando además la ventaja de que en una sola prueba se podían evaluar todas las variables y además el tiempo para realizar los conteos se acortó considerablemente, ya que normalmente en cajas de petri se realiza a los cinco y diez días, y de ésta manera se hicieron a los cuatro y seis días.

Capacidad de Germinación

Para cuantificar esta variable se pusieron a germinar tres repeticiones de 100 semillas por tratamiento, colocándolas en dos hileras de 50 semillas por taco a una separación de siete cm entre ellas, introduciendo los tacos en una cámara

germinadora a 25 °C. El primer conteo de plántulas normales se realizó al cuarto día y un segundo conteo en el sexto día. Los resultados se expresaron en por ciento de plántulas normales.

Semilla Dura

Se expresó en por ciento y consistió en cuantificar el número de semillas que no se imbibieron debido a la presencia de latencia, ocasionada por la cubierta dura de la semilla.

Plántulas Normales Fuertes

Para evaluar esta variable, se aprovechó la misma prueba de germinación estándar, realizándose la cuantificación durante el segundo conteo (sexto día), durante el cual se clasificaron las plántulas en normales fuertes, normales débiles, anormales, muertas y latentes.

Germinación Potencial

Se obtuvo en por ciento al sumar la germinación normal y el contenido de semillas duras por tratamiento.

Peso seco (PS)

Para esta variable también se utilizó la misma prueba de germinación estándar, y consistió en sacar las plántulas normales fuertes y débiles del segundo conteo, a las cuales se les quitaron los restos de la testa y se colocaron en cajas de petri durante 24 horas, para luego meterse a la estufa a 80 °C por un tiempo de 24 horas, expresándose los resultados en miligramos por planta.

Análisis Estadístico

Variables Agronómicas

Los datos correspondientes a cada una de las variables agronómicas evaluadas, fueron analizados mediante un diseño experimental de bloques al azar, cuyo modelo estadístico es el siguiente:

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

donde:

Y_{ij} = Respuesta observada

μ = Media con efecto general

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (combinaciones)

β_j = Efecto del j-ésimo bloque (repeticiones)

ε_{ij} = Efecto del error experimental $\approx NI(0, \sigma^2)$

Variables Físicas y Fisiológicas

Los datos correspondientes a estas variables fueron analizados mediante un diseño experimental completamente al azar, considerando el siguiente modelo estadístico:

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

donde:

Y_{ij} = Respuesta observada

μ = Media con efecto general

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (combinaciones)

ε_{ij} = Efecto del error experimental $\approx NI(0, \sigma^2)$

En aquellas variables en las que se presentaron diferencias significativas al 5 y 1 por ciento de probabilidad entre las medias de los tratamientos, se procedió a realizar un segundo análisis con base a la metodología propuesta por Turrent (1985), para el caso de las Matrices Plan Puebla I, utilizándose un Efecto Mínimo Significativo (EMS_{10%}) para la significancia en la parte factorial y una Diferencia

Mínima Significativa (DMS 5%) normal o desglosada, para las demás comparaciones.

Para el caso de la variable rendimiento de semilla se realizó de manera complementaria la descomposición del efecto de tratamientos mediante contrastes, considerándose de interés los siguientes:

<u>Contraste</u>	<u>Significado</u>
T. vs Resto	Testigo comparado contra el Resto
P. Factorial	Parte factorial que incluye los tratamientos 1 al 8 (2^k)
D	Efecto principal de la densidad de siembra
P	Efecto principal del Fósforo
DP	Interacción Densidad x Fósforo
K	Efecto principal del Potasio
DK	Interacción Densidad x Potasio
PK	Interacción Fósforo x Potasio
DPK	Interacción Densidad x Fósforo x Potasio
P.F. vs Extre.	Parte factorial contra los extremos ($2k$)
Ex. S. vs Ex. I.	Extremos superiores contra inferiores
Extre. S.	Extremos superiores (tratamientos 10, 12 y 14)
Extre. I.	Extremos inferiores (tratamientos 9, 11 y 13)

Transformaciones

Debido a que algunas de las variables estudiadas fueron de tipo discontinuo y otras se evaluaron en porcentaje, se realizó la transformación de los datos utilizando la raíz cuadrada y el arcoseno, considerando sus diferentes rangos, todo esto con el fin de ajustarlas a una distribución normal, y con ello satisfacer los supuestos del análisis de varianza (Reyes, 1982).

Correlaciones

Con el fin de determinar el grado de asociación entre las diferentes variables evaluadas, se realizaron las matrices de correlación respectivas, considerando niveles de significancia de 0.05 y 0.01. Así mismo se realizó un análisis de coeficientes de sendero (Li, 1956 y Reyes y Benavides, 1993), con el propósito de descomponer los coeficientes de correlación significativos en sus efectos directos e indirectos, sobre el rendimiento de semilla. También se llevó a cabo un análisis de regresión múltiple para determinar en que medida contribuyeron las diferentes variables sobre el rendimiento.

Análisis Económico

Con el propósito de determinar que tratamientos eran mejores desde el punto de vista de su rentabilidad económica, se practicó un análisis de este tipo con base en la metodología propuesta por Turrent (1985), para lo cual se consideraron los rendimientos de semilla obtenidos y se manejaron costos y precios actualizados de los insumos.

RESULTADOS

Con el fin de determinar el posible efecto de los diferentes tratamientos sobre las variables evaluadas, se realizaron los análisis de varianza respectivos para cada una de ellas y cuando se presentó significancia, se aplicó el Método gráfico estadístico propuesto por Turrent (1985), ya que éste nos permite analizar más detalladamente el comportamiento de los diferentes niveles de los factores que se manejaron, presentándose los resultados a continuación:

Variables Agronómicas

En el Cuadro 4.1. se presentan los cuadrados medios de tratamientos, así como su significancia para las variables agronómicas evaluadas, detectándose diferencias significativas para las variables altura de planta y tallos por planta, mientras que para las variables tallos con racimos por planta, vainas por planta, semillas por planta, diámetro de corona y rendimiento de semilla, las diferencias fueron altamente significativas. En el caso de las variables racimos por tallo, vainas por racimo y semillas por vaina, no se presentó efecto significativo de los factores estudiados. Las medias de los diferentes tratamientos se presentan en el

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de las variables agronómicas evaluadas en producción de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

Fuentes de variación	g l	ADP	TPP	TRP	RPT	RPP	VPR	VPP	SPV	SPP	DDC	RDS
Bloques	5	882.5 **	0.515	0.567 **	0.573	15.54 **	0.186	182.5 **	0.511 **	2049.96**	0.301*	9711.7
Tratamientos	14	111.40*	0.48*	0.818**	0.332	18.86**	0.066	195.16**	0.027	1043.08**	0.36**	24652.82**
Error	70	53.15	0.226	0.195	0.198	5.157	0.123	65.13	0.058	433.60	0.114	9753.70
Total	89	108.90	0.283	0.314	0.2407	7.896	0.118	92.18	0.079	620.28	0.163	12095.02
C. V. (%)		11.90	15.40	17.31	12.79	25.40	11.59	29.60	10.90	34.09	20.06	34.70

CV= Coeficiente de variación

*, **: Significativo al 5 y 1% de Nivel de Significancia respectivamente

ADP= Altura de Planta

TRP= Tallos con Racimos por Planta

RPP= Racimos por Planta

VPP= Vainas por Planta

SPP= Semillas por Planta

RDS = Rendimiento de Semilla

TPP= Tallos por Planta

RPT= Racimos por Tallo

VPR= Vainas por Racimos

SPV= Semillas por Vaina

DDC = Diámetro de Corona

Cuadro 4.2. Medias de tratamientos para las variables agronómicas evaluadas en la producción de semilla de alfalfa.
UAAAN. 1996.

TRATAMIENTOS	RDS	ADP	TPP	TRP	RPT	RPP	VPR	VPP	SPV	SPP	DDC
1 (3-90-30)	272	65	9	5	12	63	9	584	5	3032	1.61
2 (3-90-60)	280	61	10	8	14	104	9	954	4	4185	1.83
3 (3-180-30)	336	59	10	7	11	89	9	822	5	4480	1.68
4 (3-180-60)	388	64	12	10	14	138	8	1183	5	6669	1.96
5 (5-90-30)	218	62	10	6	10	60	9	483	5	2944	1.68
6 (5-90-60)	236	53	9	5	11	56	8	404	5	2117	1.54
7 (5-180-30)	308	54	9	5	13	78	8	722	5	3883	1.56
8 (5-180-60)	322	60	8	5	11	55	9	512	5	2739	1.46
9 (1-90-30)	405	67	14	12	15	180	10	1850	5	10289	2.38
10 (7-180-60)	197	61	8	5	11	56	11	723	5	4704	1.53
11 (3-0-30)	269	60	8	6	10	63	10	623	5	3430	1.43
12 (5-270-60)	189	66	11	7	15	104	9	997	5	4749	1.69
13 (3-90-0)	233	61	11	8	12	100	9	929	5	4249	1.78
14 (5-180-90)	293	57	8	6	10	64	9	596	5	2964	1.42
15 (1-0-0)	317	67	12	8	13	104	10	983	5	4727	1.68

RDS = Rendimiento de Semilla (kg/ha)

ADP = Altura de Planta (cm)

TPP = Tallos por Planta

TRP = Tallos con Racimo por Planta

RPT = Racimos por Tallo

RPP = Racimos por Planta

VPR = Vainas por Racimo

VPP = Vainas por Planta

SPV = Semillas por Vaina

SPP = Semillas por Planta

DDC = Diámetro de Corona (cm)

Cuadro 4.2. En cuanto a los coeficientes de variación éstos fluctuaron desde 10.91 hasta 34.70 por ciento, correspondiendo éste último para la variable rendimiento de semilla.

Altura de Planta

Al realizar el análisis por el Método Automático de Yates, se obtuvo que dentro de la parte factorial (tratamientos 1 al 8 del Cuadro 4.3.), el efecto principal del factor densidad resultó ser significativo pero en sentido negativo, es decir que al pasar de 3 a 5 kg de semilla la altura de planta tiende a reducirse; la interacción fósforo x potasio también presentó significancia considerando un $EMS_{10\%}$. Con base en lo anterior se decidió promediar sobre la densidad de 3 kg, considerando tanto los 2 niveles de fósforo como de potasio, conjuntando los tratamientos 1-5, 2-6, 3-7 y 4-8, obteniéndose medias de 64, 57, 57 y 62 cm, respectivamente. Al realizar la comparación en todo el espacio de exploración mediante la $DMS_{5\%}$, se obtuvo que para el factor densidad 1, 3 y 7 kg son estadísticamente iguales entre si, siendo éste último igual a 5 kg. Para los factores fósforo y potasio no existen diferencias significativas en sus diversos niveles, pero al considerar las combinaciones de los diferentes niveles de los tres factores se detecta que las medias de los tratamientos 1, 4, 9, 10, 11, 12, 13 y 15 son estadísticamente iguales entre si, siendo solamente las tres primeras superiores

Cuadro 4.3. Análisis para la variable altura de planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias por
No.	D	S	P ₂ O ₅					medio		tratamiento (cm)
			K ₂ O							
1	3	90	30	390	+758	+1498	+2875	+ 59.89	M	64
2	3	90	60	368	+740	+1377	- 17	- 0.71	K	57
3	3	180	30	356	+690	+ 6	- 21	- 0.87	P	57
4	3	180	60	384	+687	- 23	+ 143	+ 5.96 *	PK	62
5	5	90	30	374	- 22	- 18	- 121	- 5.04 *	D	---
6	5	90	60	316	+ 28	- 3	- 29	- 1.21	DK	---
7	5	180	30	326	- 58	+ 50	+ 15	+ 0.62	DP	---
8	5	180	60	361	+ 35	+ 93	+ 43	+ 1.79	DPK	---
9	1	90	30	404						67
10	7	180	60	369						61
11	3	0	30	359						60
12	5	270	60	395						66
13	3	90	0	368						61
14	5	180	90	341						57
15	1	0	0	401						67

CME = 53.15; 70 gl.

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10} \%, 70 \text{ gl. } \sqrt{\frac{CME}{2^{k-2}r}} = 1.667 \sqrt{\frac{53.15}{2 \times 6}} = 3.5 \text{ cm (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_5 \%, 70 \text{ gl. } \sqrt{CME \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{12} \right)} = 1.994 \sqrt{53.15(0.16666+0.0833333)} = 7.26 \text{ cm (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_5 \%, 70 \text{ gl. } \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 1.994 \sqrt{\frac{2(53.15)}{6}} = 8.39 \text{ cm (Diferencia mínima significativa normal 0.05).}$$

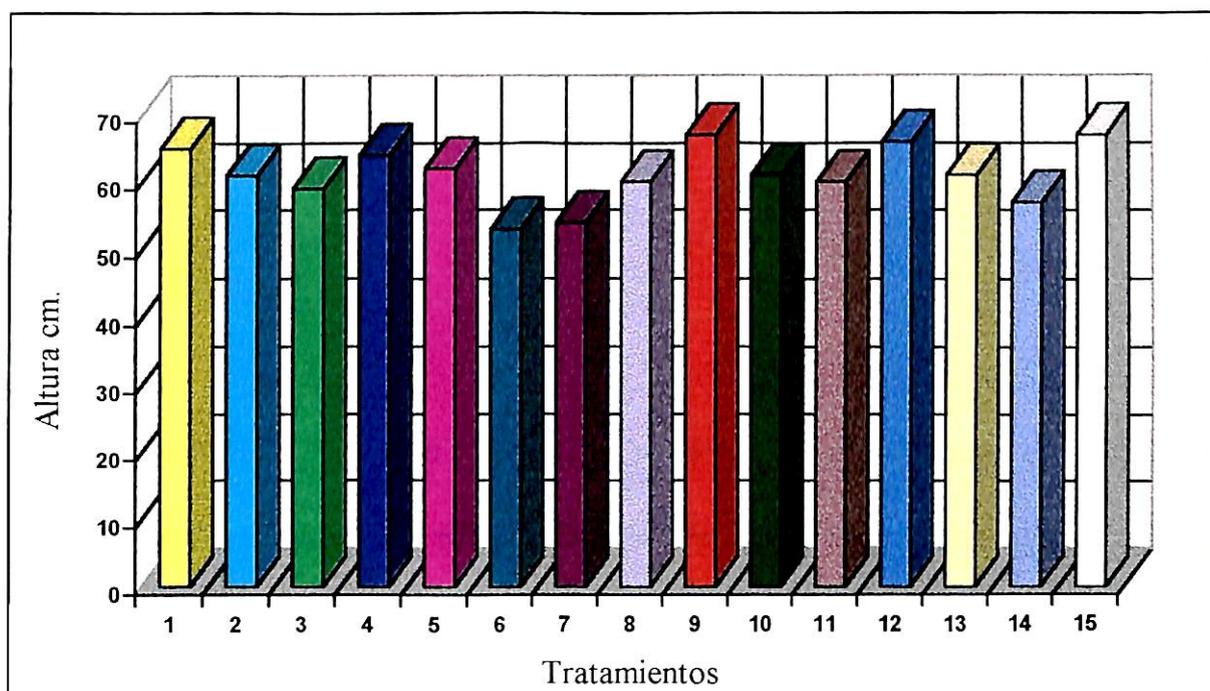


Figura 4.1. Representación gráfica del efecto de los tratamientos sobre la variable altura de planta en alfalfa. UAAAN. 1996.

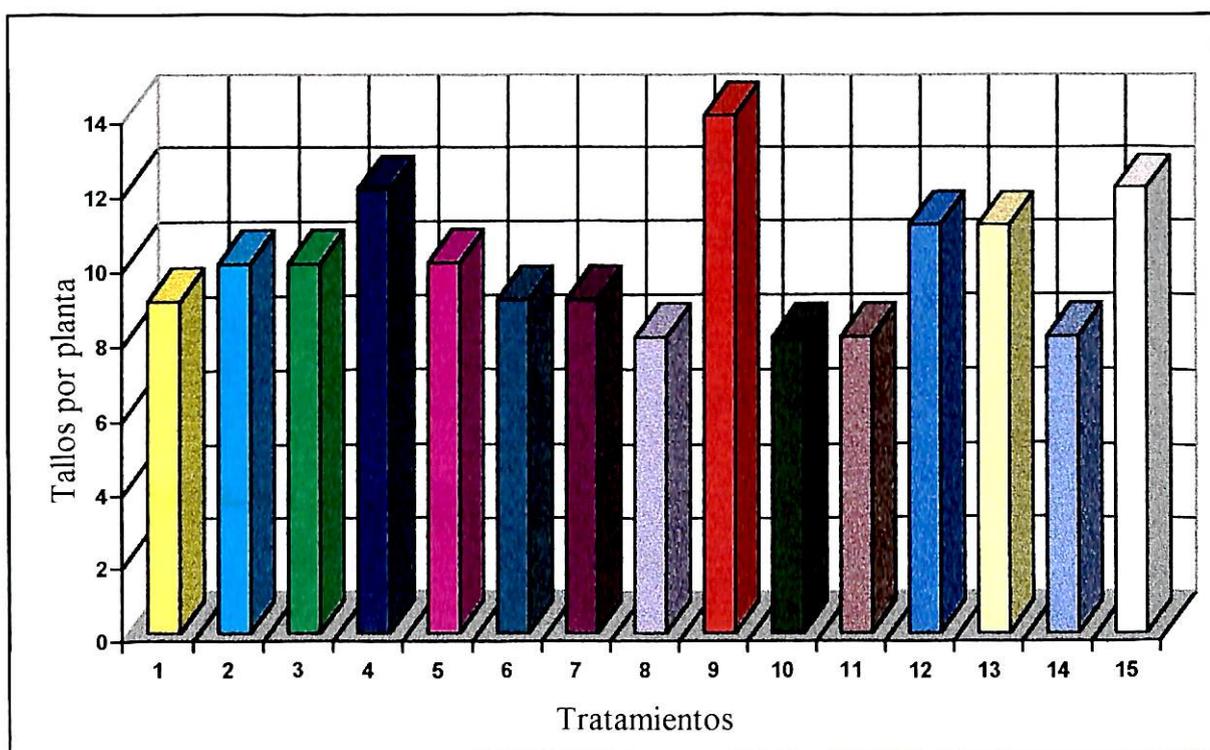


Figura 4.2. Comportamiento de la variable tallos por planta en los tratamientos evaluados en alfalfa. UAAAN. 1996.

a la de los tratamientos 2, 3 y 14, que presentaron los promedios más bajos (57 cm).

Tallos por Planta

Tal como se observa en el Cuadro 4.4., no se presentaron diferencias significativas para ninguno de los factores en la parte factorial, por lo que se manejó una sola media que corresponde al tratamiento 1(3-90-30), la cual fue de nueve tallos por planta. Al analizar los cuatro niveles de cada factor en forma independiente se encontró que para el caso de la densidad de 1 kg, fue superior a 3, 5 y 7 kg y con respecto al fósforo y el potasio no hubo efecto significativo en todo su espacio de exploración. Al comparar los diferentes tratamientos, se encontró que el tratamiento 9 con una media de 14 tallos por planta fue estadísticamente igual a la de los tratamientos 12, 13 y 15 y a la vez superior a todos los demás (Figura 4.2.).

Tallos con Racimos por Planta

Para esta variable se presentó significancia para el efecto principal de la densidad, así como su interacción con el fósforo y el potasio, siendo en los tres casos en sentido negativo, razón por la cual se optó en promediar los ocho tratamientos y representarlos por el tratamiento que posee los niveles más bajos

Cuadro 4.4. Análisis para la variable tallos por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias por
No.	D S	P ₂ O ₅	K ₂ O					medio		tratamiento
1	3	90	30	51	+ 110	+ 240	+ 453	+ 9.44	M	9.00
2	3	90	60	59	+ 130	+ 213	+ 17	+ 0.71	K	
3	3	180	30	57	+ 114	+ 24	+ 5	+ 0.21	P	
4	3	180	60	73	+ 99	- 7	+ 5	+ 0.21	PK	
5	5	90	30	58	+ 8	+ 20	- 27	- 1.12	D	
6	5	90	60	56	+ 16	- 15	- 31	- 1.29	DK	
7	5	180	30	52	- 2	+ 8	- 35	- 1.45	DP	
8	5	180	60	47	- 5	- 3	- 11	- 0.46	DPK	
9	1	90	30	85						14.00
10	7	180	60	48						8.00
11	3	0	30	48						8.00
12	5	270	60	65						11.00
13	3	90	0	65						11.00
14	5	180	90	50						8.00
15	1	0	0	70						12.00

CME = 9.389; 70 gl.

EMS = t₁₀ %, 70 gl. $\sqrt{\frac{CME}{2^k \cdot 2^r}} = 1.667 \sqrt{\frac{9.389}{12}} = 1.47$ tallos por planta. (Efecto mínimo significativo 0.10)

DMS = t₅ %, 70 gl. $\sqrt{CME \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} = 1.994 \sqrt{9.389(0.16666 + 0.0208333)} = 2.64$ tallos por planta (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05)

DMS = t₅ %, 70 gl. $\sqrt{\frac{2CME}{r}} = 1.994 \sqrt{\frac{2(9.389)}{6}} = 3.52$ tallos por planta (Diferencia mínima significativa normal 0.05).

Cuadro 4.5. Análisis para la variable tallos con racimos por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial medio		Medias por tratamiento
No.	DS	P ₂ O ₅	K ₂ O							
1	3	90	30	31	+ 78	+ 178	+ 306	+ 6.37	M	6.00
2	3	90	60	47	+ 100	+ 128	+ 22	+ 0.92	K	
3	3	180	30	42	+ 68	+ 32	+ 14	+ 0.58	P	
4	3	180	60	58	+ 60	- 10	+ 2	+ 0.08	PK	
5	5	90	30	37	+ 16	+ 22	- 50	- 2.08 *	D	
6	5	90	60	31	+ 16	- 8	- 42	- 1.75 *	DK	
7	5	180	30	32	- 6	0	- 30	- 1.25 *	DP	
8	5	180	60	28	- 4	+ 2	+ 2	+ 0.08	DPK	
9	1	90	30	73						12.00
10	7	180	60	28						5.00
11	3	0	30	35						6.00
12	5	270	60	41						7.00
13	3	90	0	46						8.00
14	5	180	90	36						6.00
15	1	0	0	47						8.00

CME = 5.98; 70 gl.

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^{k-1}r}} = 1.667 \sqrt{\frac{5.98}{12}} = 1.176 \text{ tallos con rac/planta (Efecto mínimo significativo 0.10)}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{CME \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} = 1.994 \sqrt{5.98 \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{48} \right)} = 1.994 \sqrt{5.98(0.16666 + 0.0208333)} = 2.11 \text{ tallos con rac/planta (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 1.994 \sqrt{\frac{2(5.98)}{6}} = 2.81 \text{ tallos con rac/planta (Diferencia mínima significativa normal 0.05).}$$

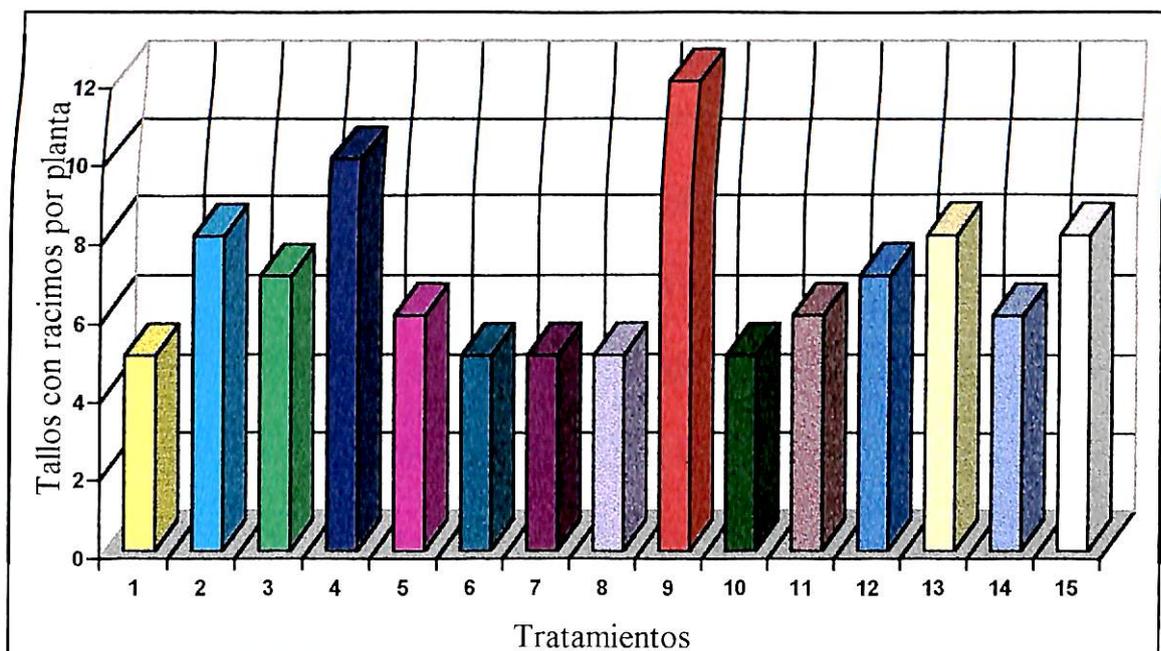


Figura 4.3. Efecto de los tratamientos sobre la variable tallos con racimos por planta de alfalfa. UAAAN. 1996.

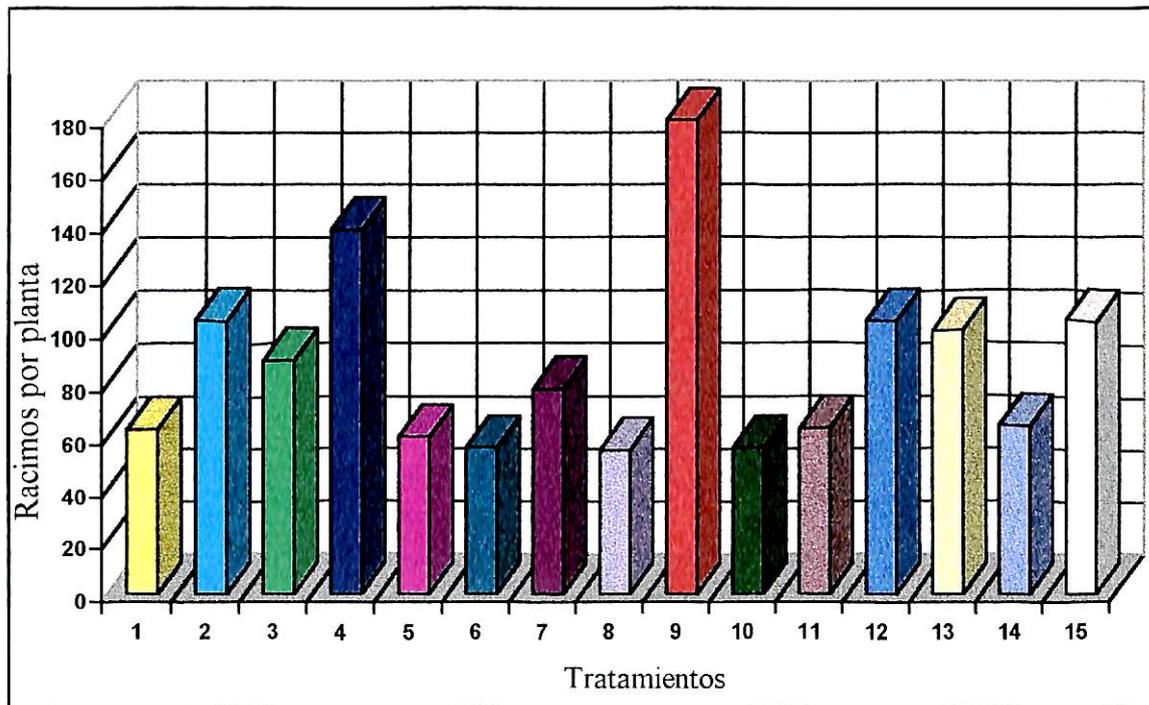


Figura 4.4. Respuesta de la variable racimos por planta de alfalfa a los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.

de cada factor 1(3- 90 - 30), obteniéndose una media de seis tallos con racimos por planta. Al considerar los cuatro niveles de cada factor en forma independiente, se obtuvo que para la densidad de siembra el nivel de 1 kg fue superior a los demás; mientras que para el fósforo y el potasio no se presentan diferencias significativas entre sus niveles respectivos. Al manejar los niveles de los tres factores en sus diferentes combinaciones se obtuvo que el tratamiento 9 con una media de 12 tallos con racimos por planta fue estadísticamente superior a todos los demás tratamientos, inclusive al testigo que posee la misma densidad de 1 kg (Cuadro 4.5. y Figura 4.3).

Racimos por Planta

En el Cuadro 4.6.se observa que dentro de la parte factorial, tanto el efecto principal de la densidad como su interacción con el potasio mostraron significancia en sentido negativo, y al no presentarse efecto para el factor fósforo, se decidió promediar sobre el tratamiento 1(3-90-30), obteniéndose una media general de 80 racimos por planta. Comparando los niveles de la parte factorial con los de las prolongaciones en cada factor se obtuvo que la densidad de 1 kg fue superior a 3, 5 y 7 kg; mientras que para el fósforo y potasio no hay efectos significativos. Al considerar todas las combinaciones o tratamientos resultó que el

Cuadro 4.6. Análisis para la variable racimos por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias por
No.	D S	P2O5	K2O					medio		tratamiento
1	3	90	30	376	+ 1002	+ 2366	+ 3865	+ 80.52	M	80
2	3	90	60	626	+ 1364	+ 1499	+ 381	+ 15.87	K	
3	3	180	30	535	+ 697	+ 544	+ 467	+ 19.45	P	
4	3	180	60	829	+ 802	- 163	- 69	- 2.87	PK	
5	5	90	30	361	+ 250	+ 362	- 867	- 36.12 *	D	
6	5	90	60	336	+ 294	+ 105	- 707	- 29.45 *	DK	
7	5	180	30	470	- 25	+ 44	- 257	- 10.71	DP	
8	5	180	60	332	- 138	- 113	- 157	- 6.54	DPK	
9	1	90	30	1083						180
10	7	180	60	337						56
11	3	0	30	380						63
12	5	270	60	627						104
13	3	90	0	600						100
14	5	180	90	384						64
15	1	0	0	627						104

CME = 2.140.18; 70 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^{k-2}r}} = 1.667 \sqrt{\frac{2.140.18}{2 \cdot 6}} = 22.26 \text{ racimos por planta (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{CME \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} = 1.994 \sqrt{2.140.18 \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{48} \right)} = 39.94 \text{ racimos por planta (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{6}} = 1.994 \sqrt{\frac{2(2140.18)}{6}} = 53.25 \text{ racimos por planta (Diferencia mínima significativa normal 0.05)}$$

tratamiento 9 con una media de 180, fue superior a todos los demás tratamientos (Figura 4.4).

Vainas por Planta

El análisis respectivo para esta variable (Cuadro 4.7.), nos muestra que el efecto principal de la densidad, así como su interacción con el potasio, resultan con significancia en sentido negativo, mientras que el factor fósforo no muestra efecto significativo, por lo que se optó por manejar los niveles más bajos de cada factor representados en el tratamiento 1, para lo cual se obtuvo una media general de 708 vainas por planta. Al comparar los niveles que constituyen el espacio de exploración para cada factor en forma independiente se obtuvo que la densidad de 1 kg, de nueva cuenta fue superior a 3, 5 y 7 kg, no presentándose significancia para los niveles de fósforo y potasio, pero sin embargo, al manejarse ya en forma combinada los niveles de los tres factores, se detecta que el tratamiento 9 con una media de 1850 vainas, volvió a ser estadísticamente superior a todos los demás (Figura 4.5.).

Semillas por Planta

En el Cuadro 4.8.se observa que dentro de la parte factorial de esta variable, solamente el efecto principal de la densidad resultó significativo aunque

Cuadro 4.7. Análisis para la variable vainas por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial medio		Medias Vainas/Planta
No.	D S	P ₂ O ₅	K ₂ O							
1	3	90	30	3505	+ 9230	+21261	+33985	+708.02	M	708
2	3	90	60	5725	+12031	+12724	+ 2663	+ 10.95	K	
3	3	180	30	4930	+ 5326	+ 4391	+ 4873	+203.04	P	
4	3	180	60	7101	+ 7398	- 1728	- 829	- 34.54	PK	
5	5	90	30	2900	+ 2220	+ 2801	- 8537	- 355.71 *	D	
6	5	90	60	2426	+ 2171	+2072	- 6119	- 254.95 *	DK	
7	5	180	30	4326	- 474	- 49	- 729	- 30.37	DP	
8	5	180	60	3072	- 1254	- 780	- 731	- 30.45	DPK	
9	1	90	30	11098						1850
10	7	180	60	4341						723
11	3	0	30	3738						623
12	5	270	60	5980						997
13	3	90	0	5574						929
14	5	180	90	3576						596
15	1	0	0	5896						983

CME = 260.662.57; 70 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^{k-2}r}} = 1.667 \sqrt{\frac{260,662.57}{12}} = 245.68 \text{ vainas por planta (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{CME \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} = 1.994 \sqrt{260,662 \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{48} \right)} = 441 \text{ vainas por planta (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 1.994 \sqrt{\frac{2(260,662.57)}{6}} = 588 \text{ vainas por planta (Diferencia mínima significativa normal 0.05)}$$

Cuadro 4.8. Análisis para la variable semillas por planta de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias
No.	DS	P2O5	K2O					medio		Semillas/Planta
1	3	90	30	18195	+43306	+110201	+180304	+3576.33	M	3756
2	3	90	60	25111	+66895	+70103	+8222	+342.58	K	
3	3	180	30	26880	+30372	+20051	+32948	+1372.83	P	
4	3	180	60	40015	+39731	-11829	+4318	+179.91	KP	
5	5	90	30	17680	+6916	+23589	+40098	-1670.75*	D	
6	5	90	60	12704	+13135	+9359	-31880	-1328.33	DK	
7	5	180	30	23298	-4964	+6219	-14230	-592.91	DP	
8	5	180	60	16433	-6865	-1901	-8120	-338.33	DPK	
9	1	90	30	61732						10289
10	7	180	60	28227						4704
11	3	0	30	20580						3430
12	5	270	60	28496						4749
13	3	90	0	25494						4249
14	5	180	90	17787						2964
15	1	0	0	28360						4727

CME = 10,241,787.0; 70 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^k - 2^r}} = 1.667 \sqrt{\frac{10,241,787.0}{12}} = 1,540 \text{ semillas por planta (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{CME \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} = 1.994 \sqrt{10,241,787.0 \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{48} \right)} = 2,763 \text{ semillas por planta (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 1.994 \sqrt{\frac{2(10,241,787.0)}{6}} = 3,684 \text{ semillas por planta (Diferencia mínima significativa normal 0.05).}$$

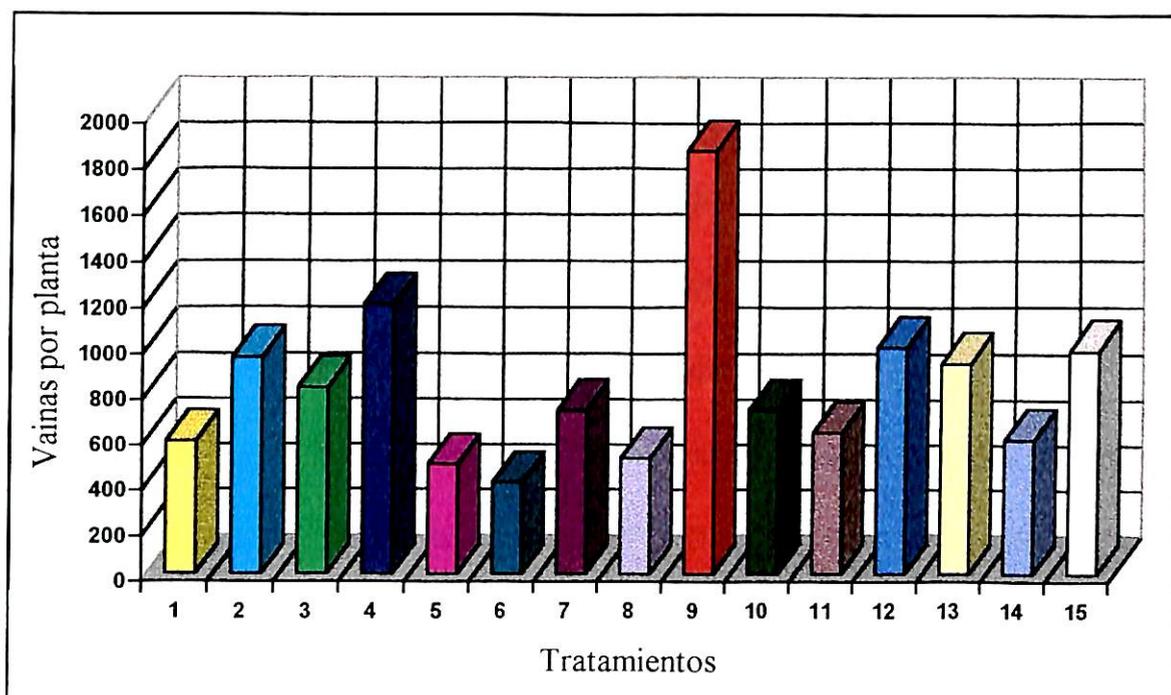


Figura 4.5. Comportamiento de la variable vainas por planta de alfalfa en los tratamientos evaluados. UAAAN, 1996.

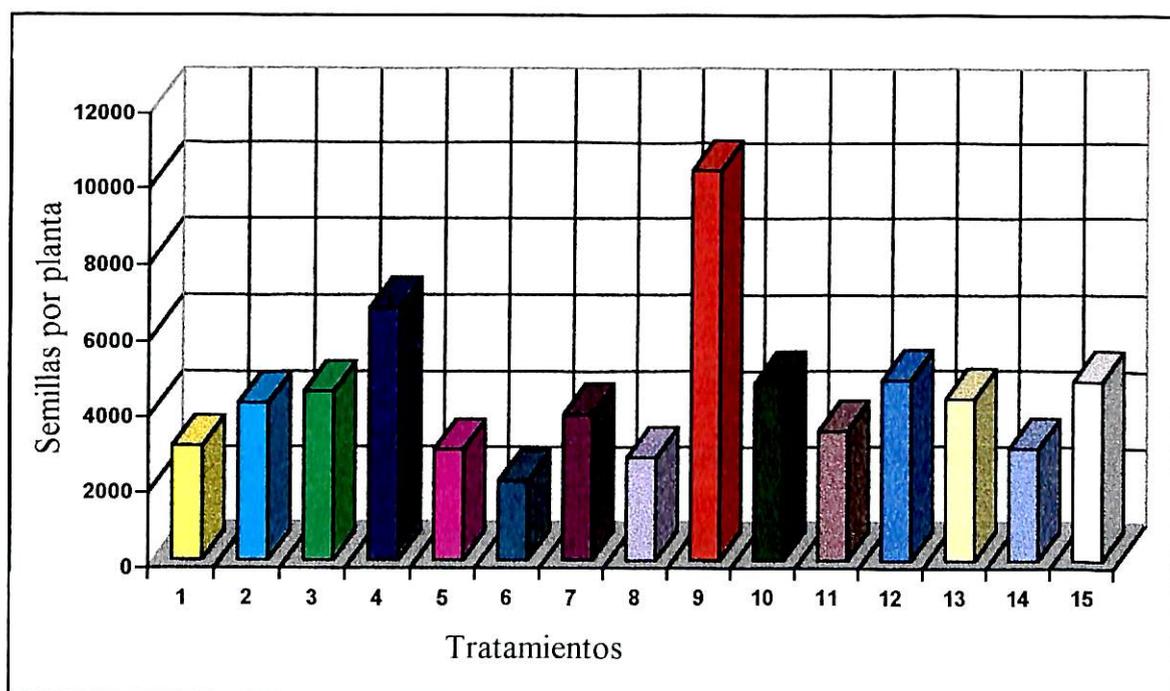


Figura 4.6. Respuesta de la variable semillas por planta en alfalfa a los tratamientos evaluados. UAAAN, 1996.

en sentido negativo, por lo que al no alcanzar significancia los factores fósforo y potasio, se decidió promediar dichos factores, adoptando los niveles más bajos, contenidos en el tratamiento 1(3-90-30). Al realizar las comparaciones entre los niveles de cada factor, se encontró que para el caso de la densidad, el nivel de 1 kg fue superior a los demás, no presentándose diferencias significativas para los niveles de los factores fósforo y potasio, pero al compararse los diferentes tratamientos, se detecta que el tratamiento 9(1-90-30), que presenta una media de 10 289 semillas por planta, es estadísticamente superior a la media de los demás tratamientos (Figura 4.6.).

Diámetro de Corona

Para el caso de esta variable, tanto el efecto principal de la densidad como su interacción con el potasio, resultaron significativos en sentido negativo, por lo que con base en esto y a la no significancia del factor fósforo, se decidió promediar esos factores, adoptando los niveles bajos de cada factor (3-90-30), obteniéndose una media de 1.66 cm. La comparación de los niveles de la parte factorial vs los niveles de las prolongaciones, dió como resultado que para la densidad, el nivel de 1 kg fuera superior a 3, 5 y 7 kg; mientras que para el fósforo y potasio no hubo significancia entre sus respectivos niveles; más sin embargo, al conjuntarse los diferentes niveles de los tres factores en los 14

Cuadro 4.9. Análisis para la variable diámetro de corona de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial medio		Medias
No.	DS	P ₂ O ₅	K ₂ O							Diám./Corona (cm)
1	3	90	30	9.66	+20.64	+42.48	+79.92	+1.665	M	1.66
2	3	90	60	10.98	+21.84	+37.44	+1.56	+0.065	K	
3	3	180	30	10.08	+19.32	+3.00	0	0.000	P	
4	3	180	60	11.76	+18.12	-1.44	+0.60	+0.025	PK	
5	5	90	30	10.08	+1.32	+1.20	-5.04	-0.210*	D	
6	5	90	60	9.24	+1.68	-1.20	-4.44	-0.185*	DK	
7	5	180	30	9.36	-0.84	+0.36	-2.40	-0.100	DP	
8	5	180	60	8.76	-0.60	+0.24	-0.12	-0.005	DPK	
9	1	90	30	14.28						2.38
10	7	180	60	9.18						1.53
11	3	0	30	8.58						1.43
12	5	270	60	10.14						1.69
13	3	90	0	10.68						1.78
14	5	180	90	8.52						1.42
15	1	0	0	10.08						1.68

CME = 0.114082; 70 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^{k-2}r}} = 1.667 \sqrt{\frac{0.114082}{12}} = 0.1625 \text{ cm (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{CME \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} = 1.994 \sqrt{0.114082 \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{48} \right)} = 0.2916 \text{ cm (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_{5\%, 70 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 1.994 \sqrt{\frac{2(0.114082)}{6}} = 0.39 \text{ cm (Diferencia mínima significativa normal 0.05).}$$

tratamientos se obtuvo que el tratamiento 9, con una media de 2.38 cm, fue estadísticamente superior a los demás tratamientos (Cuadro 4.9. y Figura 4.7.).

Rendimiento de Semilla

En el análisis para esta variable presentado en el Cuadro 4.10., se detecta que dentro de la columna de efectos factoriales medios, la densidad de siembra en su efecto principal mostró significancia pero en sentido negativo, es decir que al aumentar de 3 a 5 kg el rendimiento se reduce; por su parte el efecto principal del factor fósforo muestra significancia positiva, por lo que con base en esto y considerando que el potasio no fue significativo, se decidió promediar sobre los factores densidad y potasio (3 y 30, respectivamente), obteniéndose de esta manera solo dos medias al conjuntar los tratamientos (1- 2- 5 - 6) y (3- 4- 7- 8), los cuales quedaron representados por las combinaciones 3-90-30 y 3-180-30 respectivamente. Al realizar la comparación de los dos niveles de cada factor dentro de la parte factorial con los niveles de las prolongaciones (tratamientos 9 a 14), se encontró que para el caso de la densidad de siembra el nivel de 1 kg fue estadísticamente superior a 3, 5 y 7 kg, lo cual se puede observar claramente en la figura 4.9, donde a medida que se incrementa la densidad de 1 a 7 kg el rendimiento de semilla decrece considerablemente. Respecto al fósforo los niveles de 0, 90 y 180 fueron iguales entre si y superiores a 270 kg, mientras que para el potasio no hubo diferencias significativas en todo su espacio de exploración. Al

Cuadro 4.10. Análisis para la variable rendimiento de semilla de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Rendimientos	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Rendimientos
No.	D S	P ₂ O ₅	K ₂ O	totales				medio kg/ha		medios (kg/ha)
1	3	90	30	1630	+3308	+7651	+14157	+294.94	M	251
2	3	90	60	1678	+4343	+6506	+ 553	+ 23.04	K	
3	3	180	30	2015	+2723	+ 361	+ 2095	+ 87.29 *	P	338
4	3	180	60	2328	+3783	+ 192	+ 239	+ 9.96	PK	
5	5	90	30	1307	+ 48	+1035	- 1145	- 47.71 *	D	
6	5	90	60	1416	+ 313	+1060	- 169	- 7.04	DK	
7	5	180	30	1850	+ 109	+ 265	+ 25	+ 1.04	DP	
8	5	180	60	1933	+ 83	- 26	- 291	- 12.12	DPK	
9	1	90	30	2431						405
10	7	180	60	1183						197
11	3	0	30	1617						269
12	5	270	60	1139						189
13	3	90	0	1397						233
14	5	180	90	1758						293
15	1	0	0	1905						317

CME = 9.753.70; 70 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%,70} \text{ gl. } \sqrt{\frac{CME}{2^{k-2}r}} = 1.667 \sqrt{\frac{9,753.70}{12}} = 47.52 \text{ kg/ha (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%,70} \text{ gl. } \sqrt{CME\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)} = 1.994 \sqrt{9,753.70\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{24}\right)} = 89.88 \text{ kg/ha (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_{5\%,70} \text{ gl. } \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 1.994 \sqrt{\frac{2(9,753.70)}{6}} = 113.69 \text{ kg/ha (Diferencia mínima significativa normal 0.05)}$$

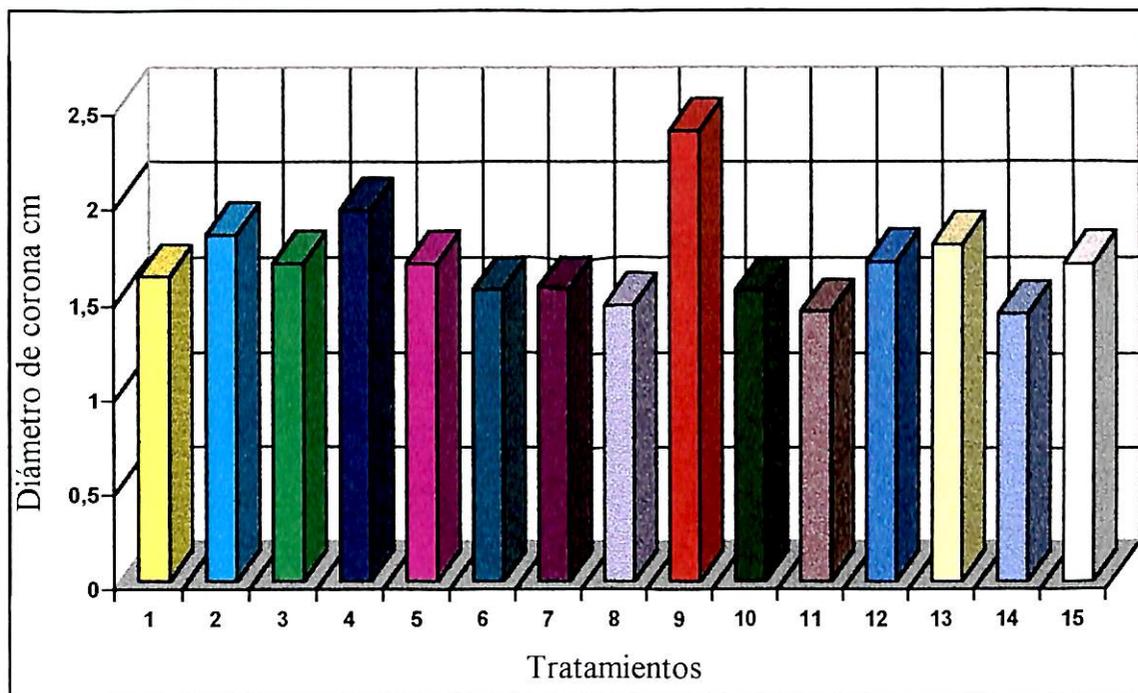


Figura 4.7. Influencia de los tratamientos sobre la variable diámetro de corona de la alfalfa. UAAAN. 1996.

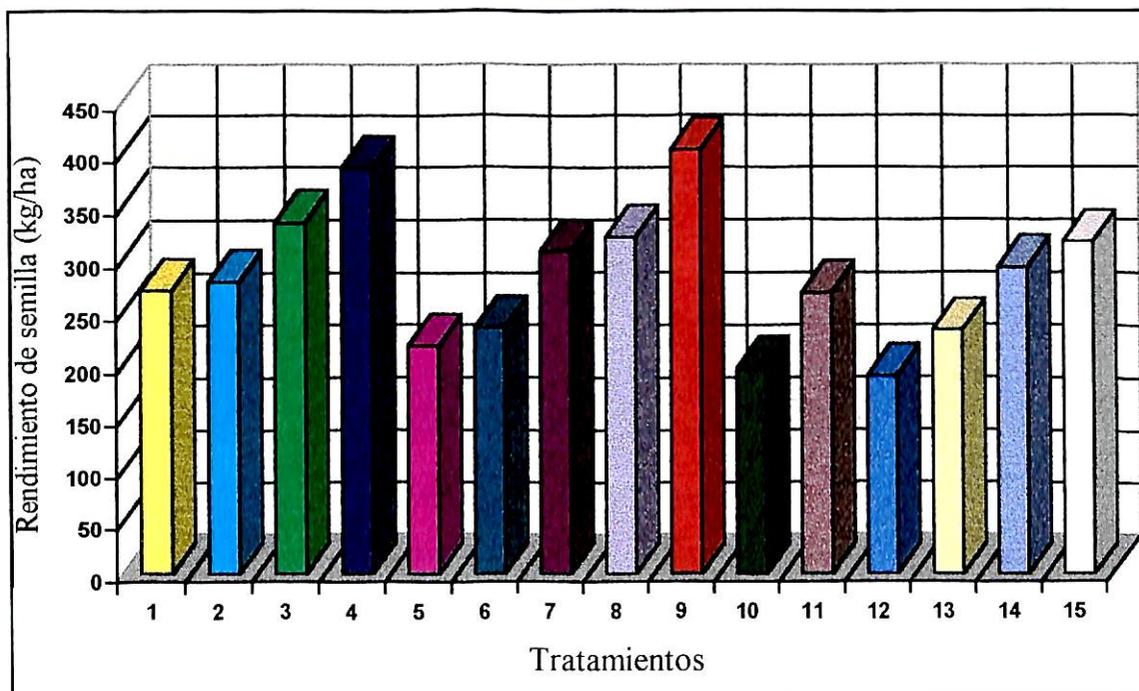


Figura 4.8. Comportamiento del rendimiento de semilla de alfalfa por efecto de los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.

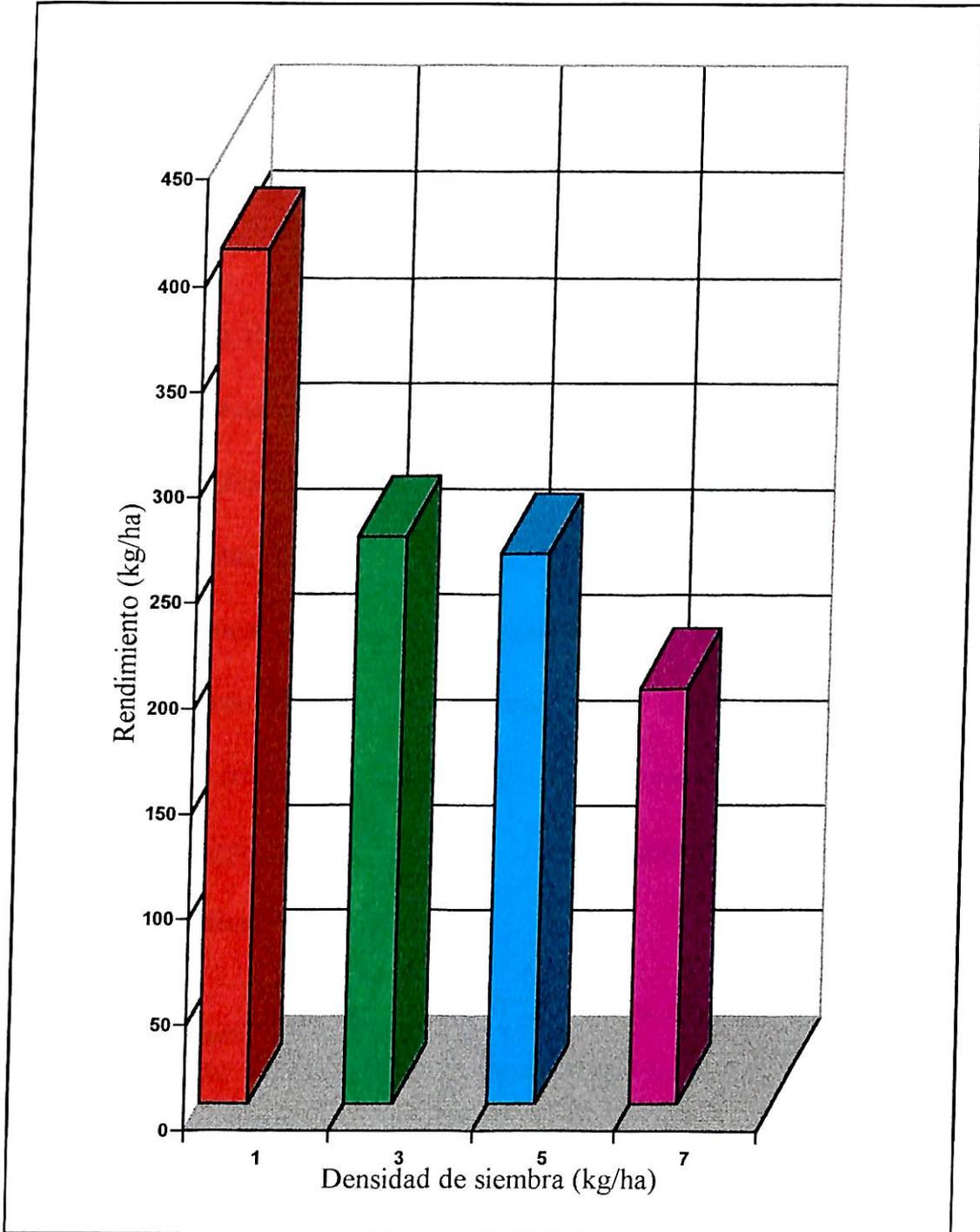


Figura 4.9 Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

comparar los diferentes tratamientos, se encontró que la media del tratamiento 9, que es de 405 kg, es estadísticamente igual a la de los tratamientos 3, 14 y 15, pero superior a todos los demás, siendo el tratamiento 12 el que presentó la media más baja (189 kg), apreciándose esto en la Figura 4.8.

Con el fin de corroborar los resultados obtenidos con la metodología anteriormente expuesta, se procedió a descomponer el factor tratamientos en sus diferentes contrastes (Cuadro 4.11.), y a la vez aprovechando que se tuvo un diseño experimental de bloques al azar, ésto nos permitió particionar el error experimental y ubicar a cada contraste con su error respectivo, obteniéndose que dentro de la parte factorial el fósforo en su efecto principal resultó ser significativo ($P < 0.05$), mientras que la densidad de siembra en su efecto principal no alcanzó a ser significativa ($P < 0.10$), pero al utilizarse el CME total con 70 gl si logra ser significativo.

El contraste de la parte factorial respecto a los extremos muestra significancia ($P < 0.05$) y al realizarse la comparación con una DMS 10%, la media de la parte factorial resulta ser estadísticamente superior a la media de las prolongaciones o extremos.

En cuanto al contraste extremos superiores respecto a inferiores, se observa una significancia ($P < 0.10$), detectándose mediante la prueba de DMS 10% que la

Cuadro 4.11. Análisis de varianza con descomposición del efecto de tratamientos mediante contrastes para la variable rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

F V	gl	S C	C M	F _c	F _t	
					0.05	0.10
BLOQUES	5	48558.50	9711.70	0.995NS	2.37	1.95
TRATAMIENTOS	14	345150.04	24652.86	2.527 **	1.84	1.60
T. vs Resto	1	7085.85	7085.85	0.480NS	6.61	4.06
P. Factorial	7	128684.25	18383.46	1.773NS	2.29	1.93
D	1	27312.75	27312.75	3.361NS	6.61	4.06
P	1	91437.75	91437.75	85.534 **	6.61	4.06
DP	1	13.25	13.25	0.003NS	6.61	4.06
K	1	6371.00	6371.00	0.755NS	6.61	4.06
DK	1	595.50	595.50	0.022NS	6.61	4.06
PK	1	1190.50	1190.50	0.156NS	6.61	4.08
DPK	1	1763.50	1763.50	0.109NS	6.61	4.06
P.F. vs. Extre.	1	18954.00	18954.00	9.174 **	6.61	4.06
Ex. S. vs Ex. I.	1	51756.25	51756.25	6.034*	6.61	4.06
Extre. S.	2	39762.33	19881.16	3.561*	4.10	2.92
Extre. I.	2	98897.34	49448.67	3.604*	4.10	2.92
ERROR	70	682759.00	9753.70			
T. vs. Resto	5	73800.12	14760.02			
P. Factorial	35	362727.06	10363.63			
D	5	40622.10	8124.42			
P	5	5345.10	1069.02			
DP	5	21795.60	4359.12			
K	5	42177.10	8435.42			
DK	5	133991.60	26798.32			
PK	5	38041.60	7608.32			
DPK	5	80753.93	16150.78			
P.F. vs. Extre.	5	10329.49	2065.89			
Sup. vs. Inf.	5	42882.91	8576.58			
Superiores	10	55823.00	5582.30			
Inferiores	10	137196.00	13719.60			
TOTAL	89	1076457.10				

*, **: Significativo al 0.10 y 0.05 respectivamente.

NS: No Significativo.

media de los extremos inferiores donde se incluyen los tratamientos 9, 11 y 13 fue de 302 kg, siendo estadísticamente superior a la media de los extremos superiores (tratamientos 10, 12 y 14) con 227 kg.

En lo que concierne al contraste extremos superiores, se presenta significancia ($P < 0.10$), obteniéndose que la media del tratamiento 14 (293 kg) es estadísticamente superior a la de los tratamientos 10 y 12 que tuvieron 197 y 190 kg/ha de semilla respectivamente.

Finalmente el contraste entre extremos inferiores resulta ser significativo ($P < 0.10$), donde al aplicar una DMS 10%. se detecta que el tratamiento 9 con una media de 405 kg, es estadísticamente superior a los tratamientos 11 y 13 que registraron 269 y 233 kg/ha de semilla respectivamente.

Análisis Económico

Con el propósito de corroborar si los mejores tratamientos en rendimiento lo eran también desde el punto de vista económico, fue necesario realizar un análisis de este tipo con base en la metodología propuesta por Turrent (1985), el cual se presenta en el Cuadro 4.12., aclarándose que para el caso de los costos variables sólo se consideró el costo de la semilla y del fósforo, ya que el potasio

Cuadro 4.12. Análisis económico para la variable rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

1				2	3	4	5	6	7
Tratamientos				Rendimientos medios	Costos variables	Ingreso neto más costos fijos	Incremento rendimiento	Incremento ingreso neto	Tasa de retorno a capital variable
No.	D	S	P2O5 K2O	kg/ha	CV \$/ha	\$/ha	kg/ha	IN \$/ha	TRCV (IN/CV)
1	3	90	30	251	375.00	12 175.00	----	----	----
2	3	90	60						
3	3	180	30	338	600.00	16 300.00	21.08	500.00	0.83
4	3	180	60						
5	5	90	30						
6	5	90	60						
7	5	180	30						
8	5	180	60						
9	1	90	30	405	275.00	19 975.00 *	88.00	4 175.00	15.18 **
10	7	180	60	197	800.00	9 050.00	----	----	----
11	3	0	30	269	150.00	13 300.00	----	----	----
12	5	270	60	190	925.00	8 575.00	----	----	----
13	3	90	0	233	375.00	11 275.00	----	----	----
14	5	180	90	293	700.00	13 950.00	----	----	----
15	1	0	0	317	50.00	15 800.00			

Costo del kg de Fósforo = \$2.50
 Costo del kg de semilla= \$50.00

* TOECI = Tratamiento Optimo Económico de Capital Ilimitado
 ** TOECL = Tratamiento Optimo Económico de Capital Limitado

al no ser significativo quedó en su nivel de 0 kg. Para el cálculo de la columna cuatro que representa el ingreso neto más los costos fijos, se consideró un precio de venta de la semilla de \$50/kg; en esta misma columna se observa que el mayor ingreso (\$ 19 975.00) se obtiene con el tratamiento 9, el cual presentó el mayor rendimiento de semilla (405 kg), siendo a su vez este tratamiento el óptimo económico de capital ilimitado, mientras que los tratamientos 3 y 15 obtuvieron también ingresos netos considerables de \$16 300.00 y 15 800.00 respectivamente). En las columnas cinco y seis se observa que sólo los tratamientos 3 y 9 mostraron incrementos de rendimiento y de ingreso neto positivos al compararse con el testigo, registrándose para el primero de ellos una TRCV de 0.83, siendo finalmente el tratamiento 9 el que obtiene la mayor tasa de retorno a capital variable (15.18), es decir que desde el punto de vista de rendimiento y rentabilidad este último tratamiento es el mejor, ya que mediante el se obtiene la mayor ganancia por peso invertido (TOECL).

Variables de Calidad Física

Respecto a este tipo de variables el análisis detectó diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para la variable semilla manchada y diferencias altamente significativas para las variables peso volumétrico, peso de mil semillas, semilla amarilla y semilla café. Los

coeficientes de variación oscilaron entre 1.20 y 12.59 por ciento (Cuadro 4.13).

Las medias respectivas para cada tratamiento se presentan en el Cuadro 4.14.

Cuadro 4.13. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficiente de variación de las variables de calidad física evaluadas en semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

Fuentes de variación	g l	P V	P M S	S A	S C	S M
Tratamientos	14	3.16 **	0.009 **	94.83 **	1.10 **	0.240 *
Error	30	0.807	0.0014	24.47	0.327	0.1123
Total	44	1.56	0.0041	46.86	0.573	0.1529
C V (%)		1.20	1.82	6.26	12.59	8.70

*, **: Significativo al 5 y 1% de Nivel de significancia respectivamente

PV= Peso Volumétrico

SM= Semilla Manchada

PMS= Peso de Mil Semillas

CV= Coeficiente de variación

SA = Semilla Amarilla

SC = Semilla Café

Peso Volumétrico

Los resultados obtenidos para esta variable se presentan en el Cuadro 4.15., observándose que dentro de la columna de efectos factoriales medios tanto la interacción fósforo x potasio como la de mayor orden densidad x fósforo x potasio, resultaron ser estadísticamente significativas al tener valores mayores al EMS_{10%}, por lo que en este caso se consideraron las ocho medias originales de los tratamientos. Al realizarse la comparación entre los niveles de la parte factorial y de los de las prolongaciones para cada factor, se encontró que para el caso de la densidad, todos los niveles fueron estadísticamente iguales, sucediendo lo mismo con el factor fósforo, mientras que para el potasio los niveles 30 y 60

Cuadro 4.14. Medias de tratamientos de las variables de calidad física y fisiológica evaluadas en producción de semilla de alfalfa.
 UAAAN. 1996.

TRATAMIENTOS	RDS	PV	PMS	SA	SC	SM	SD	CG I	CG II	PNF	GP	PS
1 (3-90-30)	272	75.0	2.11	83	17	14	21	58	68	57	89	1.31
2 (3-90-60)	280	74.7	2.12	85	15	14	19	62	74	63	93	1.35
3 (3-180-30)	336	74.7	2.15	87	13	13	21	65	71	65	92	1.40
4 (3-180-60)	388	74.3	2.09	68	32	19	15	65	77	66	92	1.34
5 (5-90-30)	218	76.3	2.03	75	25	15	21	59	70	57	91	1.23
6 (5-90-60)	236	73.0	1.93	69	31	14	18	64	76	62	94	1.28
7 (5-180-30)	308	72.7	2.03	78	22	16	20	60	72	57	92	1.28
8 (5-180-60)	322	75.3	2.08	78	22	15	23	55	69	55	92	1.39
9 (1-90-30)	405	74.3	2.00	82	18	13	20	59	73	58	93	1.18
10 (7-180-60)	197	74.3	2.04	80	20	11	27	48	68	54	96	1.42
11 (3-0-30)	269	74.0	2.08	80	20	13	19	55	72	55	90	1.35
12 (5-270-60)	190	74.3	1.99	77	23	14	25	43	68	48	93	1.19
13 (3-90-0)	233	73.3	2.01	80	20	19	17	53	75	60	92	1.28
14 (5-180-90)	293	72.4	2.04	76	24	13	23	47	69	52	92	1.30
15 (1-0-0)	317	75.0	2.05	85	15	16	23	42	69	44	92	1.35

RDS = Rendimiento de Semilla (kg/ha)

PV = Peso Volumétrico (kg/hl)

PMS = Peso de Mil Semillas (g).

SA = Semilla Amarilla (%)

SC = Semilla Café (%).

SM = Semilla Manchada (%)

SD = Semilla Dura (%)

CG I = Capacidad de Germinación al primer conteo (%)

CG II = Capacidad de Germinación al segundo conteo (%)

PNF = Plántulas Normales Fuertes (%)

GP = Germinación Potencial (%)

PS = Peso Seco (mg/pla.)

Cuadro 4.15. Análisis de la variable peso volumétrico de semilla de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias
No.	D	S	P ₂ O ₅					medio		kg/hl
1	3	90	30	225	+449	+896	+1788	74.5	M	75.00
2	3	90	60	224	+447	+892	-4	-0.33	K	74.70
3	3	180	30	224	+448	-2	-6	-0.50	P	74.70
4	3	180	60	223	+444	-2	+18	+1.50 *	PK	74.3
5	5	90	30	229	-1	-2	-4	-0.33	D	76.3
6	5	90	60	219	-1	-4	0	0	DK	73.0
7	5	180	30	218	-10	0	-2	-0.16	DP	72.7
8	5	180	60	226	+8	+18	+18	+1.50 *	DPK	75.3
9	1	90	30	223						74.3
10	7	180	60	223						74.3
11	3	0	30	222						74.0
12	5	270	60	223						74.3
13	3	90	0	220						73.3
14	5	180	90	217						72.3
15	1	0	0	225						75.0

CME = 0.807813; 30 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^k - 2}} = 1.697 \sqrt{\frac{0.807813}{6}} = 0.622 \text{ kg/hl (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 2.042 \sqrt{\frac{2(0.807813)}{3}} = 1.49 \text{ kg/hl (Diferencia mínima significativa normal 0.05).}$$

fueron iguales entre si y superiores a 0 y 90 kg. Al compararse las diferentes combinaciones o tratamientos, se encontró que el tratamiento 5 (5-90-30) con una media de 76.3 kg/hl fue estadísticamente igual a la de los tratamientos 1, 8 y 15 y superior a todos los demás (Figura 4.10.).

Peso de Mil Semillas

Para esta variable tanto los efectos principales de los tres factores, así como su interacción resultaron con significancia, por lo que se decidió manejar las ocho medias de los tratamientos (Columna 6 del Cuadro 4.16.). Al realizar la comparación entre los cuatro niveles de cada factor se detectó que para la densidad de siembra el nivel de 3 kg fue superior a 1, 5 y 7 kg, mientras que para el fósforo el nivel de 180 kg fue estadísticamente superior a 0, 90 y 270 kg. Para el potasio el nivel de 30 kg fue superior a 0, 60 y 90 kg. La comparación entre los tratamientos mostró que el 3(3-180-30) con una media de 2.15 g, fue estadísticamente igual a la media de los tratamientos 1 y 2 pero superior a los demás, siendo el tratamiento 6 el que presentó la menor media (1.93 g).

Cuadro 4.16. Análisis de la variable peso de mil semillas en alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias
No.	D	S	P ₂ O ₅					medio		(g)
1	3	90	30	6.324	+12.68	+25.42	+49.65	+2.068	M	2.11
2	3	90	60	6.362	+12.74	+24.23	-0.309	-0.0259 *	K	2.12
3	3	180	30	6.474	+11.87	-0.168	+0.550	+0.0458 *	P	2.15
4	3	180	60	6.270	+12.36	-0.141	+0.225	+0.0187	PK	2.09
5	5	90	30	6.090	+0.036	+0.06	-1.19	-0.0991 *	D	2.03
6	5	90	60	5.787	-0.204	+0.49	+0.027	+0.00225	DK	1.93
7	5	180	30	6.099	-0.303	-0.240	+0.43	+0.0358 *	DP	2.03
8	5	180	60	6.261	+0.162	+0.465	+0.705	+0.0587 *	DPK	2.09
9	1	90	30	6.00						2.00
10	7	180	60	6.12						2.04
11	3	0	30	6.24						2.08
12	5	270	60	5.97						1.99
13	3	90	0	6.03						2.01
14	5	180	90	6.12						2.04
15	1	0	0	6.15						2.05

CME = 0.001403; 30 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%}, 30 \text{ gl. } \sqrt{\frac{CME}{2^{k-2}r}} = 1.697 \sqrt{\frac{0.001403}{6}} = 0.0259 \text{ g (Efecto mínimo significativo 0.10)}$$

$$DMS = t_{5\%}, 30 \text{ gl. } \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 2.042 \sqrt{\frac{2(0.001403)}{3}} = 0.06245 \text{ g (Diferencia mínima significativa normal 0.05)}$$

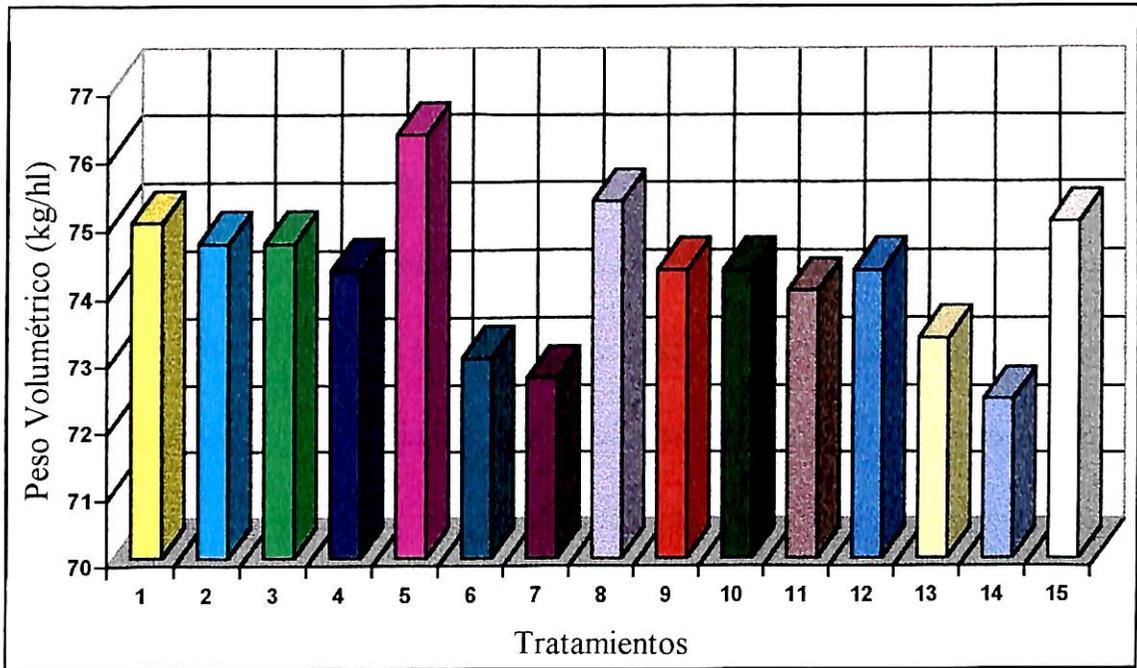


Figura 4.10. Respuesta de la variable peso volumétrico de semilla de alfalfa a los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.

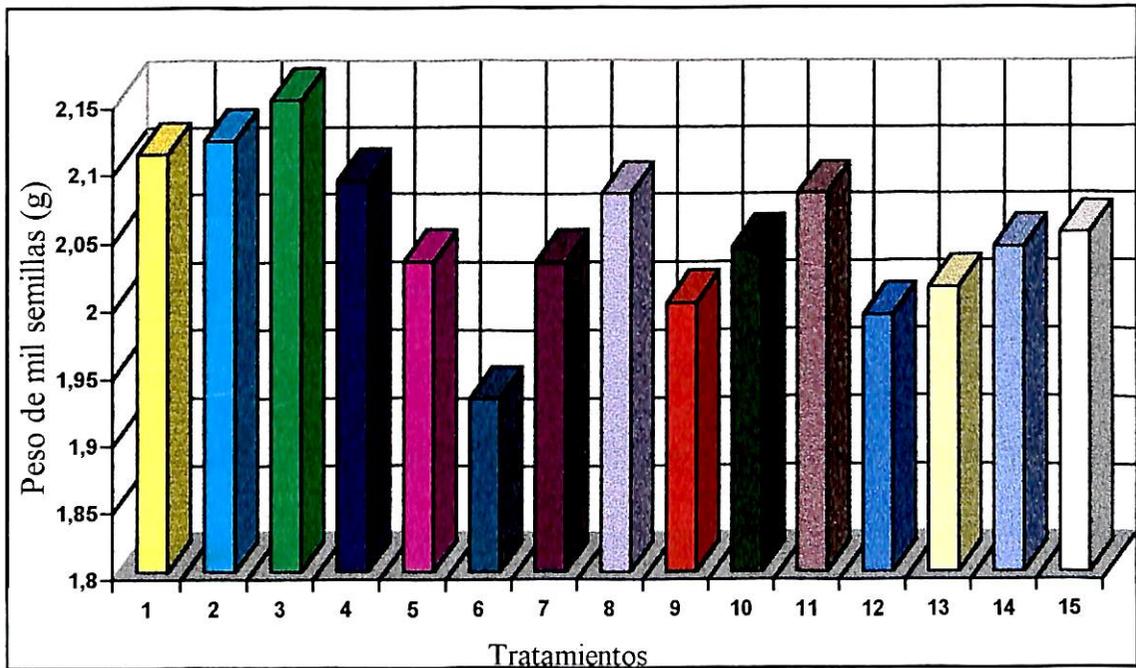


Figura 4.11. Representación gráfica del efecto de los tratamientos estudiados sobre el peso de mil semillas de alfalfa. UAAAN. 1996.

Color de Semilla

Para esta característica, se tomaron dos colores de semilla que fueron amarillo y café, por lo que se decidió practicar un análisis por separado para cada color. En lo que respecta a la semilla de testa de color amarillo, el análisis correspondiente detectó que dentro de la parte factorial los efectos principales del factor densidad de siembra y potasio fueron significativos, así como las interacciones fósforo x potasio, densidad x fósforo y la de la densidad x fósforo x potasio, razón por la cual se optó por manejar las ocho medias originales de los tratamientos. Al comparar los niveles de cada factor (parte factorial contra prolongaciones), se obtuvo que para el caso de la densidad los niveles de 1 y 3 kg fueron estadísticamente iguales entre si, siendo a su vez el nivel de 1 kg igual a 5 y 7 kg; mientras que para el caso del fósforo no se presentaron diferencias significativas entre los cuatro niveles, y por su parte para el factor potasio, el nivel de 30 kg resultó ser estadísticamente igual al de 0 kg, siendo a su vez éste último igual a los de 60 y 90 kg. Al considerarse la combinación de los niveles de los tres factores se obtuvo que el tratamiento 3 (3-180-30) con una media de 87 por ciento fue estadísticamente igual a la media de los tratamientos 1, 2, 9, 10, 11, 13 y 15, cuyas medias fluctuaron entre 80 y 85 por ciento (Cuadro 4.17. y Figura 4.12.).

Referente a la semilla con testa café, como era de esperarse, el análisis de la parte factorial presenta también significancia para los mismos efectos e

Cuadro 4.17. Análisis de la variable semilla amarilla de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6	
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias	
No.	D	P ₂ O ₅	K ₂ O					medio		Transformada	Real (%)
1	3	90	30	27.36	+55.02	+107.73	+211.41	+8.808	M	9.12	83.00
2	3	90	60	27.66	+52.71	+103.68	-4.05	-0.3375 *	K	9.22	85.00
3	3	180	30	28.02	+50.76	-3.03	-0.15	-0.0125	P	9.34	87.00
4	3	180	60	24.69	+52.92	-1.02	-2.61	-0.2175 *	PK	8.23	68.00
5	5	90	30	25.89	+0.30	-2.31	-4.05	-0.3375 *	D	8.63	75.00
6	5	90	60	24.87	-3.33	+2.16	+2.01	+0.1675	DK	8.29	69.00
7	5	180	30	26.46	-1.02	-3.63	+4.47	+0.3725 *	DP	8.82	78.00
8	5	180	60	26.46	0	+1.02	+4.65	+0.3875 *	DPK	8.82	78.00
9	1	90	30	26.79						8.93	82.00
10	7	180	60	26.79						8.93	80.00
11	3	0	30	26.76						8.92	80.00
12	5	270	60	26.16						8.72	76.33
13	3	90	0	26.88						8.96	80.00
14	5	180	90	26.16						8.72	76.00
15	1	0	0	27.72						9.24	85.00

CME = 0.080151; 30 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^k \cdot 2^r}} = 1.697 \sqrt{\frac{0.080151}{6}} = 0.1961 \text{ (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 2.042 \sqrt{\frac{2(0.080151)}{3}} = 0.4720 \text{ (Diferencia mínima significativa normal).}$$

interacciones que se presentan en la semilla amarilla, pero con la diferencia de que tal significancia es en sentido negativo, debido a que se trata de datos complementarios, por lo que al realizar las comparaciones tanto dentro de cada factor como en sus posibles combinaciones, se detecta que los tratamientos con mayor por ciento de semilla amarilla ahora son los que muestran la menor cantidad de semilla café y viceversa, es decir que el tratamiento 4(3-180-60) que tuvo un 68 por ciento de semilla amarilla, ahora presenta un valor complementario de 32 por ciento de semilla café, el cual numéricamente es el mayor pero estadísticamente es igual a la media de los tratamientos 5, 6, 12 y 14. (Cuadro 4.18. y Figura 4.12.)

Semilla Manchada

Para el caso de esta variable se obtuvo, que dentro de la parte factorial sólo la interacción densidad x potasio resultó ser significativa, pero en sentido negativo, es decir que en ambos factores la respuesta es hacia los niveles bajos (3 y 0 respectivamente) y al considerar que el fósforo no fue significativo, se promediaron los ocho tratamientos para obtener una sola media, que corresponde al tratamiento 1(3-90-30), la cual fue de 15 por ciento. Cuando se compararon entre si los cuatro niveles de cada factor en forma separada, se encontró que para la densidad de siembra los niveles de 1, 3 y 5 kg fueron estadísticamente iguales entre si y superiores a 7 kg/ha; mientras que para el factor fósforo no hubo

Cuadro 4.18. Análisis de la variable semilla café en alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6	
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial medio		Medias	
No.	D	S	P ₂ O ₅	K ₂ O						Transformada	Real (%)
1	3	90	30	12.18	+23.52	+50.76	+110.52	+4.605	M	4.06	17.0
2	3	90	60	11.34	+27.24	+59.76	+7.50	+0.625 *	K	3.78	15.0
3	3	180	30	10.32	+31.68	+5.76	+0.12	+0.010	P	3.44	13.0
4	3	180	60	16.92	+28.08	+1.74	+5.70	+0.475 *	PK	5.64	32.0
5	5	90	30	14.97	-0.84	+3.72	+9.00	+0.750 *	D	4.99	25.0
6	5	90	60	16.71	+6.60	-3.60	-4.02	-0.335	DK	5.57	31.0
7	5	180	30	14.04	+1.74	+7.44	-7.32	-0.610 *	DP	4.68	22.0
8	5	180	60	14.04	0	-1.74	-9.18	-0.765 *	DPK	4.68	22.0
9	1	90	30	12.66						4.22	18.0
10	7	180	60	13.92						4.64	20.0
11	3	0	30	13.29						4.43	20.0
12	5	270	60	14.49						4.83	23.0
13	3	90	0	13.17						4.39	20.0
14	5	180	90	14.49						4.83	24.0
15	1	0	0	11.94						3.98	15.0

CME = 0.327616; 30 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2 \frac{k-2}{r}}} = 1.697 \sqrt{\frac{0.327616}{6}} = 0.396 \text{ (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 2.042 \sqrt{\frac{2(0.327616)}{3}} = 0.954 \text{ (Diferencia mínima significativa normal 0.05).}$$

Cuadro 4.19. Análisis de la variable semilla manchada de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6	
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias	
No.	DS	P ₂ O ₅	K ₂ O					medio		Transformada	Real (%)
1	3	90	30	11.07	+22.20	+46.23	+92.79	+3.866	M	3.86	15.0
2	3	90	60	11.13	+24.03	+46.56	+1.53	+0.127	K		
3	3	180	30	10.92	+22.95	+2.25	+2.49	+0.207	P		
4	3	180	60	13.11	+23.61	-0.72	+1.95	+0.162	PK		
5	5	90	30	11.61	+0.06	+1.83	+0.33	+0.027	D		
6	5	90	60	11.34	+2.19	+0.66	-2.97	-0.247*	DK		
7	5	180	30	12.03	-0.27	+2.13	-1.17	-0.097	DP		
8	5	180	60	11.58	-0.45	-0.18	-2.31	-0.192	DPK		
9	1	90	30	10.80						3.60	13.0
10	7	180	60	10.08						3.36	11.0
11	3	0	30	10.77						3.59	13.0
12	5	270	60	11.07						3.69	14.0
13	3	90	0	13.17						4.39	19.0
14	5	180	90	10.92						3.64	13.0
15	1	0	0	11.85						3.95	16.0

CME = 0.112337; 30 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2 \frac{k-2}{r}}} = 1.697 \sqrt{\frac{0.112337}{6}} = 0.2322 \text{ (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{CME \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} = 2.042 \sqrt{0.112337 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{24} \right)} = 0.42 \text{ (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 2.042 \sqrt{\frac{2(0.112337)}{3}} = 0.56 \text{ (Diferencia mínima significativa normal 0.05).}$$

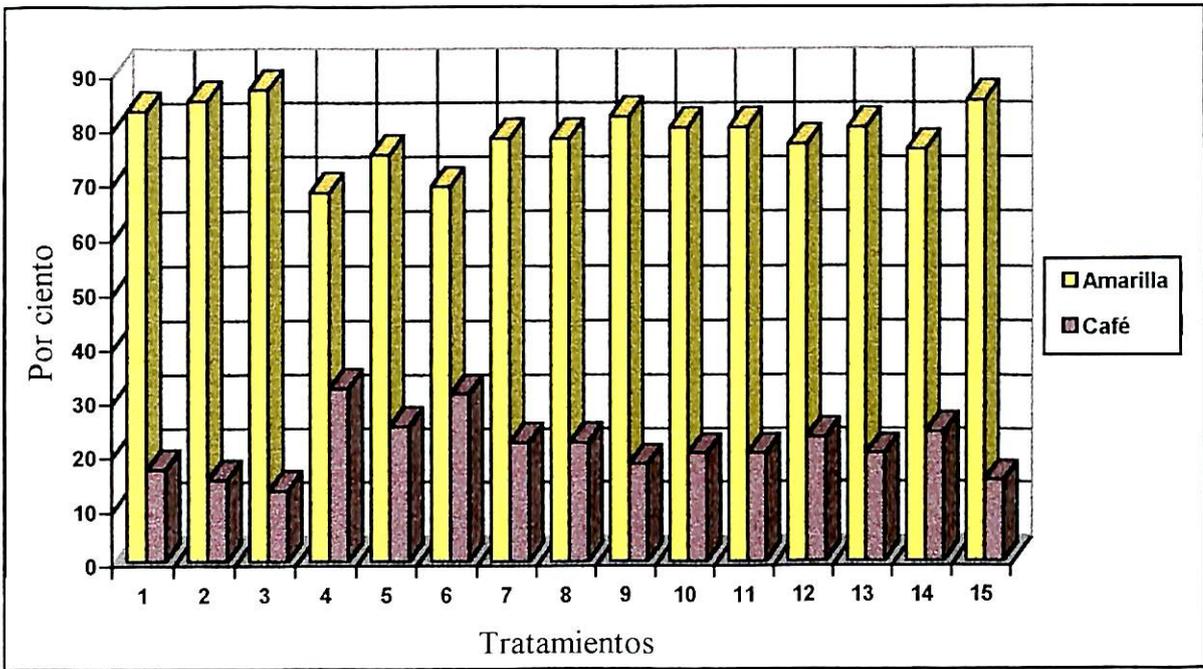


Figura 4.12. Efecto de los tratamientos sobre el color de la semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

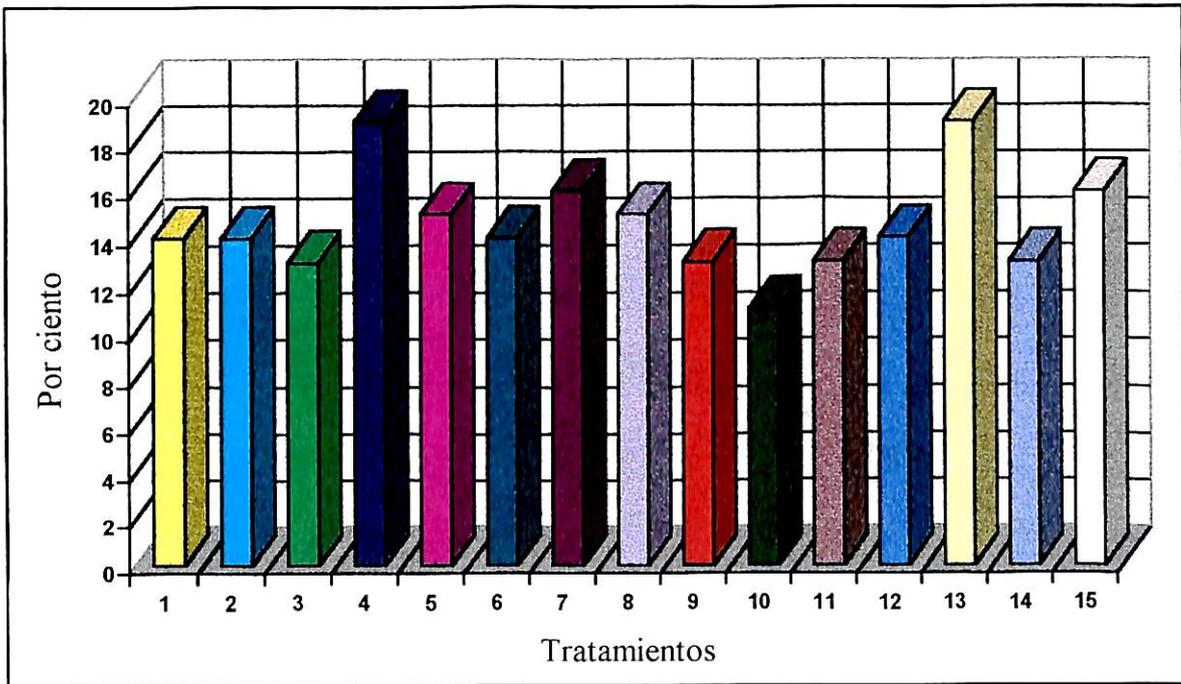


Figura 4.13. Comportamiento de la variable semilla manchada en los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.

diferencias significativas en todo el espacio de exploración, y para el potasio el nivel de 0 kg fue superior a 30, 60 y 90 kg/ha. Al comparar los diferentes tratamientos se obtuvo que el 4 y 13 con medias de 19 por ciento, fueron estadísticamente iguales a los tratamientos 7 y 15, pero superiores a los demás (Cuadro 4.19. y Figura 4.13.).

Variables de Calidad Fisiológica

Se presentaron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de la variable semilla dura y diferencias altamente significativas para las variables capacidad de germinación al primer conteo y plántulas normales fuertes, no habiendo significancia para las variables capacidad de germinación al segundo conteo, germinación potencial y peso seco. Los coeficientes de variación para este tipo de variables, fluctuaron desde 3.50 hasta 9.00 por ciento (Cuadro 4.20). Las medias para cada tratamiento se reportan en el Cuadro 4.14.

Capacidad de Germinación en Primer Conteo

Los resultados para esta variable se muestran en el Cuadro 4.21, donde se observa que dentro de la parte factorial solo la interacción densidad x fósforo mostró significancia, aunque en sentido negativo y al considerar que el potasio no

Cuadro 4.21. Análisis de la variable capacidad de germinación al primer conteo en semilla de alfalfa por el Método Automático de Yates.UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6	
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias	
No.	DS	P2O5	K2O					medio		Transformada	Real (%)
1	3	90	30	22.74	+46.26	+94.56	+187.20	+7.80	M	7.8	61
2	3	90	60	23.52	+48.30	+92.64	+0.78	+0.065	K		
3	3	180	30	24.15	+47.10	+0.78	+0.48	+0.040	P		
4	3	180	60	24.15	+45.54	0	-2.70	-0.225	PK		
5	5	90	30	23.07	+0.78	+2.04	-1.92	-0.160	D		
6	5	90	60	24.03	0	-1.56	-0.78	-0.065	DK		
7	5	180	30	23.25	+0.96	-0.78	-3.60	-0.300*	DP		
8	5	180	60	22.29	-0.96	-1.92	-1.14	-0.095	DPK		
9	1	90	30	23.01						7.67	59
10	7	180	60	20.82						6.94	48
11	3	0	30	22.23						7.41	55
12	5	270	60	19.68						6.56	43
13	3	90	0	21.81						7.27	53
14	5	180	90	20.46						6.82	47
15	1	0	0	19.29						6.43	42

CME = 0.117163; 30 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^{k-2}r}} = 1.697 \sqrt{\frac{0.117163}{6}} = 0.2353 \text{ (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{CME\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)} = 2.042 \sqrt{0.117163\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{24}\right)} = 0.428 \text{ (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05)}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 2.042 \sqrt{\frac{2(0.117163)}{3}} = 0.57 \text{ (Diferencia mínima significativa normal 0.05)}$$

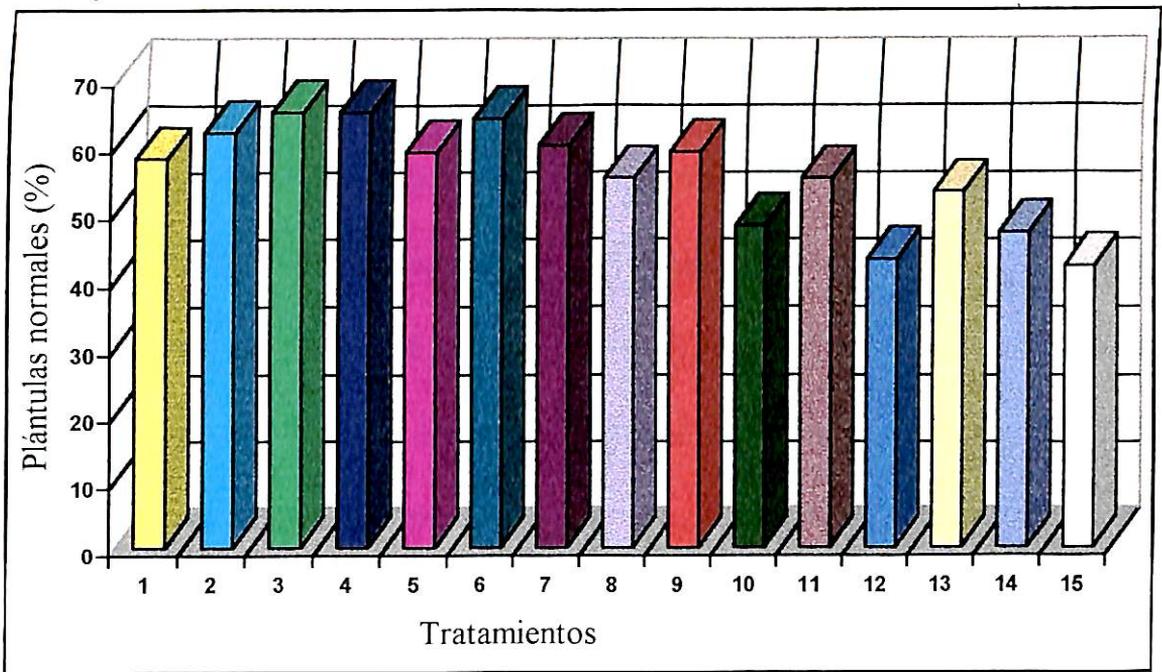


Figura 4.14. Efecto de los tratamientos estudiados sobre la variable capacidad de germinación de semilla de alfalfa en primer conteo. UAAAN. 1996.

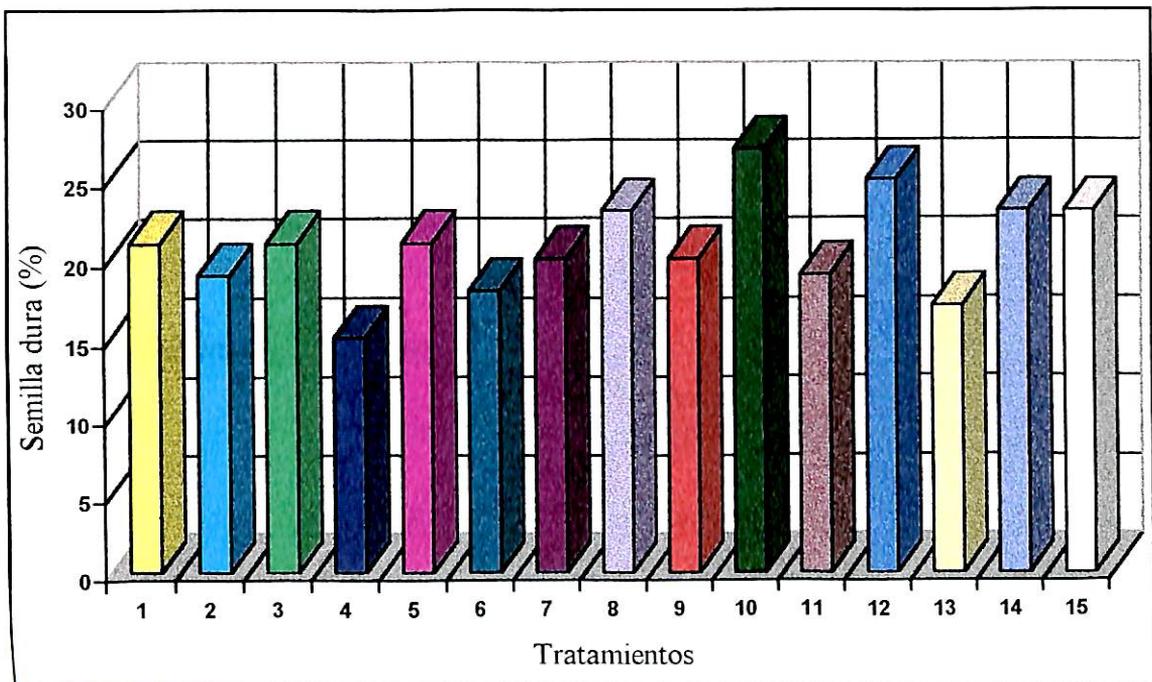


Figura 4.15. Respuesta de la variable semilla dura en alfalfa a los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.

Semilla Dura

En el análisis de la parte factorial se obtuvo significancia para la triple interacción densidad x fósforo x potasio, por lo que se manejaron las ocho medias de los tratamientos (Columna 6 del Cuadro 4.22.). Al realizar la comparación de los diferentes niveles de cada factor por separado no se presentaron diferencias significativas, mas sin embargo, al manejar en conjunto los niveles de los tres factores, se pudo detectar que el tratamiento 10(7-180-60) con una media de 27 por ciento, resultó ser estadísticamente igual a la de los tratamientos 1, 3, 5, 8, 12, 14 y 15 y superior a los demás, ubicándose el tratamiento 4(3-180-60) con la menor media (15 por ciento), como se aprecia en la Figura 4.15.

Plántulas Normales Fuertes

El análisis respectivo para ésta variable (Cuadro 4.23.), nos indica que en cuanto a los efectos factoriales, tanto la densidad en su efecto principal como su interacción con el fósforo, resultaron ser significativas, aunque en sentido negativo y tomando en cuenta que el factor potasio no mostró efecto significativo, se decidió promediar los ocho tratamientos obteniéndose una sola media de 60 por ciento, representada por el tratamiento 1(3-90-30); analizando el espacio de exploración de cada factor, se encontró que para el caso de la densidad los cuatro niveles son estadísticamente iguales, mientras que para el fósforo los niveles 0, 90

Cuadro 4.22. Análisis de la variable semilla dura de alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6	
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias	
No.	D	S	P ₂ O ₅	K ₂ O				medio		Transformada	Real (%)
1	3	90	30	13.59	+26.49	+51.81	+105.66	+4.40	M	4.53	21.0
2	3	90	60	12.90	+25.32	+53.85	-2.70	-0.225	K	4.30	18.0
3	3	180	30	13.68	+26.34	-2.73	0	0	P	4.56	21.0
4	3	180	60	11.64	+27.51	+0.03	+0.60	-0.05	PK	3.88	15.0
5	5	90	30	13.65	-0.69	-1.17	+2.04	+0.170	D	4.55	21.0
6	5	90	60	12.69	-2.04	+1.17	+2.76	+0.230	DK	4.23	18.0
7	5	180	30	13.26	-0.96	-1.35	+2.34	+0.195	DP	4.42	20.0
8	5	180	60	14.25	+0.99	+1.95	+3.30	+0.280*	DPK	4.75	23.0
9	1	90	30	13.23						4.41	20.0
10	7	180	60	15.39						5.13	27.0
11	3	0	30	12.93						4.13	19.0
12	5	270	60	15.03						5.01	25.0
13	3	90	0	12.36						4.12	17.0
14	5	180	90	14.37						4.79	23.0
15	1	0	0	14.37						4.79	23.0

CME = 0.16566; 30 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{k-2}} = 1.697 \sqrt{\frac{0.165660}{6}} = 0.280 \text{ (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 2.042 \sqrt{\frac{2(0.165660)}{3}} = 0.6786 \text{ (Diferencia mínima significativa normal 0.05)}$$

Cuadro 4.23. Análisis de la variable plántulas normales fuertes en alfalfa por el Método Automático de Yates. UAAAN. 1996.

1				2	3			4	5	6	
Tratamientos				Totales	Método Automático de Yates			Efecto factorial		Medias	
No.	D	S	P ₂ O ₅	K ₂ O				medio		Transformada	Real (%)
1	3	90	30	22.71	+46.50	+95.04	+1.86	+7.750	M	7.75	60
2	3	90	60	23.79	+48.54	+90.96	+1.86	+0.155	K		
3	3	180	30	24.24	+46.11	+1.14	+0.78	+0.065	P		
4	3	180	60	24.30	+44.85	+0.72	-2.28	-0.190	PK		
5	5	90	30	22.56	+1.08	+2.04	-4.08	-0.340*	D		
6	5	90	60	23.55	+0.06	-1.26	-0.42	-0.035	DK		
7	5	180	30	22.56	+0.990	-1.02	-3.30	-0.275*	DP		
8	5	180	60	22.29	-0.27	-1.26	-0.24	-0.020	DPK		
9	1	90	30	22.89						7.65	58
10	7	180	60	21.96						7.32	54
11	3	0	30	22.29						7.43	55
12	5	270	60	20.85						6.95	48
13	3	90	0	23.28						7.76	60
14	5	180	90	21.54						7.18	52
15	1	0	0	19.89						6.63	44

CME = 0.106291; 30 gl

* Significativo al 10% de Nivel de Significancia

$$EMS = t_{10\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{CME}{2^k \cdot 2^r}} = 1.697 \sqrt{\frac{0.106291}{6}} = 0.2258 \text{ (Efecto mínimo significativo 0.10).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{CME \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} = 2.042 \sqrt{0.106291 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{24} \right)} = 0.41 \text{ (Diferencia mínima significativa desglosada 0.05).}$$

$$DMS = t_{5\%, 30 \text{ gl.}} \sqrt{\frac{2CME}{r}} = 2.042 \sqrt{\frac{2(0.106291)}{3}} = 0.543 \text{ (Diferencia mínima significativa normal 0.05)}$$

y 180 son iguales entre si, siendo éste último igual a 270 kg. Para el potasio los niveles de 0, 30 y 60 fueron estadísticamente iguales, siendo el nivel de 90 kg estadísticamente igual al de 60 kg/ha de K₂O. Al realizar la comparación entre los diferentes tratamientos se obtuvo que los identificados como 1, 9, 11 y 13 con medias de 60, 58, 55 y 60 fueron estadísticamente iguales entre si y diferentes a los demás, situándose de nuevo el testigo con la menor media (44 por ciento), lo cual se puede constatar en la Figura 4.16

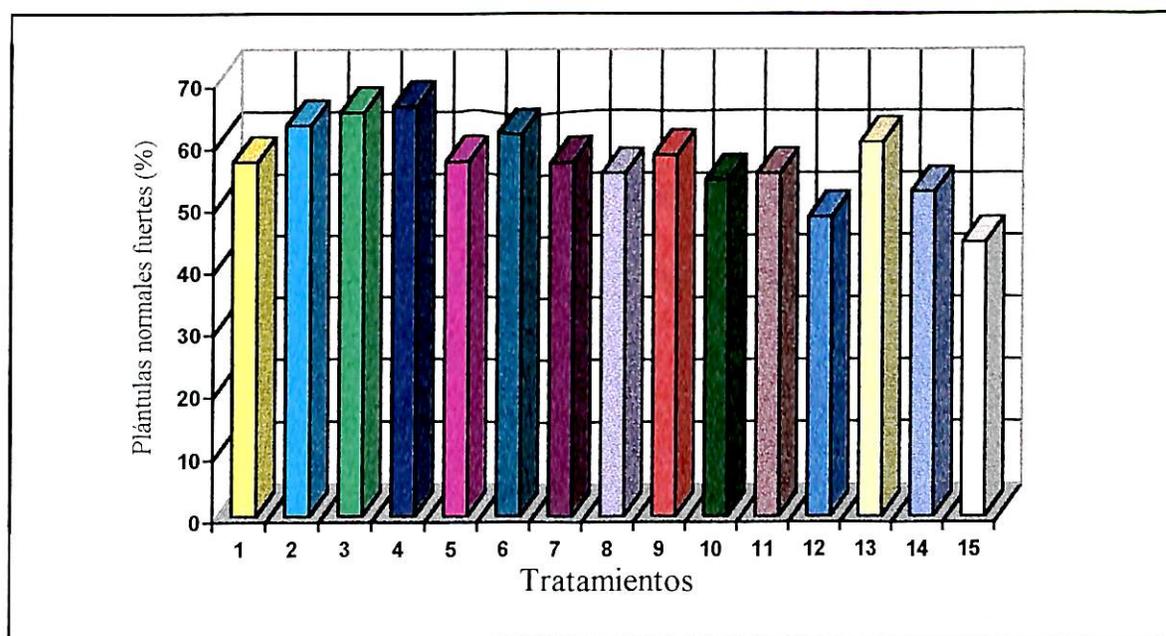


Figura 4.16. Comportamiento de la variable plántulas normales fuertes en alfalfa, por efecto de los tratamientos evaluados. UAAAN. 1996.

Correlaciones

Variables Agronómicas

El grado de asociación entre las variables agronómicas analizadas se presenta en el Cuadro 4.24, donde se observan tanto los coeficientes de correlación como su significancia estadística. En este caso considerando los objetivos primordiales del estudio, sólo se hará referencia a la variable rendimiento de semilla y sus diferentes componentes. De esta manera podemos observar en primer término que el rendimiento muestra una correlación positiva y significativa con las variables tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta y semillas por planta, con valores de 0.63, 0.60, 0.57 y 0.59 respectivamente, detectándose que a su vez dichas variables se encuentran estrechamente correlacionadas entre si.

Las variables altura de planta, tallos por planta, racimos por tallo, vainas por racimo, semillas por vaina y diámetro de corona, muestran valores de correlación positivos, aunque sin llegar a ser significativos ($P < 0.05$), lo cual de alguna manera nos indica que se encuentran asociadas con el rendimiento de semilla, pero no en el mismo grado que aquellas variables que si alcanzaron coeficientes significativos.

Cuadro 4.24. Matriz de correlaciones de las variables agronómicas evaluadas en producción de semilla de alfalfa.
UAAAN. 1996.

	RDS	ADP	TPP	TRP	RPT	RPP	VPR	VPP	SPV	SPP	DDC
RDS	1	0.19	0.48	0.63 *	0.35	0.60 *	0.25	0.57 *	0.32	0.59 *	0.50
ADP		1	0.61 *	0.56 *	0.51	0.59 *	0.55 *	0.61 *	0.09	0.58 *	0.60 *
TPP			1	0.93 **	0.69 **	0.93 **	0.04	0.88 **	0.12	0.83 **	0.92 **
TRP				1	0.63 *	0.97 **	0.07	0.93 **	0.13	0.89 **	0.93 **
RPT					1	0.79 **	-0.02	0.77 **	-0.0004	0.67 **	0.71 **
RPP						1	0.07	0.96 **	0.13	0.92 **	0.95 **
VPR							1	0.25	0.17	0.31	0.16
VPP								1	0.20	0.97 **	0.93 **
SPV									1	0.41	0.21
SPP										1	0.90 **
DDC											1

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente

RDS= Rendimiento de semilla
 TPP= Tallos por planta
 RPT= Racimos por tallo
 VPR= Vainas por racimo
 SPV= Semillas por vaina
 DDC= Diámetro de corona

ADP= Altura de planta
 TRP= Tallos con racimos por planta
 RPP= Racimos por planta
 VPP= Vainas por planta
 SPP= Semillas por planta

La correlación entre los diferentes componentes de rendimiento se puede apreciar claramente en la matriz respectiva del cuadro anterior, resaltándose que la variable diámetro de corona, muestra coeficientes de correlación significativos con la mayoría de las demás variables, es decir que al tener las plantas una mayor reserva de carbohidratos en la corona y raíces, ocasiona un mayor vigor en su parte aérea y a la vez una mayor capacidad reproductiva.

Con el fin de determinar la verdadera influencia de las variables evaluadas sobre el rendimiento de semilla, se realizó un análisis de regresión múltiple en el que se obtuvo un coeficiente de determinación $R= 0.78$, el cual resulta ser aceptable, pero de alguna forma nos indica que es necesario considerar un mayor número de variables, para poder explicar la variación observada en el rendimiento.

Las relaciones entre las variables correlacionadas significativamente con el rendimiento, así como aquellas que mostraron valores medios positivos, como el diámetro de corona y tallos por planta (0.50 y 0.48), fueron estudiadas mediante la descomposición de los efectos particulares que determinan un coeficiente de correlación a través del análisis de coeficientes de senderos (Cuadro 4.25.), observándose que la variable tallos con racimos por planta, es la que influye más fuertemente sobre el rendimiento, tanto por su efecto directo (1.1956), como por los efectos indirectos que se presentan al relacionarse con las demás variables.

Cuadro 4.25. Coeficientes de sendero directos e indirectos de los principales componentes de rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

	TPP	TRP	RPP	VPP	SPP	DDC	CORES
TPP	<u>-0.5860</u>	1.1119	0.6635	-0.7358	0.6231	-0.5967	0.48
TRP	-0.5450	<u>1.1956</u>	0.6920	-0.7776	0.6681	-0.6032	0.63 *
RPP	-0.5450	1.1597	<u>0.7135</u>	-0.8027	0.6906	-0.6162	0.60 *
VPP	-0.5157	1.1119	0.6849	<u>-0.8361</u>	0.7282	-0.6032	0.57 *
SPP	-0.4864	1.0641	0.6564	-0.8110	<u>0.7507</u>	-0.5838	0.59 *
DDC	-0.5391	1.1119	0.6778	-0.7776	0.6756	<u>-0.6486</u>	0.50

Residual = 0.6767

* Significativo al 0.05

Los valores subrayados corresponden a los efectos directos y los demás son los efectos indirectos

TPP = Tallos por planta

TRP = Tallos con racimos por planta

RPP = Racimos por planta

VPP = Vainas por planta

SPP = Semillas por planta

DDC = Diámetro de corona

CORES = Correlación con Rendimiento de Semilla

Efectos directos positivos importantes son presentados también por las variables semillas por planta y racimos por planta (0.7507 y 0.7135, respectivamente), mientras que para las variables vainas por planta, diámetro de corona y tallos por planta, sus efectos directos fueron negativos. El efecto residual que incluye a las variables que de alguna forma no fueron consideradas en este trabajo, alcanzó un valor de 0.6767. Con respecto al grado de correlación entre la variable rendimiento de semilla y las variables de calidad física y fisiológica, se aprecia en el Cuadro 4.26. que no existe asociación significativa entre estas variables, lo cual

Cuadro 4.26. Matriz de correlaciones de las variables físicas y fisiológicas evaluadas en producción de semilla de alfalfa.
UAAAN. 1996.

	RDS	PV	PMS	SA	SC	SM	SD	CG I	CG II	PNF	GP	PS
RDS	1	-0.007	0.38	0.105	-0.12	0.21	-0.41	0.38	0.36	0.31	-0.18	0.07
PV		1	0.37	0.23	-0.21	-0.05	0.17	0.02	-0.28	-0.06	-0.24	0.10
PMS			1	0.54 *	-0.56 *	-0.05	-0.05	0.24	-0.14	0.29	-0.42	0.65 **
SA				1	-0.99 **	-0.35	0.27	-0.20	-0.37	-0.15	-0.19	0.29
SC					1	0.34	-0.22	0.13	0.34	0.08	0.25	-0.26
SM						1	-0.62 *	0.18	0.60 *	0.26	-0.15	-0.13
SD							1	-0.70 **	-0.90 **	-0.71 **	0.34	0.12
CG I								1	0.66 **	0.91 **	-0.19	0.06
CG II									1	0.72 **	0.08	-0.12
PNF										1	-0.06	0.14
GP											1	0.08
PS												1

* , ** Significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente

RDS= Rendimiento de semilla

PMS= Peso de mil semillas

SC= Semilla café

SD= Semilla dura

CG II= Capacidad de germinación al segundo conteo

GP= Germinación potencial

PV= Peso volumétrico

SA= Semilla amarilla

SM= Semilla manchada

CG I= Capacidad de germinación al primer conteo

PNF= Plántulas normales fuertes

PS= Peso seco

indica que no necesariamente los tratamientos de mayor rendimiento, tienen a su vez la mejor calidad física y fisiológica .

El peso volumétrico al igual que el rendimiento de semilla, no presentó correlación significativa con ninguna de las variables en estudio. En cuanto a la variable PMS muestra una correlación positiva y significativa (0.54 y 0.65) con las variables semilla amarilla y peso seco respectivamente; mientras que con semilla café se asocia significativamente, pero en sentido negativo (-0.56). Por su parte el contenido de semilla amarilla muestra un coeficiente de correlación significativo pero negativo, con su complemento de semilla café (-0.99), lo cual era de esperarse, ya que al aumentar una la otra disminuye en el mismo sentido y magnitud.

La variable semilla manchada presenta una asociación positiva con la capacidad de germinación en el segundo conteo (0.60), mientras que con semilla dura se correlaciona significativamente, pero en sentido inverso (-0.62). En lo que respecta a la variable semilla dura, ésta muestra una correlación negativa, tanto con capacidad de germinación al primero y segundo conteos, como con plántulas normales fuertes, presentando éstas últimas tres variables una estrecha correlación entre si, pero no muestran algún grado de asociación con la variables peso seco y germinación potencial.

DISCUSIÓN

La discusión de los resultados obtenidos se presenta en el mismo orden en que aparecen en el capítulo anterior.

Análisis de Varianza

Variables Agronómicas

Con respecto al análisis de varianza practicado para este tipo de variables, resulta importante señalar que de las once variables evaluadas, solo en tres de ellas el factor tratamientos no alcanzó significancia al 5 por ciento de probabilidad, siendo racimos por tallo, vainas por racimo y semillas por vaina, lo cual nos indica por una parte que dichas variables no se ven afectadas significativamente por los tratamientos en cuestión, o bien que es necesario ampliar el espacio de exploración en cada uno de los factores (densidad de siembra, fósforo y potasio), para de esta manera obtener tal vez una respuesta distinta que muestre diferencias entre las medias de los tratamientos; o bien pudiera suceder que para el caso específico de la variedad utilizada (INIA-76),

estas variables no se vean afectadas al modificar los niveles de los factores evaluados.

Al respecto Pankiw *et al.* (1977), encontraron que por su parte el número de semillas por vaina, tiende a permanecer constante a través del tiempo dentro de un mismo cultivar. García, M. (1987), al manejar diferentes densidades de población, encontró también que las variables número de semillas por vaina y número de racimos por tallo, no se veían afectadas significativamente por los tratamientos; por lo que se puede decir que los resultados obtenidos por estos autores concuerdan con los de la presente investigación.

Dentro de las variables evaluadas que mostraron significancia para el factor tratamientos estuvieron: Altura de planta, tallos por planta, tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta, semillas por planta, diámetro de corona y rendimiento de semilla, las cuales se discuten cada una por separado.

Altura de Planta

La altura de planta para los diferentes tratamientos osciló entre 53 y 67 cm, observándose que la tendencia principal es que a medida que se manejan densidades bajas (1 kg), aun con niveles bajos de fósforo y potasio, como en el

caso de los tratamientos 9 y 15, esto ocasiona que las plantas se desarrollen más libremente y alcancen una mayor altura, debido a que existe una menor competencia entre ellas por nutrimentos, luz y agua; sin embargo, sucede también que a medida que se incrementan las densidades de siembra a 3, 5 y 7 kg y se combinan con niveles mayores de fósforo y potasio, como sería el caso de los tratamientos 4, 10 y 12, esto propicia que la altura de planta se incremente y llegue a ser estadísticamente igual a la que se obtiene con densidades de 1 kg; es decir que cuando se tienen densidades mayores de 1 kg, el número de plantas por unidad de superficie es mayor y por consiguiente la competencia entre ellas se incrementa, por lo que es necesario que cuenten con mayores niveles de nutrimentos para que puedan desarrollarse. Además al tener una mayor densidad de población los tallos de las plantas tienden a elongarse en busca de la luz, siendo por lo general dichos tallos de menor diámetro y vigor que aquellos de las plantas con densidades de 1 kg. Es importante señalar que a pesar de que no se presentó significancia entre algunas de las medias de los tratamientos evaluados, existe una tendencia clara en el sentido de que al incrementarse la densidad se disminuya la altura de planta, lo cual de alguna manera concuerda con lo que obtuvo García M. (1987), ya que este autor encontró que existe una correlación significativa pero negativa, entre densidad de población y altura de planta.

Tallos por Planta

El número promedio de tallos por planta, considerando los diferentes tratamientos en estudio, fluctuó entre ocho y 14, correspondiendo el menor a los tratamientos 10(7-180-60) y 11(3-0-30) y por su parte el mayor de ellos se obtuvo con el tratamiento 9(1-90-30). Esto significa que al tener densidades de siembra de 7 kg y aun con niveles de fósforo de 180 kg y 60 kg de potasio/ha, la competencia entre las plantas es fuerte, lo que ocasiona que su capacidad de ahijamiento se vea reducida; sucediendo algo parecido en el tratamiento 11, donde la densidad es de 3 kg, pero se carece del fósforo, el cual como menciona Rodríguez (1996), resulta ser muy importante para el desarrollo general de las plantas de alfalfa.

Ahora cuando las densidades de siembra son de 1 kg y el nivel de fósforo mínimamente es de 90 kg, las plantas están sujetas a una menor competencia y por consiguiente tienen una mayor producción de tallos. Cabe señalar de que a pesar de que el potasio de manera independiente, no tuvo efecto significativo en sus diferentes niveles, de alguna forma cuando se maneja con densidades de 1 y 3 kg y con 90 y 180 kg de fósforo, muestra una tendencia a incrementar el número de tallos, sobre todo al aumentarse de 0 a 60 kg de K₂O/ha; (tratamientos 1, 2, 3 y 4), tal como se aprecia en el Cuadro 4.4.

Resultados similares en cuanto al efecto de la densidad fueron encontrados por Maslinkow *et al.* (1982) y García M. (1987), ya que al manejarse las plantas de manera más distanciada, se tuvo una mayor capacidad de producción de tallos.

Tallos con Racimos por Planta

Para el caso de esta variable, el mejor tratamiento resulta ser el 9, es decir donde se combina la densidad más baja (1 kg) con 90 kg de fósforo y 30 kg de potasio, es decir que al tener una densidad de población relativamente baja y en presencia de estos niveles de nutrimentos se promueve que las plantas cubran adecuadamente sus requerimientos nutricionales y desarrollen un mayor número de tallos con racimos, en comparación con aquellas donde tanto la densidad como los niveles de fósforo y potasio son mayores (tratamientos 8 y 10), donde debido a las altas densidades de 5 y 7 kg respectivamente, se presenta una gran competencia que reduce la capacidad productiva de las plantas.

Al comparar los tratamientos 9 y 15, se detecta claramente la influencia que tienen el fósforo y el potasio sobre el comportamiento de esta variable, es decir que al ser las plantas más vigorosas por efecto de su buen balance nutricional, se aumenta directamente su capacidad reproductiva; al respecto García M. (1987), presenta resultados similares, concluyendo que el límite biológico para producción de tallos con racimos, es afectado significativamente por las

relaciones de competencia que se establecen entre las plantas, a medida que se manejan diferentes densidades de población. Por su parte Hofbauer (1982) y Rodríguez (1996), remarcan la importancia del fósforo y el potasio en el cultivo de alfalfa para producción de semilla.

Racimos por Planta

Para esta variable existe una clara tendencia, que con respecto a la densidad de 1 kg al combinarse con 90 y 30 kg de fósforo y potasio, respectivamente, resulta ser el tratamiento con el mayor promedio de racimos por planta (180); al compararse este tratamiento con el testigo absoluto, se detecta una diferencia de 74 racimos a favor del tratamiento 9, lo cual demuestra la importancia del fósforo y el potasio al nivel de la densidad de 1 kg.

Por otra parte, a medida que se aumentan tanto la densidad de siembra de 3 a 7 kg y a pesar de que se incrementan los niveles de fósforo y potasio, los promedios de racimos por planta disminuyen; y considerando que el tratamiento 15(1-0-0) fue estadísticamente igual a todos los demás con excepción del 9, se puede deducir que la densidad de siembra es el factor que ejerce una mayor influencia sobre esta variable: resultados similares han sido encontrados por García, M. (1987), ya que al manejar a las plantas de alfalfa con una separación de 40 cm entre ellas, obtuvo un promedio de 146 racimos por planta, el cual fue

muy superior al obtenido en aquellas plantas que estuvieron más juntas. Al respecto también Kowithayakorn (1982) y Maslinkov *et al.* (1982), reportan que con densidades bajas se incrementa el número de tallos y puntos de fructificación por planta.

Vainas por Planta

Debido a que esta variable fue obtenida en forma indirecta, considerando el número de racimos por planta y el número de vainas por racimo, era de esperarse que mostrara una tendencia muy similar a la que presenta el número de racimos, es decir que el más alto promedio de vainas por planta (1850) se obtiene con el tratamiento 9(1-90-30). Al compararse este tratamiento con el testigo (1-0-0), se obtiene una diferencia significativa de 867 vainas, la cual se atribuye básicamente a la presencia del fósforo y el potasio en el tratamiento 9; al respecto Geller (1978), menciona que estos dos nutrimentos bajo ciertas condiciones incrementan el número de vainas por planta.

Es muy importante señalar que con la densidad de 3 kg no existen diferencias significativas entre los niveles 0 y 90 de fósforo y 0 y 30 de potasio (tratamientos 1 vs 13 y 1 vs 11); y a medida que se aumenta la densidad de siembra de 5 a 7 kg y se manejan altos niveles de fósforo y potasio, los promedios de vainas por planta se reducen considerablemente, en comparación con el

tratamiento 9, lo cual nos indica que al presentarse una mayor competencia entre las plantas, se reduce su capacidad de producción de vainas.

Semillas por Planta

Las medias para esta variable, oscilaron desde 2117 para el tratamiento 6, hasta 10289 para el tratamiento 9, el cual fue sin lugar a dudas el mejor. Al comparar este tratamiento con el testigo, se obtiene una diferencia significativa a favor del primero, lo cual nos indica la importancia de los nutrimentos fósforo y potasio sobre esta variable, al manejarse con densidades de siembra bajas.

Al incrementarse las densidades a 3, 5 y 7 kg, se obtiene un mayor número de plantas por unidad de superficie, pero a la vez existe una mayor competencia entre ellas y aunque tengan niveles altos de fósforo y potasio (270 y 90 kg, respectivamente), aun así su capacidad de producción de vainas se reduce y por consiguiente también el número total de semillas producidas. Al respecto Dobrenz y Massengale (1966) y García, M. (1987), encontraron que a medida que las plantas están sujetas a una menor competencia y tienen un balance adecuado de nutrimentos, acumulan mayor cantidad de reservas de carbohidratos y son capaces de producir un mayor número de semillas.

Diámetro de Corona

Las plantas provenientes del tratamiento 9(1-90-30), resultaron ser las que tuvieron el mayor promedio de diámetro de corona (2.38 cm) y a la vez presentaron un mayor desarrollo radical, así como también un mayor vigor en la parte aérea, todo esto debido a que al encontrarse mayormente espaciadas pudieron tener un balance nutricional adecuado, al disponer tanto del fósforo y el potasio presentes naturalmente en el suelo, así como lo que se aplicó en este tratamiento. Esto significa que bajo las condiciones del tratamiento 9, se presenta una interacción positiva entre los niveles de los tres factores, lo cual es similar a lo encontrado por Rumbaugh (1963) y a lo que menciona Rodríguez (1996), sobre las funciones del fósforo y el potasio a nivel del sistema radical y órganos de acumulación de carbohidratos.

Rendimiento de Semilla

Dentro de la producción de semilla de alfalfa, resulta importante el tratar de conjuntar el ambiente físico más favorable, así como realizar un manejo adecuado de los diferentes factores controlables de la producción. En la presente investigación se trató en lo posible, de combinar estas dos condiciones durante el ciclo de producción del cultivo, obteniéndose ante todo una respuesta diferencial en cuanto a producción de semilla, por efecto de los diferentes tratamientos que

se evaluaron, fluctuando las medias obtenidas desde 189 kg para el tratamiento 12(5-270-60), hasta 405 kg para el tratamiento 9(1-90-30), es decir una diferencia significativa de 216 kg/ha de semilla. A pesar de que la media del tratamiento 9 resultó ser estadísticamente igual al 5 por ciento de probabilidad a la de los tratamientos 3, 4, 7, 8, 14 y 15, se observa una clara tendencia a que, sobre todo a densidades bajas de siembra (1 kg), se promueva un mayor rendimiento de semilla, lo cual se puede apreciar claramente en la figura 4.9, donde a medida que se incrementa la densidad de 1 a 7 kg, el rendimiento se reduce drásticamente.

Al comparar el tratamiento 9, con los tratamientos de la parte factorial y con los de las prolongaciones, se detecta que de los factores manejados, la densidad de siembra es la que ejerce una mayor influencia sobre el rendimiento; aunque al comparar el tratamiento 9 con el testigo (1-0-0), la diferencia de 88 kg a favor del tratamiento 9 a pesar de no llegar a ser significativa al 5 por ciento de probabilidad, de alguna manera nos indica que el fósforo y el potasio están interactuando positivamente con la densidad de 1 kg para incrementar el rendimiento, lo cual se corrobora también en lo observado anteriormente en los componentes de rendimiento, donde este tratamiento fue el que se comportó mejor. Por otro lado resulta importante señalar que las plantas del tratamiento 9 al ser más vigorosas, tendrán una mayor persistencia y desarrollo durante los años posteriores del cultivo y por consiguiente su rendimiento de semilla será mayor.

El hecho de que el testigo absoluto (1-0-0) haya presentado un buen comportamiento durante este primer año, se debe a que por ser una densidad de siembra baja, los requerimientos nutricionales de fósforo y potasio no fueron muy altos y pudieron ser satisfechos con las cantidades presentes naturalmente en el suelo, así como con las tres aplicaciones que se realizaron en forma foliar del fertilizante Bayfolán durante los meses de marzo y abril.

Varios autores tales como Medvedev (1975); Copeland y McDonald (1985); García, M. (1987) y Askarian *et al.* (1996), concuerdan en que bajas densidades de siembra son más deseables para incrementar los rendimientos de semilla en alfalfa.

En lo que respecta al efecto de los nutrimentos fósforo y potasio en la producción de semilla de alfalfa, Bendixen (1991), menciona que estos elementos son muy necesarios para el establecimiento de la alfalfa y para el desarrollo radical. Así mismo Semenou (1976), encontró que la aplicación de fósforo y potasio puede incrementar el rendimiento de semilla en un 29.5 por ciento. Por su parte Ovsyannikov (1976), al aplicar 90 kg de fósforo obtuvo rendimientos de 410 kg de semilla/ha, lo cual de alguna manera es similar al rendimiento obtenido en una sola cosecha con el tratamiento 9(1-90-30) en la presente investigación (405 kg).

Resulta importante señalar que a pesar de los problemas que se tuvieron durante el establecimiento del cultivo, por el hecho de haberse retardado en un mes la fecha de siembra y tenerse un suelo con alto grado de compactación, además del daño por heladas y por liebres, los rendimientos obtenidos en un solo corte durante este primer año de desarrollo del cultivo fueron aceptables, existiendo la posibilidad de que en el segundo y tercer año, se puedan realizar por lo menos dos cosechas de semilla por año.

Por otra parte con respecto al coeficiente de variación obtenido para esta variable (34.70 por ciento), se puede considerar como aceptable, ya que al ser la alfalfa un cultivo perenne, su respuesta durante el primer año de crecimiento es muy heterogénea; al respecto coeficientes similares fueron encontrados por García S. (1987) y García M. (1987), al trabajar con las variedades de alfalfa INIA-76 y Moapa- 69 durante su primer año de desarrollo.

Análisis Económico

El objetivo final de cualquier proceso de producción agrícola, es la obtención de un mayor rendimiento del producto en cuestión y por consiguiente obtener con ésto la mayor tasa de rentabilidad; es por ésto que la realización de un análisis económico resulta imprescindible en cualquier actividad para poder

seleccionar de entre varias opciones la mejor. Para el caso de la presente investigación, se decidió realizar dicho análisis para seleccionar el mejor tratamiento, considerando tanto sus costos variables como sus ingresos netos.

Los tratamientos 9 y 3, con medias de rendimiento de 405 y 338 kg/ha, respectivamente, aunque son estadísticamente iguales ($P < 0.05$) al testigo que produjo 317 kg, son los únicos tratamientos que logran tener incrementos de rendimiento al compararse con éste último, siendo el tratamiento 9 el de mayor ingreso neto más costos fijos y a la vez el único que obtiene una considerable tasa de retorno a capital variable (15.18).

Cabe señalar que con el testigo absoluto se incurre en muy bajos costos variables, ya que solo se está considerando el precio de la semilla (\$50), y además este tratamiento presenta un buen rendimiento y por consiguiente un ingreso neto más costos fijos aceptable, pero con el inconveniente de que al no estar presentes los nutrimentos fósforo y potasio, la calidad de la semilla no es la más adecuada; mientras que por el contrario si el propósito fundamental es obtener el mejor rendimiento de semilla con una buena calidad física y fisiológica y a su vez la mayor ganancia por peso invertido, la mejor opción sin lugar a dudas la representa el tratamiento 9(1-90-30).

Variables de Calidad Física

Para el caso de estas variables, el análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas tanto para peso volumétrico, peso de mil semillas, color de semilla y semilla manchada, por lo que se discuten en este mismo orden.

Peso Volumétrico

Para esta variable, a pesar de que las medias fluctuaron desde 72.3 hasta 76.3 kg/hl, no existe una tendencia muy clara entre los diferentes tratamientos, ya que tanto se observan rendimientos de semilla altos con bajos y altos pesos volumétricos y viceversa, como sería el caso de los tratamientos 8(5-180-60) y el 7(5-180-30), los cuales tienen rendimientos de semilla estadísticamente iguales pero PV muy diferentes, lo cual puede deberse en este caso muy particular a las 30 unidades de potasio que posee además el tratamiento 8; sucediendo lo contrario con los tratamientos 5(5-90-30) y 6(5-90-60), ya que el primero muestra un PV mayor que el segundo, a pesar de tener 30 unidades menos de potasio, es decir que la mejor interacción se da a nivel de 90 kg de fósforo y 30 de potasio, mediante la cual se alcanza el mayor PV (76.3 kg/hl), cuando se combinan con la densidad de 5 kg.

Es importante señalar que el testigo absoluto (1-0-0), alcanzó un PV de 75.0 kg/hl, el cual resulta ser bueno si consideramos que no se aplicó fósforo y potasio al suelo, si no que aquí debido a la baja densidad de población hubo poca competencia entre las plantas, logrando aprovechar y canalizar adecuadamente los nutrimentos nativos del suelo hacia el llenado de la semilla.

Resulta interesante mencionar que con respecto al comportamiento del PV García, S. (1987), en un experimento sobre producción de semilla con diferentes variedades de alfalfa, incluyendo a la INIA-76, no encontró una tendencia muy marcada, mas sin embargo, varios de los tratamientos que tuvieron altos PV se asociaron con bajos rendimientos de semilla, lo cual según Pedersen *et al.* (1972), se debe a las relaciones entre la cantidad de polinización y floración total, ya que una polinización completa da como resultado semillas y vainas más pequeñas.

Con respecto a la densidad de siembra se detectó en el análisis, que por si sola no afecta el PV de la semilla, lo cual concuerda con lo reportado por Askarian *et al.* (1996), quienes encontraron que las densidades de 1, 3, 6 y 12 kg de semilla/ha, no afectaron la calidad de la semilla cosechada.

Los valores de PV obtenidos en este trabajo, resultan ser buenos al compararse con otros trabajos similares, por lo que esto indica que de alguna

manera, tanto las condiciones ambientales como el manejo agronómico del cultivo, fueron adecuados.

Peso de Mil Semillas

Definitivamente los tratamientos que contemplan la densidad de 3 kg fueron los que alcanzaron los mayores PMS y específicamente el tratamiento 3 (3-180-30), con una media de 2.15 g. Cuando se maneja ésta densidad con 90 kg de fósforo, no existen diferencias entre utilizar 30 ó 60 kg de potasio (tratamientos 1 y 2), los cuales tienen rendimientos de semilla y PMS estadísticamente iguales; mas sin embargo, al combinarse 3 kg de semilla con 180 kg de fósforo y con 60 kg de potasio (tratamiento 4), se obtiene un mayor rendimiento de semilla (388 kg), que con 30 kg de potasio (tratamiento 3), pero éste a su vez alcanza un mayor PMS, es decir que al incrementarse el número de semillas producidas su peso específico tiende a reducirse, tal como se puede detectar también en el tratamiento 9(1-90-30), el cual tuvo el mayor rendimiento (405 kg), pero solo alcanzó un PMS de 2.00 g, lo cual de alguna manera coincide con lo reportado por Pedersen *et al.* (1972) y García, S. (1987).

Por otro lado si se comparan los tratamientos 3(3-180-30) y 11(3-0-30) cuyos PMS fueron de 2.15 y 2.08 g, se detecta que la diferencia significativa a favor del tratamiento 3 se debe a las 180 unidades de fósforo. Ahora en cuanto al

efecto del potasio, resulta importante remarcar que al aplicar 30 ó 60 kg, se promueve que la semilla alcance un mayor peso específico, lo cual se puede observar al comparar los tratamientos 1(3-90-30) y 13(3-90-0) con pesos respectivos de 2.11 y 2.01 g, los cuales son estadísticamente diferentes.

En lo que respecta a la densidad de 5 kg, cabe resaltar que al incrementarse el nivel de fósforo de 90 a 180 kg, se eleva el rendimiento de semilla, pero el peso específico de la misma se mantiene estadísticamente igual (tratamientos 5, 6, 7 y 8) y en cuanto al potasio, realmente no tiene un efecto muy marcado en combinación con este nivel de densidad de siembra.

El efecto importante que tienen el fósforo y el potasio sobre el peso específico de la semilla, se puede detectar claramente al comparar el testigo (1-0-0) con el tratamiento 3(3-180-30), donde éste último con una media de 2.15 g es estadísticamente superior a la media del testigo (2.05 g). Al respecto, autores como Geller (1978); Del Pozo (1983) y Rodríguez (1996), remarcan la importancia de estos nutrimentos en el metabolismo general de la planta y como consecuencia en la obtención de semilla de calidad.

Color de Semilla

Al comparar las medias de los diferentes tratamientos, se detecta que estas fluctuaron desde 68 hasta 88 por ciento en el caso de la semilla de color amarillo respectivamente, para los tratamientos 4(3-180-60) y 3(3-180-30), mientras que sus complementos en semilla café fueron 32 y 12 por ciento, observándose que en tales tratamientos se tiene la misma densidad y el mismo nivel de fósforo, pero difieren en 30 unidades de potasio a favor del tratamiento 4, lo cual propició que se incrementara el grado de madurez de la semilla, es decir un mayor contenido de semilla café, ya que como mencionan West y Harris (1963), el color de la testa en semilla de alfalfa está asociado con su madurez y viabilidad, por lo que al cambiar de amarillo a café se incrementa la madurez.

Por otra parte si analizamos el efecto del fósforo, a través de sus cuatro niveles, sobre el color de la semilla, se detecta que al actuar en forma conjunta con las cuatro densidades y los cuatro niveles de potasio no muestra un efecto significativo, mas sin embargo, resulta importante mencionar que en el tratamiento 15(1-0-0) la no presencia de fósforo y potasio, propiciaron que se tuviera un bajo contenido de semilla madura (14 por ciento), lo cual concuerda con lo que reportan Del Pozo (1983) y Rodríguez (1996), ya que estos dos nutrimentos aceleran la fructificación y maduración de la semilla, por lo que en su

ausencia el ciclo se retarda, incrementándose el contenido de semilla amarilla en la cosecha.

Ahora, con respecto a la densidad de siembra, existe una clara tendencia a que con los niveles de 1 y 3 kg, se tenga un mayor contenido de semillas amarillas al momento de la cosecha (tratamientos 1, 2, 3, 9, 13 y 15), ya que como mencionan Besnier (1989) y García, M. (1987), al estar las plantas más espaciadas se presenta una mayor capacidad reproductiva, por lo que su período de fructificación y madurez se alarga, presentándose al momento de la cosecha cantidades considerables de semilla amarilla.

Semilla manchada

Uno de los principales factores ambientales que afectan la calidad física de la semilla de alfalfa, es la presencia de lluvias o alta humedad atmosférica, sobre todo si coincide con la etapa de maduración próxima a la cosecha, situación que se presentó en este trabajo, ya que durante un período de 15 días previos a la cosecha de la semilla (finales de Agosto principios de Septiembre, figura A.1.), se tuvo una precipitación aproximada de 100 mm, lo cual ocasionó que se tuviera una cierta cantidad de semilla manchada, fluctuando desde 11 hasta 19 por ciento; cabe señalar que estas cantidades se obtuvieron en materia prima, por lo que al someterla al proceso de limpiado con aire, muchas de estas semillas fueron

eliminadas debido a su bajo peso específico, pero otra parte logró quedarse como semilla aprovechable.

Con respecto a la comparación de los diferentes tratamientos evaluados, no existe una tendencia muy definida, ya que la mayoría de ellos se ubican en un sólo grupo de significancia; más sin embargo, cabe resaltar que el tratamiento 4(3-180-60), que fue el que tuvo un mayor porcentaje de semilla café, fue por consiguiente el que alcanzó el más alto valor de semilla manchada (19 por ciento), lo cual tiene una secuencia lógica, ya que al tener la semilla un grado más avanzado de madurez ésto la predispone a que pueda ser más fácilmente deteriorada por efecto de factores ambientales como la alta humedad (Delouche *et al.* 1973 y Narváez, 1996).

Por otro lado al comparar el tratamiento 13(3-90-0) que presentó un 19 por ciento de semilla manchada con el tratamiento 1(3-90-30) con una media de 13 por ciento se obtiene una diferencia significativa a favor del tratamiento 13, por lo que se puede decir que la no presencia de potasio provocó un incremento en la cantidad de semilla manchada, lo cual se puede constatar también con el testigo (1-0-0) que presentó una media de 16 por ciento que fue estadísticamente igual a la del tratamiento 13. Al respecto Rodríguez (1996) y Pedersen *et al.* (1972), indican que este nutrimento es de gran importancia en la calidad de la semilla.

Variables de Calidad Fisiológica

El análisis de varianza realizado para las seis variables de calidad fisiológica evaluadas en este trabajo, detectó que solamente se presenta significancia para semilla dura, capacidad de germinación al primer conteo y plántulas normales fuertes, no habiendo significancia para capacidad de germinación al segundo conteo, germinación potencial y peso seco.

Capacidad de Germinación al Primer Conteo

Los resultados obtenidos para esta variable nos muestran que hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, fluctuando las medias desde 42 hasta 65 por ciento (Cuadro 4.21.), correspondiendo el valor más alto para el tratamiento 1(3-90-30), que representó a la parte factorial (tratamientos 1 al 8), el cual a su vez resultó ser estadísticamente igual a los tratamientos 9, 11 y 13, detectándose que en estos tres intervienen las densidades de 1, 3 y 5 kg, donde se aprecia que para los niveles de 3 y 5 kg, realmente no hay significancia de los niveles 0, 90 y 180 de fósforo, así como para 30 y 60 kg de potasio, pero al incrementarse a 270 kg con 90 kg de potasio, el por ciento de plántulas normales se reduce significativamente (tratamientos 12 y 14). Además resulta interesante apreciar que al comparar el tratamiento 1(3-90-30) y el 13(3-90-0) se presenta una diferencia significativa a favor del primer tratamiento, lo cual puede atribuirse a

las 30 unidades de potasio, es decir que bajo estos niveles de densidad y de fósforo, el potasio juega un papel importante al incrementar la calidad fisiológica de la semilla, tal como lo mencionan Besnier (1983) y Rodríguez (1996).

Ahora en cuanto a la densidad de 1 kg, es importante señalar que sí existe efecto significativo del fósforo y el potasio, ya que el tratamiento 9(1-90-30) con una media de 59 por ciento fue superior al testigo (1-0-0) que presentó una media de 42 por ciento, siendo éste último estadísticamente igual a la media de los tratamientos 10, 12 y 14, donde se manejan densidades de 5 y 7 kg con niveles altos de fósforo y potasio (270 y 90), es decir que tanto la no presencia de estos nutrimentos con densidades bajas, como su combinación en dosis altas con densidades altas, ocasiona una reducción en el por ciento de plántulas normales producidas en un primer conteo. Al respecto resultados similares son reportados por Austin (1966) y Copeland y McDonald (1985), quienes enfatizan la importancia del fósforo y el potasio en el metabolismo general de la planta y en la germinación de las semillas.

Semilla Dura

Según Gunn (1972), el por ciento de semillas duras en leguminosas depende de factores edáficos y climáticos, existentes durante y después de la maduración de la semilla, así como de factores genéticos, más sin embargo, los

resultados obtenidos en el presente trabajo nos muestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, fluctuando los valores desde 15 hasta 27 por ciento, correspondiendo éste último valor para el tratamiento 10(7-180-60), en el cual la densidad de siembra alta provocó un retraso en el proceso de maduración de la semilla, sucediendo algo similar en los tratamientos con densidades de 5 kg. Cabe mencionar que los tratamientos 1, 3, 10 y 15 alcanzaron valores altos, tanto de semilla amarilla como de semilla dura, esto considerando que estas características están hasta cierto punto correlacionadas, ya que el color amarillo es sinónimo de madurez parcial. A nivel de 3, 5 y 7 kg de semilla no existe una influencia significativa de los niveles de fósforo y potasio, pero cuando se compara el testigo (1-0-0) y el tratamiento 9(1-90-30), aunque sus medias no difieren significativamente, si existe una tendencia a que el fósforo y el potasio con bajas densidades de siembra, aceleran la maduración de la semilla, es decir que reducen la cantidad de semilla dura. Al respecto Rodríguez (1996), enfatiza la importancia de dichos nutrimentos sobre la floración y maduración de los frutos y semillas.

Es importante señalar que el tratamiento 4(3-180-60), fue el que presentó el porcentaje más bajo de semilla amarilla (68 por ciento) y a la vez el más bajo en semilla dura (15 por ciento), por lo que de alguna manera para esta combinación, existe una alta correlación entre estas variables.

Es necesario comentar que el promedio de semilla dura para los 15 tratamientos fue de 21 por ciento, el cual es aceptable si consideramos que en el momento de las pruebas de germinación esta semilla tenía aproximadamente tres meses de haber sido cosechada, por lo que se espera que al pasar el tiempo su grado de latencia se irá rompiendo paulatinamente.

Capacidad de Germinación en Segundo Conteo

Aunque para esta variable no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos, resulta interesante señalar que a pesar de que los por cientos de plántulas normales fueron muy similares al momento de este segundo conteo (sexto día), de alguna manera los tratamientos 10, 12, 14 y 15 que tuvieron los valores más bajos para el primer conteo (Cuadro 4.14.) son los que presentaron los mayores incrementos para el segundo conteo, pero estas plántulas aunque son normales, al momento de la clasificación por vigor quedan ubicadas en la categoría de normales débiles, lo que nos indica que su posible emergencia y establecimiento en campo no será tan favorable como sería el de las normales fuertes. De ahí la importancia de considerar al primer conteo como un parámetro de vigor, el cual se puede corroborar con la clasificación de plántulas.

Plántulas Normales Fuertes

El análisis de varianza practicado para esta variable, detectó diferencias altamente significativas entre las medias de los tratamientos en estudio, por lo que al realizar las comparaciones respectivas, tanto con la DMS normal y la desglosada, se obtiene que las medias fluctuaron desde 44 hasta 60 por ciento, apreciándose que existe una tendencia que a medida que se combinan densidades de 1 y 3 kg con niveles de 90 y 180 kg de fósforo y 30 y 60 kg de potasio, la proporción de plántulas normales fuertes tiende a incrementarse tal como se presenta en los tratamientos 1, 9, 11 y 13. Es decir que la combinación de niveles bajos de densidad con estos niveles de fósforo y potasio, de alguna manera promueve que las semillas producidas tengan un mayor vigor, concordando esto con lo obtenido por García, M. (1987), ya que a medida que las plantas están más espaciadas aprovechan más eficientemente la luz, humedad y sobre todo los nutrimentos del suelo, debido a que las relaciones de competencia entre ellas son menores, por lo que acumulan una mayor cantidad de materia seca, al incrementarse la capacidad fotosintética y por consiguiente las semillas producidas son de mejor calidad fisiológica, al haber una mayor traslocación de fotosintatos hacia ellas, sucediendo lo contrario cuando las densidades se incrementan a 5 y 7 kg (tratamientos 10, 12 y 14).

Por otro lado al comparar los tratamientos 9(1-90-30) y 15(1-0-0) se aprecia claramente la influencia que tienen el fósforo y el potasio sobre el vigor de la semilla, cuando se manejan con densidades de siembra bajas, ya que existe una diferencia significativa de 14 puntos porcentuales a favor del tratamiento 9. Al respecto Harrington (1960); Austin (1966) y Copeland y McDonald (1985), reportan que las semillas que crecen con deficiencias de fósforo y potasio producen plántulas más pequeñas, así como también un mayor número de plántulas anormales.

Definitivamente tal como lo menciona la Association of Official Seed Analysts (AOSA, 1983), el hecho de clasificar las plántulas normales en fuertes y débiles, provee una buena indicación del vigor, ya que aquellos lotes de semilla que produzcan un mayor número de plántulas normales fuertes, tendrán mayores posibilidades de emerger y establecerse satisfactoriamente bajo condiciones adversas de campo.

Germinación Potencial

La cuantificación de esta variable, consistió en sumar el número de plántulas normales y la semilla dura en cada uno de los tratamientos, considerando que a medida que pase el tiempo estas semillas viables pero latentes, gradualmente van a germinar, aunque estarán en desventaja a nivel de

campo con semillas no latentes que ya se han establecido y tienen una mayor capacidad de competencia.

Al observar las medias de los tratamientos evaluados, se aprecia que a pesar de que fluctúan desde 89 hasta 96 por ciento, estas diferencias no llegaron a ser significativas ($P < 0.05$), es decir que después de un cierto tiempo de haber sido cosechada la semilla, todos los tratamientos tendrán porcentajes de germinación iguales desde el punto de vista estadístico, pero con la desventaja anteriormente mencionada para aquellos tratamientos como el 10 y el 12, que presentaron la mayor proporción de semillas duras (27 y 25 por ciento, respectivamente).

Cabe señalar que por el hecho de ser la alfalfa un cultivo perenne, que permanecerá durante cuatro ó cinco años en el terreno, el problema de la semilla dura a largo plazo tal vez no sea muy considerable, más sin embargo, si se tiene un contenido mayor al 20 por ciento, esto afectará negativamente el rendimiento durante el primer año de establecimiento principalmente (Gunn, 1972).

Peso Seco

En cuanto a ésta variable no se detectaron diferencias significativas en el análisis de varianza, lo cual nos indica que las medias de los tratamientos fueron muy similares, por lo que de alguna manera este parámetro de vigor no fue lo

suficientemente sensible para poder detectar las posibles diferencias, tal y como lo hicieron las variables capacidad de germinación al primer conteo y plántulas normales fuertes, por lo que bajo las condiciones del presente estudio y tomando en cuenta la naturaleza de los tratamientos, resulta más práctico utilizar éstas dos últimas pruebas como índices de vigor, aunque estos resultados no concuerdan con lo que reportan Carleton y Cooper (1972), quienes afirman que el peso seco es el parámetro de vigor más comúnmente utilizado en leguminosas, sin embargo, no aseguran que sea el más eficiente.

Correlaciones

Variables Agronómicas

El presente estudio nos permitió detectar a los principales componentes que están influyendo sobre el rendimiento de semilla de alfalfa, siendo en orden de importancia y con base en su coeficiente de correlación: el número de tallos con racimos por planta, racimos por planta, semillas por planta y vainas por planta, presentando también valores de correlación medios pero sin llegar a ser significativos las variables diámetro de corona (0.50) y tallos por planta (0.48), lo cual nos indica que de alguna manera se mueven en el mismo sentido que la variable rendimiento de semilla.

Por su parte, la estrecha correlación que mostró la variable diámetro de corona con los demás componentes del rendimiento, a excepción de vainas por racimo y semillas por vaina, nos indica por una parte que a medida que las plantas están más espaciadas su diámetro de corona se incrementa, por lo que estas plantas son más vigorosas al acumular una mayor cantidad de carbohidratos y por consecuencia los principales componentes también se incrementan y contribuyen a un mayor rendimiento de semilla. Resultados similares son reportados por Rumbaugh (1963); Dobrenz y Massengale (1966); Dovrat *et al.*, (1969) y Kowithayakorn (1982).

Al incluir las seis variables anteriores en un análisis de regresión múltiple, se encontró un coeficiente de determinación $R = 0.61$, mientras que cuando se incluyeron las 10 variables evaluadas, su coeficiente fue $R = 0.78$, lo cual nos indica que del total de la variación presente en el rendimiento, la mayor parte es explicada por las primeras seis variables, por lo que al descomponer los coeficientes de correlación de dichas variables en sus efectos directos e indirectos sobre el rendimiento, mediante el análisis de coeficientes de sendero, se pudo detectar claramente que la variable tallos con racimos por planta, resulta ser la que más directamente contribuye con el rendimiento de semilla y a su vez a través de ella las demás variables muestran los mayores efectos indirectos positivos.

Ahora bien, considerando que de los tres factores en estudio, la densidad de siembra fue la que tuvo un mayor peso sobre el rendimiento, sobre todo cuando se manejan densidades de 1 kg, podemos decir que bajo ésta densidad se promueve una menor competencia entre las plantas y por consiguiente éstas desarrollan un mayor número de tallos con racimos. Al respecto García, M. (1987), encontró resultados muy similares, ya que al trabajar con diferentes densidades de población, obtuvo que las densidades más bajas producían un mayor número de tallos con racimos, variable que junto con número de vainas por planta y número de racimos por tallo contribuyó fuertemente al rendimiento.

Por otra parte en leguminosas como haba, chícharo y soya, Huang (1984); Ma (1984) y Jasani *et al.* (1996), encontraron que las características que muestran los mayores efectos directos sobre el rendimiento de semilla, son el número de vainas por planta y el número de semillas por planta, variables que en el presente estudio de alguna manera también mostraron efectos directos e indirectos importantes.

En lo que respecta al efecto residual de 0.6767, éste representa a aquellas variables que de alguna manera tienen influencia sobre el rendimiento de semilla, pero que no fueron consideradas en este trabajo.

Correlación pruebas de vigor

Considerando que las variables capacidad de germinación en primer conteo y plantulas normales fuertes, toman en cuenta el número de plántulas normales, era de esperarse que estas variables estuvieran estrechamente correlacionadas, ya que a medida que se tiene una mayor cantidad de plántulas normales en primer conteo, estas mismas por lo general llegan a ser normales fuertes en el segundo conteo, tal como se aprecia en el Cuadro 4.14. Por otro lado la variable peso seco, no mostró correlación significativa con estas dos variables, debido principalmente a que para calcular el peso seco se consideran tanto las plántulas normales fuertes como las normales débiles, es decir equivale a tomar las plántulas normales del segundo conteo, mientras que en los otros dos parámetros se considera un menor número de plántulas (solo normales y normales fuertes, respectivamente).

Rendimiento y Calidad Física y Fisiológica

El objetivo final de un proceso de producción de semillas, es la obtención de un buen rendimiento, tanto en cantidad como en calidad genética, sanitaria, física y fisiológica de la semilla de interés, situación que en la mayoría de los casos resulta hasta cierto punto difícil de conseguir. En el presente trabajo nos avocamos a determinar la influencia de los diferentes tratamientos sobre el rendimiento y la calidad física y fisiológica, así como la posible relación entre

estos parámetros, por lo que al realizar las matrices de correlación respectivas, se encontró que no existe una correlación estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre el rendimiento de semilla de alfalfa y su calidad física y fisiológica, lo cual nos indica que no necesariamente los tratamientos de mayor rendimiento poseen la mejor calidad, aunque de alguna manera si observamos los coeficientes de correlación entre el rendimiento y las variables PMS, capacidad de germinación al primer y segundo conteos y plántulas normales fuertes, los cuales fueron de 0.38, 0.38, 0.36 y 0.31, ésto indica que dichas variables se mueven en el mismo sentido, pero sin llegar a ser significativas.

Cabe mencionar que uno de los objetivos de este trabajo, fue determinar la mejor combinación de densidad de siembra y fertilización que nos permitiera obtener el mayor rendimiento y mejor calidad en la semilla de alfalfa, y tal como se mencionó anteriormente, esto es difícil de conjuntar, ya que como en todo proceso natural al incrementarse el rendimiento se deteriora en cierto grado la calidad, sucediendo ésto mismo en la producción de semillas, ya que desde el punto de vista fisiológico una planta al producir una gran cantidad de semillas, difícilmente podrá canalizar la cantidad adecuada de fotosintatos que requiere cada una de ellas, para poder alcanzar una alta calidad física y fisiológica; sin embargo, al observar la respuesta a los diferentes tratamientos, tanto para las variables agronómicas, físicas y fisiológicas, podemos determinar que el tratamiento 9(1-90-30) al tener una baja densidad de plantas, promovió que éstas

tuvieran menor competencia y pudieran desarrollarse adecuadamente, produciendo un buen rendimiento de semilla y a la vez su calidad fue estadísticamente igual a la de los tratamientos que mostraron los valores más altos; además el análisis económico realizado sustenta lo anteriormente dicho, ya que este tratamiento es el que obtuvo la mayor tasa de retorno a capital variable.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y a las condiciones bajo las cuales se realizó este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

La mejor combinación de densidad de siembra con fertilización fosfatada y potásica que permitió obtener el mayor rendimiento de semilla, así como una buena calidad física y fisiológica, fue el tratamiento 9(1-90-30).

Los componentes de rendimiento que mayormente fueron afectados por los tratamientos son: altura de planta, tallos por planta, tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta, semillas por planta y diámetro de corona.

Los componentes que mostraron una correlación significativa con el rendimiento de semilla fueron: tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta y semillas por planta.

El componente que contribuyó más fuertemente con el rendimiento de semilla, tanto por sus efectos directos como indirectos, fue tallos con racimos por planta.

Los componentes evaluados solo lograron explicar en un 78 por ciento la variación en el rendimiento de semilla.

El principal factor que afectó tanto a los componentes, como al rendimiento mismo fue la densidad de siembra, siendo el nivel de 1 kg/ha el mejor.

Los nutrimentos fósforo y potasio, afectaron significativamente la calidad física y fisiológica de la semilla.

No existe una correlación significativa entre el rendimiento y la calidad física y fisiológica de la semilla.

El tratamiento que obtuvo la mejor tasa de retorno a capital variable es el 9(1- 90 - 30).

Los rendimientos de semilla obtenidos para esta variedad, pueden considerarse como buenos, ya que se trata de un primer año de evaluación y

además esta región no está considerada entre las de mayor potencial para producir semilla de alfalfa.

Considerando que la alfalfa es un cultivo perenne, un año de evaluación resulta insuficiente, por lo que es necesario evaluar por lo menos un período de tres años.

En trabajos sucesivos el espacio de exploración para la densidad de siembra tal vez debe reducirse, ya que a densidades bajas se tiene una mejor respuesta en rendimiento.

Es necesario contemplar otros nutrimentos tales como Boro, Zinc, Molibdeno y Calcio, para evaluar su efecto en la producción de semilla.

La siembra de la alfalfa en estos lugares debe realizarse principalmente durante el mes de Octubre, ya que en fechas posteriores se tienen problemas en el establecimiento, por efecto de las heladas severas.

Es necesario contemplar un mayor número de componentes de rendimiento, para poder explicar en un mayor grado la variación total del rendimiento de semilla.

RESUMEN

La alfalfa es el cultivo forrajero por excelencia en México, tanto por sus altos volúmenes de producción, como por su gran calidad nutritiva. Actualmente más del 90 por ciento de la semilla necesaria para establecer nuevas áreas o renovar las ya existentes se importa, ocasionando por consecuencia una gran fuga de divisas.

Resulta importante señalar que en México existen áreas con enorme potencial para producir semilla de esta leguminosa, mas sin embargo, hasta la fecha por diferentes razones, no se ha emprendido un programa integral de producción al respecto.

Dentro de los factores controlables de la producción que inciden fuertemente sobre el rendimiento de semilla, se encuentran la densidad de siembra y la fertilización, por lo cual se decidió realizar este trabajo, planteándose los siguientes objetivos:

- a) Determinar la mejor combinación de densidad de siembra y fertilización fosfatada y potásica, que incida sobre un mayor rendimiento y una mejor calidad de semilla de alfalfa.
- b) Determinar el efecto de la densidad de siembra y la fertilización sobre los componentes de rendimiento de semilla de alfalfa.
- c) Evaluar los diferentes tratamientos desde el punto de vista de su rentabilidad económica.

De cada uno de los tres factores de variación en estudio se manejaron cuatro niveles, siendo para la densidad de siembra 1, 3, 5 y 7 kg de semilla/ha; para fósforo 0, 90, 180 y 270 kg de P_{205} /ha y para potasio 0, 30, 60 y 90 kg de K_{20} /ha. Los tratamientos fueron seleccionados con base a una Matriz Plan Puebla I para tres factores ($2^k + 2k$), obteniéndose 14 combinaciones, incluyéndose un tratamiento adicional como testigo absoluto (1-0-0). El diseño experimental utilizado en la fase de campo fue bloques al azar con seis repeticiones, mientras que en la fase de laboratorio se utilizó el diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Este experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental "Bajío" de la UAAAN y en el Laboratorio de Ensayo de Semillas del CCDTS en la propia

Universidad. Las variables agronómicas evaluadas fueron las siguientes: Altura de planta, tallos por planta, tallos con racimos por planta, racimos por tallo, racimos por planta, vainas por racimo, vainas por planta, semillas por vaina, semillas por planta, diámetro de corona y rendimiento de semilla aprovechable por hectárea.

Para evaluar la calidad física de la semilla, se consideraron las variables: peso volumétrico, peso de mil semillas, color de semilla y semilla manchada; mientras que la calidad fisiológica (germinación y vigor), se evaluó mediante las variables semilla dura, capacidad de germinación al primero y segundo conteos (plántulas normales), plántulas normales fuertes, germinación potencial y peso seco. Se realizaron también las respectivas matrices de correlaciones para las diferentes variables, así como también un análisis de regresión múltiple y coeficientes de sendero para las variables agronómicas o componentes de rendimiento.

Al realizar los análisis de varianza respectivos, se encontró que para las variables agronómicas evaluadas, se presentó significancia para altura de planta, tallos por planta, tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta, semillas por planta, diámetro de corona y rendimiento de semilla; y al comparar los diferentes tratamientos se detectó que el tratamiento 9(1-90-30), fue estadísticamente superior a los demás en la mayoría de las variables, presentando

un rendimiento de 405 kg/ha, por lo que al realizar el análisis económico este mismo tratamiento obtuvo la tasa de retorno a capital variable más alta (15.18).

En el análisis de regresión múltiple, se obtuvo un coeficiente de determinación $R= 0.78$, es decir que hace falta considerar un mayor número de variables para explicar la variación total en el rendimiento. Las variables que estuvieron correlacionadas significativamente con el rendimiento fueron: tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta y semillas por planta, y al realizar el análisis de senderos, se detectó que tallos con racimos por planta, es la variable que tiene el mayor efecto directo sobre el rendimiento (1.1956) y a la vez a través de ella, las demás variables muestran efectos indirectos considerables.

En cuanto a las variables de calidad física, todas mostraron efectos significativos, observándose que los niveles de la densidad de siembra, no presentan efectos muy marcados sobre cada una de ellas, pero en cambio el fósforo y el potasio sí inciden fuertemente, siendo el tratamiento 3(3-180-30) el que presentó el más alto peso de mil semillas (2.15 g).

Para las variables de calidad fisiológica hubo significancia para semilla dura, capacidad de germinación al primer conteo y plántulas normales fuertes, siendo el tratamiento 4(3-180-60) el que presentó el valor menor de semilla dura

(15 por ciento), mientras que para las otras dos variables, este mismo tratamiento junto con el 3, 9, 11 y 13, fueron estadísticamente iguales y superiores a los demás.

El análisis de correlación entre la variable rendimiento y las variables de calidad física y fisiológica, mostró que no existe asociación significativa entre dichas variables, es decir que no necesariamente los tratamientos de mayor rendimiento, tienen a su vez la mejor calidad.

El factor que más afectó tanto a los componentes, como al rendimiento mismo fue la densidad de siembra, ya que a medida que se incrementa de 1 a 7 kg/ha, el rendimiento se reduce significativamente.

Tanto la calidad física y fisiológica de la semilla, se ve afectada por los niveles de los nutrientes fósforo y potasio, por lo que el testigo absoluto mostró valores bajos en estas variables.

El tratamiento que logró obtener el mejor rendimiento de semilla, así como también una buena calidad física y fisiológica y la más alta tasa de rentabilidad fue el 9(1-90-30).

LITERATURA CITADA

- Abu-Shakra, S., M. Akhtar and D.W. Bray. 1969. Influence of irrigation interval and plant density on alfalfa seed production. *Agron. J.* 61(4):569-571. USA.
- Aguirre, R. J. 1976. Producción de semilla de alfalfa en México. En: Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte (CIANOC). *Semillas de Plantas Forrajeras*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). México. p. 51-56.
- Ahlgren, G.H. 1949. *Forage crops*. Ed. McGraw Hill Book Co. New York, USA. p. 3
- Askarian, M., J.G. Hampton and M.J. Hill. 1996. Effect of row spacing and sowing rate on seed production of lucerne (*Medicago sativa* L.) cv. Grasslands orange. *Seed Abstracts* 19(7):316. England.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983. *Seed vigor testing handbook*. Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing. USA.
- Austin, R.B. 1966. The influence of the phosphorus and nitrogen nutrition of pea plants on the growth of their progeny. *Plant Soil* 24:359-368. USA.
- Avalos, F. L. y F.O. Nery. 1981. Proyecto demostrativo para producción de semilla de alfalfa en el Valle de Apatzingán, Mich. Fira. México.

- Barnes, D.K., E.T. Bingham, J.D. Axel y W.H. Davis. 1972. La flor. los mecanismos de esterilidad y el control de la polinización. En: Hanson, C.H. (Comp). Ciencia y Tecnología de la Alfalfa. Tomo I. Hemisferio Sur. Uruguay. 432 p.
- Bendixen, E.W. 1991. Alfalfa production in the coastal areas of California. 21st California Alfalfa Symposium. University of California, Sacramento California, USA.
- Besnier, R.F. 1989. Semillas. biología y tecnología. Ed. Mundi-Prensa. España. 636 p.
- Bolton, J.L. 1962. Alfalfa botany, cultivation and utilization. World Crops Books, Leonard Hill, London, G.B. 474 p.
- Bolton, J.L., B.P. Goplen y H. Baenziger. 1972. Distribución Mundial y Desarrollo Histórico. En: Hanson, C.H. (Comp). Ciencia y Tecnología de la Alfalfa. Hemisferio Sur. Uruguay. pp. 1-34.
- Brookes, B., E. Small, L.P. Lefkovitch, H. Damman and D.T. Fairey. 1994. Attractiveness of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to wild pollinators in relation to wildflowers. Can. J. Plant Sci. 74:779-783. Canada.
- Bustamante, G.L. 1996. Notas del Curso de Control de Calidad. Programa de Graduados. CCDTS-UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Cajic, V. and M.Stjepanovic. 1996. Alfalfa seed losses and quality as affected by presence of weed species during processing. Seed Abstracts 19(5):240. England.
- Carleton, A.E. and C.S. Cooper. 1972. Seed size effects upon seedling vigor of three forage legumes. Crop Sci. 12(3):183-186. USA.

Castro, A.L. 1982. Guía para cultivar alfalfa en los estados de México e Hidalgo. SARH-INIA. Campo Experimental Valle de México. Folleto para productores No. 15. México.

_____. 1992. Tecnología para producir semilla de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Simposium Mexicano sobre Semillas Agrícolas. Sociedad Mexicana de Fitogenética. A.C. Torreón, Coahuila, México.

Copeland, L.O. and M.B. McDonald. 1985. Principles of Seed Science and Technology. Second edition. Macmillan Publishing Company. USA. 321 p.

Delouche, J.C., R.K. Mathes, G.M. Dougherty and A.H. Boyd 1973. Storage of Seed on Subtropical and Tropical Regions. Seed Sci. and Tech. 1:671-700. USA.

✓ Del Pozo, M. 1983. La Alfalfa. Ed. Mundi-Prensa. 3a. edición. España. 380 p.

Dobrenz, A.K. and M.A. Massengale. 1966. Change in Carbohydrates in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) roots during the period of floral initiation and seed development. Crop Sci. 6(6).USA.

Dovrat, A., D. Levanon and M. Waldman. 1969. Effect of plant spacing on carbohydrates in roots and on components of seed yield in alfalfa (*Medicago sativa* L.) Crop Sci. 9(1):33-34. USA.

Galván, C.S. y E.J. Aburto. 1979. El cultivo de la alfalfa para producción de semilla en el Valle de Apatzingán. Circular CIAPAC No. 3. INIA-SARH. Antúnez, Michoacán, México. 12 p.

Garay, A.E. 1989. La calidad de la semilla y sus componentes. Documento de Trabajo No. 109. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 12 p.

- García M., J.A. 1987. Efecto de densidad de población en la producción de semilla de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad Fitomejoramiento. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 168 p.
- García, S. G. 1987. Selección de líneas clonales de alfalfa (*Medicago sativa* L.) por su capacidad productiva y calidad de semilla. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 134 p.
- Geller, A. 1978. Effect of fertilizers on seed yields of irrigated lucerne. *Herbage Abstracts*. 48(1):26. England.
- Gross, H.D., E.R. Purvis and G.H. Ahlgren. 1953. The response of alfalfa varieties to different soil fertility levels. *Agron. J.* 45: 118-120. USA.
- Gunn, C.R. 1972. Características de la semilla. En: Hanson, C.H. (Comp). *Ciencia y Tecnología de la Alfalfa*. Hemisferio Sur. Uruguay. pp. 815-826.
- Harrington, J.F. 1960. Germination of seeds from carrot, lettuce and pepper plants grown under severe nutrient deficiencies. *Hilgardia* 30. 219-235. USA.
- Hofbauer, J. 1982. The influence of chemical substances on the seed yield of lucerne. *Herbage Abstracts*. 52(12):618. England.
- Huang, W.T., Li, F.Q., Jiang, X.Y. and Li, H.Y. 1984. Correlation and path-coefficient analysis of characters in *Vicia faba*. *Seed Abstracts* 7(7): 220. England.
- Hughes, D.H. and R.E. Henson. 1957. *Crop production principles and practice*. Ed. Mcmillan Co. New York, USA. p. 468.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1981. *Handbook of Vigor Test Methods*. Switzerland. p. 56.

1985. International Rules for Seed Testing. Seed Sci. and Tech. 13:299-335. The Netherlands.

Ivanov, A., C. Medvedev and V. Churzin. 1975. Lucerne stand densities and seed yields. Herbage Abstracts 45(9):328. England.

Ivanov, S.N. and V.V. Lapa. 1982. Effect of levels of mineral nutrition on seed yield and biochemical composition of lucerne. Herbage Abstracts 52(12):544. England.

Jasani, K.P., M.P. Patel and H.S. Patel. 1996. Correlation and regression studies in soybean yield characteristics. Seed Abstracts 9(9): 406. England.

Justice, O.L. and L.N. Bass. 1978. Principles and practices of seed storage. Washington, D.C. U.S. Government, Printing Office.

kowithayakorn, L. 1982. A study of herbage and seed production of lucerne (*Medicago sativa* L.) under different spacing and cutting treatments. Herbage Abstracts. 52(2):72. England.

Lesins, K. y C.B. Gillies. 1972. Taxonomía y citogenética del género *Medicago*. En: Hanson, C.H. (Comp). Ciencia y Tecnología de la Alfalfa. Tomo I. Hemisferio Sur. Uruguay. pp. 89-126.

Li, C.C. 1956. The concept of path coefficient and its impact on population genetics. Biometrics 12(2): 192-210. USA.

✓ Liang, G.H.L. and W.A. Riedl. 1964. Agronomic traits influencing forage and seed yield in alfalfa. Crop Sci. 4(4):394-396. USA.

Ma, Y.G. 1984. Correlation between yield and its components and path coefficient analysis in F2 soybean hybrids. Seed Abstracts. 7(7): 220. England.

- Maslinkov, M., M. Mirtshev and N. Antonowa. 1982. Studies on the optimal sowing rate for lucerne for seed production. *Herbage Abstracts*. 52 (12):544. England.
- Medvedev, G.A. 1975. Sowing rates and seed production in lucerne under irrigated conditions. *Herbage Abstracts* 45 (9): 328. England.
- Melton, B.A. 1972. Alfalfa seed production studies. In: New Mexico State University. Bulletin 597. Agricultural Experiment Station. USA.
- Misra, V.K. and Rai, S.D. 1979. Lucerne seed production. *Indian J.* 28:15-23. India.
- Moreno, M.E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F. 383 p.
- Narváez, M., J.F. 1996. Notas del Curso de Producción de Semillas. Programa de Graduados. CCDTS-UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Ovsyannikov, N.M. 1976. Effectiveness of fertilizers and irrigation applied to lucerne for seed production. *Herbage Abstracts* 46(6):239. England.
- Ozanne, P.G. and C.J. Asher. 1965. The effect of seedling potassium on emergence and root development of seedlings in potassium deficient soil. *Australian J. of Agric. Res.* 16:773-784. Australia.
- Pankiw, P., S.G., Bonin and J.A.C. Lieverse. 1977. Effects of row spacing and seedling rates on seed yield in red clover, alsike clover and birdsfoot trefoil. *Can. J. of Plant Sci.* 57(2):413-418. Canadá.
- Pedersen, M.W., G.E. Bohart, V.L. Marble y E.C. klostermeyer. 1972. Prácticas de producción de semillas En: Hanson, C.H. (Comp). *Ciencia y Tecnología de la Alfalfa*. Hemisferio Sur. Uruguay. pp. 829-866.

- Pedersen, M.W., L.G. Jones y T.H. Rogers. 1984. Producción de semillas de leguminosas En: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Semillas, anuario de agricultura. 9a. impresión. Cia. Editorial Continental, S.A. de C.V. México. pp. 317-334.
- Petrovich, I.P. and I.V. Prokofeva. 1996. Influence of climatic factors on the formation of the reproductive organs of lucerne. Seed Abstracts 19(3): 123. England.
- Ramírez, L.M. 1970. El cultivo de la alfalfa en la región central. S.A.G. Chapingo, México.
- Reyes, C.P. 1982. Diseño de experimentos aplicados. 2a. impresión. México. D.F. 344 p.
- Reyes, V., M.H. y A. Benavides M. 1993. El análisis de Senderos en la Investigación Agronómica. Folleto de Divulgación Vo. III No. 4. Departamento de Fitomejoramiento, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 22 p.
- Reinhart, R. 1990. Alfalfa management, diagnostic guide Pioneer Hi-Bred International, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 42 p.
- Robbins, W.W. 1967. Botany. and introduction to Plant Science. John Wiley and Sons. Inc. 3a edición, New York, USA. p. 14.
- Roberts, E.H. 1972. Viability of Seeds. Syracuse University Press, New York. pp.114-143. USA.
- Robles, S.R. 1983. Producción de Granos y Forrajes. Ed. Limusa. 4a. edición. México, D.F. pp 441-468.
- Rodríguez, S.F. 1996. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT Editor, S.A. 3a. impresión, México, D.F. pp. 69-81.

Ruiz, O.M. 1964. Botánica. Ed. Porrúa, S.A. México, D.F. 730 p.

Rumbaugh, M.D. 1963. Effects of population density on some components of yield of alfalfa. *Crop Sci.* 3(5):423-424. USA.

Sánchez, D.A. y L.M. Ramírez. 1963. La producción de semilla de alfalfa. Folleto de Divulgación No. 32. INIA. México, D.F. 33 p.

Sanderson, M.A. and R.M. Jones. 1993. Stand dynamics and yield components of alfalfa as affected by phosphorus fertility. *Agron. J.* 85(2):241-246. USA.

Semenou, A.L. 1976. Effect of phosphorus and potassium fertilizers and sowing methods on seed yield and quality in lucerne. *Herbage Abstracts* 6(4):160. England.

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 1980. Normas para la certificación de semillas. Dirección General de Agricultura. SARH. México, D.F.

Stivers, R.K. and J. Ohlrogge. 1952. Influence of phosphorus and potassium fertilization of two soil types on alfalfa yield, stand and content of these elements. *Agron. J.* 44: 618-621. USA.

Teuber, L.R., D.K. Barnes and C.M. Rincker. 1983. Effectiveness of selection for nectar volume receptacle diameter and seed yield characteristics in alfalfa. *Crop Sci.* 23(3): 283-289. USA.

Turrent, F.A. y R. J. Laird. 1980. La Matriz Experimental Plan Puebla, para Ensayos sobre Prácticas de Producción de Cultivos. 4a. edición. N°. 1. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 27 p.

Turrent, F.A. 1985. El método gráfico estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la Matriz Plan Puebla I. 2a. edición. No. 5. 45 p. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

- Valdez, O.A. 1997. Establecimiento, manejo y producción de cuatro especies de gramíneas forrajeras para el Estado de Coahuila. Folleto técnico No. 1. SAGAR-INIFAP-CIRNE-CAESIA-PRODUCE. 26 p.
- Vazhov, V.M. 1982. Intensity of flowering and pollination of lucerne under irrigation. *Herbage Abstracts* 52(12):544. England.
- Walton, E.V. y O.M. Holt. 1962. Cosechas productivas. C.E.C.S.A. México, D.F. 467 p.
- West, S.H. and H.C. Harris. 1963. Seed coat colors associated with physiological changes in alfalfa and crimson and white clover. *Crop Sci.* 3: 190-193. USA.
- Wheler, W.A. 1950. Forage and pasture crops. D.Van Nostrand Company, Inc. 1a. edición. USA. p .242.
- Wynn, R.B. and T.P. Palmer. 1974. Seeding rates, row spacing and lucerne (*Medicago sativa* L. cv. Saranac) seed production. *Herbage Abstracts.* 46(4). 160. England.
- Zubal, P. 1996. Effect of desiccation of lucerne stands on seed yields. *Seed Abstracts* 19(1):29. England.

APENDICE

Cuadro A.1. Características físico-químicas del suelo donde se estableció el experimento en el Campo Experimental Bajío de la UAAAN. 1995.

Característica / Profundidad	0 - 30 cm	30 - 60 cm
Materia orgánica	3.11 % rico	2.01 % medianamente rico
Nitrógeno aprovechable	0.1811 % medianamente pobre	0.1765 % medianamente pobre
Fósforo aprovechable	19.7 ppm medianamente pobre	20.8 ppm medianamente pobre
Potasio intercambiable	332.5 kg/ha medianamente rico	263. 0 kg/ha mediano
pH	7.99 medianamente alcalino	8.06 medianamente alcalino
Carbonatos totales	30.85 % mediano	26.8 % mediano
Conductividad eléctrica	0.8 mmhos/cm suelo no salino	0.89 mmhos/cm suelo no salino
Capacidad de intercambio catiónico	14.8 meq/100 g caolinita-ilita	16.6 meq/100 g caolinita-ilita
Densidad aparente	2.3 g/cc	2.5 g/cc
Densidad real	2.0 g/cc	2.0 g/cc
Textura	migajón arcilloso	migajón arcilloso

Fuente: Laboratorio de Fertilidad de Suelos-UAAAN

Cuadro A.2. Distribución de la temperatura y precipitación durante el ciclo del cultivo de alfalfa para producción de semilla. Campo Experimental Bajío. UAAAN 1995-96.

MES	TEMPERATURA °C			PRECIPITACION (mm)
	Máxima	Mínima	Media	
Noviembre	29.0	3.0	14.7	9.3
Diciembre	27.0	-3.0	10.4	17.5
Enero	27.0	-5.0	11.6	2.0
Febrero	31.0	-3.3	14.1	2.0
Marzo	28.0	-7.0	12.9	0.0
Abril	32.0	2.0	18.5	0.0
Mayo	34.3	10.0	23.0	29.2
Junio	31.9	13.8	22.7	0.0
Julio	31.3	13.4	23.1	53.0
Agosto	32.7	13.2	21.1	150.0
Septiembre	29.4	7.4	20.3	59.5
Octubre	31.0	0.0	16.4	13.0
Noviembre	29.0	-3.0	13.9	7.5
				Total: 343 mm

Fuente: Departamento de Agrometeorología . UAAAN.1996.

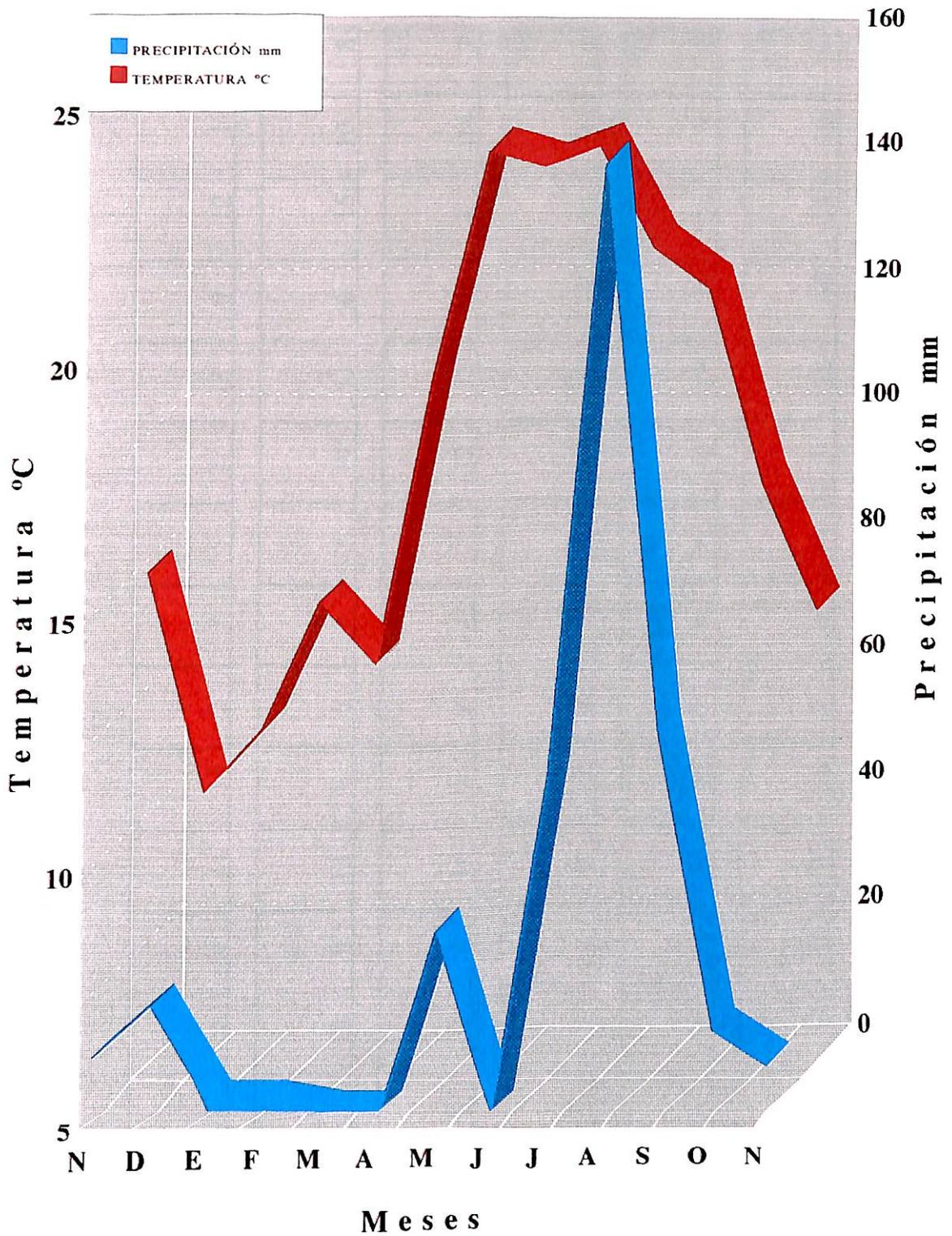


Figura A.1. Precipitación y temperatura media presentada durante el ciclo del cultivo. UAAAN 1995-96

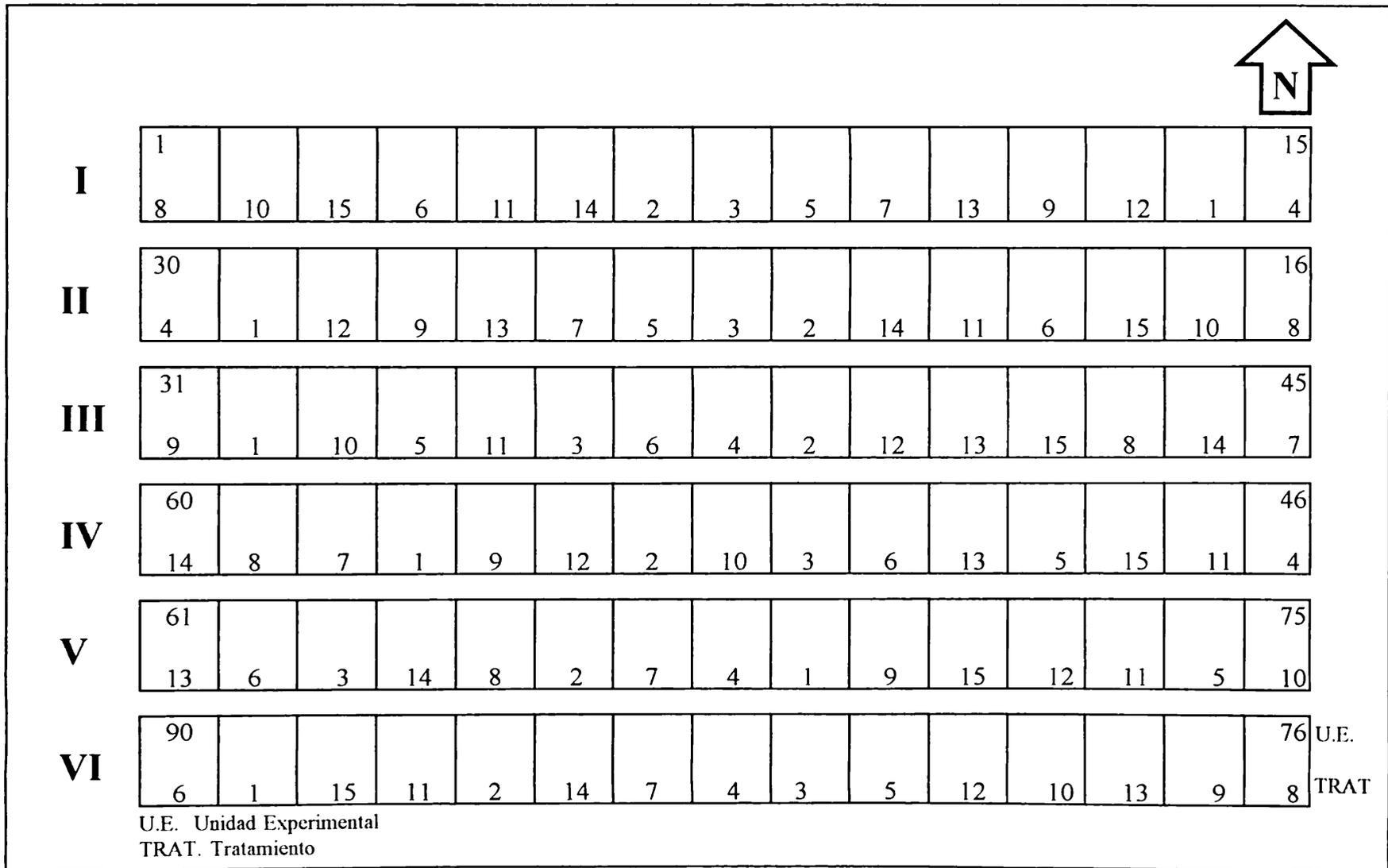


Figura A.2. Croquis de campo. Diseño experimental bloques al azar con seis repeticiones
Campo Experimental Bajío .UAAAN. 1995-96.