

rendimiento de grano del sorgo en las diferentes regiones productoras, los investigadores agrícolas han tratado de dar solución a cada uno de ellos con el propósito de lograr un aumento en el rendimiento por unidad de superficie; esta actividad requiere de generar información básica que apoye tales investigaciones. En este sentido, en sorgo mucho se ha escrito y explicado acerca del rendimiento y sus componentes; sin embargo, poco se conoce de la relación que existe entre el tipo de planta, y el rendimiento y sus componentes tanto individual como poblacional, cuando el cultivo se somete a densidades de población crecientes bajo condiciones limitantes (punta de riego) y favorables de humedad en el suelo (riego).

En relación a lo anterior, en el Programa de Sorgo del Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Frijol y Sorgo de la FAUANL se vió la necesidad de iniciar una línea de investigación básica para generar información al respecto, por lo que al iniciar este trabajo se establecieron los objetivos siguientes:

- a) Definir la densidad óptima de tres genotipos contrastantes en el tipo de planta para maximizar el rendimiento de grano por área bajo dos condiciones de humedad.
- b) Explicar la dinámica del rendimiento de grano por área en base al rendimiento de grano por planta y sus componentes, para los tres diferentes tipos de planta sometidos a cuatro densidades de población y dos niveles de disponibilidad de agua.

Se ha encontrado que el número de plantas por unidad de superficie influye directamente en el rendimiento de los cultivos y que para calcular este número se debe tomar en cuenta el nivel de fertilidad y la humedad en el suelo (Carballo 1966 citado por Ramírez 1985)

De acuerdo con los resultados de investigaciones sobre la densidad de población se ha observado que a medida que hay un incremento de la población de planta, la media del rendimiento por planta decrece esto no es causado por la disminución de los factores ambientales, los cuales son más o menos constantes, sino porque con el aumento de plantas por unidad de área, cada planta se ve obligada a compartir estos factores alcanzando cada vez menor cantidad de ellos, surgiendo así la competencia (Duncan, 1958)

Para conocer el efecto que tiene la densidad de población sobre el rendimiento del cultivo del sorgo se han realizado una serie de trabajos encaminados a determinar el rendimiento máximo en función de la densidad de siembra y de la densidad de población. Estos estudios han mostrado que esta asociación aparentemente sigue una relación lineal. A continuación se mencionan algunos trabajos a lo anterior señalado.

Con el propósito de determinar la densidad óptima de siembra por unidad de superficie en sorgo Acevedo (1970) realizó un estudio donde midió el efecto en el rendimiento por área de sus densidades de siembra (7, 9, 11, 13, 15 y 17 kg de

semilla/ha) utilizando un híbrido de sorgo sus resultados muestran que cuando la densidad fue aumentada de 9 a 15 kg de semilla/ha se incrementaron el rendimiento de grano en forma significativa. Comenta que el rendimiento máximo de grano se produjo sembrando a una densidad de 15 kg/ha.

Mann (1965) y Wall y Ross (1975) coinciden en que los sorgos graníferos varían desde menos de 33,000 a más de 44,000 semillas por kilogramo, por lo que a una misma densidad de siembra, se pueden tener diferentes densidades de población entre un híbrido con semilla grande y otro con semilla pequeña, por esto las recomendaciones como la anteriormente citada pueden ser inexactas, por lo que actualmente se utiliza la densidad de población de plantas por hectárea y ocasionalmente los centímetros cuadrados por planta, en vez de kg de semilla/ha.

Martínez (1988) observó que el rendimiento en el cultivo de sorgo aumentó linealmente al incrementar la densidad de población, pero en densidades altas este decreció notablemente.

Fischer y Wilson, (1975), citados por Huda (1988) efectuaron un estudio en Redland Bax, Queensland, Australia, y obtuvieron un rendimiento máximo de 14 ton/ha de sorgo (CV RS 610) cuando utilizaron la densidad mas alta de 64 5 plantas por m^2 el mismo autor cita a Freyman y Venkates Warlu (1977) quienes realizaron un trabajo en la India bajo condiciones de temporal encontraron que con una densidad máxima de 22 plantas por m^2 lograron el rendimiento mayor de 11 ton/ha de grano (CV CSH5)

Así mismo, en otro experimento con las mismas características que el anterior pero con manejo diferente, Balasubramaniam et al. (1982) citados por Huda (1988), observaron que a medida que se incrementaba la densidad de 7.5 a 12.5 plantas por m^2 se incrementó el rendimiento de grano de sorgo de 3.9 a 4.2 ton/ha, pero éste bajó a 3.8 ton/ha cuando se incrementó la densidad a 17.5 plantas por m^2 y a 3.5 ton/ha cuando la población se aumentó a 22.5 plantas por m^2 .

Nema et al. (1988) evaluaron la respuesta de cuatro genotipos de sorgo a tres densidades de población de plantas 90,000, 180,000 y 270,000 pl/ha en Madhya Pradesh, India. Obteniendo un rendimiento medio de los cuatro genotipos de 2.81, 3.82 y 3.89 ton/ha, respectivamente bajo cada densidad.

Como resultado de sus investigaciones Wall y Ross (1975) han considerado que el número óptimo de plantas de sorgo varía de acuerdo a los ambientes donde se sembró. Bajo condiciones limitantes de humedad en el suelo, la densidad fluctúa entre las 37,000 y 125,000 plantas/ha, mientras que si la siembra se realiza bajo condiciones de riego se pueden llegar a densidades de 250,000 a 300,000 plantas/ha, para obtener los máximos rendimientos. Sin embargo, en un estudio que realizaron Maciel y Moreno (1970) sobre métodos de siembra, densidades de población de plantas por hectárea y calendarios de riego en el noreste de Tamaulipas, concluyeron que no se observó diferencia significativa en los rendimientos de grano por efecto de las diferentes densidades de población estudiadas (200,000 350,000 y

500,000 pl/ha) y sólo se apreció una tendencia en que los rendimientos fueran mayores al reducir la población de plantas por hectárea de 500,000 a 350,000 y a 200,000.

Considerando los estudios anteriores puede establecerse que bajo riego la densidad de población que maximiza el rendimiento por hectárea fluctúa de 200,000 a 300,000 pl/ha y que es necesario reducirla a la mitad o menos cuando se siembra bajo un temporal donde la disponibilidad de agua para el cultivo es escasa.

2.1.1. Factores de manejo del cultivo que determinan variaciones en la densidad de población.

Para que el cultivo del sorgo resulte económicamente más redituable a los productores, es necesario tomar en cuenta una serie de factores que limitan su producción, tales como la luz solar, la temperatura y la lluvia, los cuales no pueden ser controlados; sin embargo, existen otros como la preparación de suelo, la fecha de siembra, la elección de la variedad, la fertilidad del suelo, el manejo del agua, la densidad de población y el arreglo topológico que sí pueden ser controlados. Es importante que en estos factores se tenga un buen control con el objetivo de que el agricultor utilice mejor los recursos disponibles. Esto no necesariamente implica un mayor rendimiento, pero sí al menos el ahorro de recursos al trabajar en forma más eficiente.

2.1.1.1. Preparación del suelo.

Sin duda alguna, un suelo bien preparado facilitará una mejor distribución y profundidad de siembra de la semilla, un mejor contacto con el suelo y una mejor germinación y emergencia y por ende se podrá alcanzar la cantidad óptima de plantas por unidad de área que permita al productor obtener el máximo rendimiento unitario.

Diehl, et al. (1973) mencionan que el estado físico del suelo en el momento de la siembra influye en gran medida en la densidad de siembra. Cuando hay terrones en exceso, independientemente del grado de humedad, debe aumentarse la cantidad de semilla al tener en cuenta debido a que el contacto de estas con las partículas del suelo húmedo no será el necesario para lograr una buena imbibición y por tanto habrá mayores riesgos para una mala germinación. Ocurre lo mismo cuando la siembra se realiza en un suelo muy ahuecado y poroso en cuyo caso debe aumentarse la cantidad de semillas en un 20 a 30%, debido a que el contacto de las semillas con las partículas del suelo húmedo no será el necesario para lograr una buena imbibición.

En la zona norte y centro del Estado de Nuevo León. la preparación del suelo para la siembra consiste en una roturación o paso de arado de (20 a 30 cm de profundidad) y uno o dos pasos de rastra. La nivelación es poco frecuente o en todo caso es de mala calidad. Este es quizás el aspecto más importante que

afecta el establecimiento del cultivo, ya que ocasiona primero una mala cama de siembra, deficiente captación, distribución y conservación de la humedad en el suelo, y segundo una desuniformidad en la profundidad de siembra y por lo tanto, mala germinación, emergencia y desarrollo posterior de las plantas, (Maiti, 1983, citado por Maiti, et al. 1984).

Independientemente de las condiciones de humedad del suelo en que se realice la siembra del cultivo de sorgo, la cantidad de semilla a utilizar así como la preparación del suelo van a influir en los rendimientos al final de la cosecha.

2.1.1.2. Fecha de siembra y elección de la variedad.

La fecha de siembra se define por las condiciones climáticas de cada región y por el ciclo vegetativo de la planta o genotipo de tal forma que dentro del patrón climático de la zona, el genotipo a sembrar pueda encontrar a través de su ciclo las condiciones favorables para su desarrollo.

Los genotipos de sorgo de ciclo precoz tienen hojas de menor tamaño y menos funcionales que los genotipos de ciclo tardío (Quinby 1972 citado por Villar et al., 1989). De acuerdo con Blum (1970) y Norwook (1982) (citados por Villar et al., 1985) esto les permite hacer un uso más eficiente del agua por la menor demanda menor que éstos tienen para su desarrollo con respecto a los tardíos.

Un incremento en la densidad de población de plantas de sorgo compensaría a los genotipos de tipo precoz al desarrollar estos un índice de área foliar similar a los de tipo intermedio sembrados a la densidad normal (Villar, et al., 1989).

En la producción de sorgo en el noreste de México es conocido por técnicos y agricultores que la siembra tardía de sorgo para grano en Marzo puede resultar en una sustancial pérdida del rendimiento comparada con la siembra a principios, de Febrero y a veces a la de fines de Enero debido a condiciones de clima adverso u otras causas como la mosca de la panícula (Contarinia sorghicola Cog.).

Villar, et al. (1989), durante 1986 y 1987 en Nebraska estudiaron un sistema de producción de alta densidad (PAD) en tres fechas de siembra el cual se comparó con el método de producción convencional (CVL), con el propósito de investigar la posibilidad de evitar las reducciones en el rendimiento del sorgo para grano cuando se retrasa la siembra. En el esquema PAD se utilizó el híbrido precoz DeKalb 18 sembrado a una población de 150,000 plantas por acre (370,645 pl/ha) en surcos a 14 pulgadas (35.6 cm). En el método CVL se utilizó el híbrido de ciclo intermedio Pioneer 8515 a 64,000 plantas/acre (158,142 pl/ha) en surcos a 30 pulgadas (76.2 cm). Las fechas de siembra fueron 6, 20 y 27 de Junio.

No hubo tensión de humedad en ambos sistemas debido a las altas precipitaciones durante los dos años del estudio. La tasa

de acumulación de materia seca total fue mayor para el sistema PAD. Los máximos rendimientos de grano fueron obtenidos en las fechas de siembra tempranas y fueron esencialmente iguales para ambos sistemas de manejo con rendimientos de 137 y 109 bu/acre para 1986 y 1987, respectivamente. Ocurrieron reducciones significativas en el sistema PAD solamente en la última fecha de siembra en 1986 (35%) y en 1987 (15%). En el sistema CVL, ocurrió una reducción del 35% y 67% con cada retraso en la fecha de siembra en 1986 y, en 1987, siendo la reducción del 47% en la última fecha de siembra. El uso de un híbrido precoz bajo el esquema PAD permitió mantener una adecuada producción de sorgo para grano en temporal cuando se retrasó la fecha de siembra, si la humedad no es limitante, requiriéndose más investigación del sistema bajo condiciones de humedad limitada.

2.1.1.3. La fertilización y la condición de humedad del suelo y la densidad de población.

Se ha señalado que el número de plantas por hectárea es muy importante para lograr buenos rendimientos, y que depende del nivel de fertilidad y de la humedad del suelo.

Para lograr cosechas con rendimientos elevados se requieren buenos métodos de cultivo. Si durante la estación de cultivo se dispone de agua suficiente y se utiliza un fertilizante adecuado puede aumentarse la densidad de población para lograr cosechas con rendimientos máximos. (Anónimo, 1963, citado por Acevedo, 1970).

Tocagni (1979) explicó que los suelos bien fertilizados y con buena retención de humedad, tienen mayor capacidad para sostener una alta densidad de plantas que los menos fértiles.

El empleo del número adecuado de plantas por unidad de área, su distribución en el terreno, así como la dosis indicada de fertilizante nitrogenado que deberá emplearse en determinadas circunstancias, figuran entre los factores más importantes para obtener los máximos rendimientos unitarios (Black, 1975, citado por Gallegos, 1984).

Grimes y Musick (1960), encontraron que cuando se incrementó la cantidad de plantas de 56,000 a 224,000 por hectárea con un riego de presiembra y tres, de auxilio, se produjo los mismos rendimientos; sin embargo, se observó que cuando la población de plantas fue de 247,097 plantas por hectárea, esto es 23,097 plantas más, se obtuvieron los máximos rendimientos.

Grimes y Musick (1959), citados por Maciel y Moreno (1970), observaron que cuando en el terreno hubo una población de 350,000 plantas de sorgo por hectárea, las plantas requirieron la misma cantidad de fertilizante, independientemente de la separación entre surcos, y aunque la cantidad de plantas varió de 555,000 a 138,000 por hectárea, requirieron la misma lámina de agua de riego o de lluvia. Para producir los rendimientos máximos se aplicaron cuatro riegos, uno de presiembra y tres de auxilio, el primero de estos pocos días antes de iniciarse la

etapa "bandera", el segundo cuando el grano estuvo en estado "lechoso" y el tercero cuando el grano estaba en estado masoso-lechoso.

En siembras correspondientes a temporales deficientes o en las de riego limitado se deberán utilizar de 4 a 6 kg/ha de semilla. Para condiciones medias de humedad (buen temporal o mal temporal con riego de auxilio) se recomienda sembrar de 8 a 10 kg/ha de semilla y para siembras de riego o de un buen temporal uniformemente distribuido en los cuales el cultivo de sorgo no sufrirá deficiencias de humedad se sugiere de 10 a 12 kg/ha de semilla (Robles, 1978). No obstante esto deberá tomarse bajo la suposición de un suelo bien preparado y considerar además que las diferentes variedades híbridas en el mercado pueden variar en el número de semillas por kg, (Mann, 1965, Wall y Ross, 1975) se debería indicar la densidad de población mas que la de siembra.

2.1.1.4. Distancia entre surcos y la densidad de plantas.

Es conocimiento de dominio general entre los investigadores agrícolas que los arreglos topológicos y geométricos de las plantas, pueden ayudar a reducir la competencia intrapoblacional, principalmente por luz, nutrientes y agua; esto mediante la reducción del amontonamiento de las plantas en el terreno bajo una misma densidad de población; por lo anterior, mucho se ha dicho de que la distancia entre plantas y la separación entre surcos permiten regular el acomodo en el

terreno de una misma población hasta llegar al mejor arreglo que será aquel que permita maximizar el rendimiento por área.

Con respecto a lo anterior citado existe una tendencia de ir reduciendo la distancia entre surcos y regulando la distancia entre plantas para definir el mejor acomodo para una densidad alta de plantas/ha, ya que se ha encontrado que los rendimientos del sorgo aumentan bajo estos arreglos con respecto a las siembras convencionales, aunque esto no siempre se dá.

Hay algunos inconvenientes que puede limitar esta tendencia, tales como la disponibilidad de maquinaria para siembra y cultivos en hileras estrechas, el acame de plantas por la menor distancia entre plantas, y entre surcos, lo que ocasiona una mayor proliferación de enfermedades, explicable por un microambiente mas húmedo en el dosel inferior un menor flujo del aire y menor penetración de la radiación solar a estratos inferiores. Estos aspectos han sido investigados y algunos trabajos se mencionan a continuación:

Rodríguez (1983) señala que la distancia entre plantas y la separación entre surcos determina la densidad óptima de población de plantas.

Valdés (1982) entrevistó a diversos productores de sorgo en relación al manejo de la distancia entre surcos y publica lo siguiente: "Las siembras de sorgo con separación entre surcos de 80 a 85 cm siguen siendo lo más común en la región de Río Bravo,

Tamps. Algunos agricultores de esa zona piensan que haciendo las siembras en esta forma se corren menos riesgos. Para comenzar, la mayoría de las firmas comerciales que distribuyen semilla especifican esta separación entre surcos. Es decir, con dicha separación la densidad promedio de semilla a utilizar por hectárea es de 12 a 15 kg/ha. Con esta cantidad obtienen los mayores rendimientos. Agrega también que por el espacio que queda entre los surcos, fluyen con facilidad las corrientes de aire y el cultivo no se acama. La maleza puede controlarse en forma efectiva mecánicamente en las primeras etapas de crecimiento y los operadores de la maquinaria están más familiarizados con estas distancias entre surcos".

Este mismo autor menciona, "que existen otros productores de esta región que siembran el sorgo en surcos dobles, ya que consideran que los rendimientos han superado un poco a los del cultivo en surcos sencillos y estiman también que la humedad y los nutrientes se aprovechan mejor en las siembras de surco doble que en los sencillos".

El mismo autor continúa explicando que: "la distancia entre surcos sigue siendo de 85 cm, la diferencia es que la sembradora deposita dos hileras de semilla en lugar de una; para tal efecto, el tubo de descarga de la máquina se le acondiciona una extensión en forma de (y) cuyos orificios de salida distan diez centímetros uno del otro".

"Los rendimientos promedio que se obtuvieron en 300

hectáreas, señala un productor, fueron de 4.5 ton/ha, mientras que en otra área, similarmente administrada por este mismo productor pero en surcos sencillos, la producción fue de 4.0 ton/ha".

"Una desventaja que se observó en el sistema de surcos dobles es la proliferación de la maleza. Se efectuaron dos cultivos como en la siembra de surco sencillo, pero no fue posible eliminar la hierba que queda entre los surcos, que están juntos".

"Otro productor de la zona de Río Bravo, tiene una teoría muy convincente respecto a la distancia entre plantas, cuando se logra sembrar alrededor de 27 plantas por m^2 en surcos de 40 cm de separación, el cultivo cubre el terreno por completo, señaló. Siendo así, casi toda la humedad del rocío y las lluvias es captado por las hojas de la planta y esto es de vital importancia en regiones temporaleras".

"Este productor lleva dos ciclos sembrando en la misma forma, en el primero de ellos, en 1980, su rendimiento promedio fue de 4.0 ton/ha en 110 has. y en 1981, su sorgo rindió 4.8 ton/ha; cabe mencionar que en 1980 solamente cayó lluvia durante el período reproductivo y en 1981 llovió en cuatro ocasiones. Este productor agrega que el ciclo correspondiente a 1980 fue prácticamente seco, por lo que gran parte de los agricultores en Río Bravo, no llegaron a cosechar ni tres toneladas por hectárea en surcos sencillos".

"Explica también que en años de lluvia y viento el cultivo corre el riesgo de acamarse, pero 1980 no fue de fuertes vientos, por lo que sólo se acamó alrededor de un 6% del cultivo; sin embargo, en 1981 fue diferente y hubo un 40% de acame. El mismo agricultor aclara, que aunque gran parte de su sorgo se dobló, no tuvo problemas a la hora de la trilla pues las panojas no llegaron a tocar el suelo. Como conclusión de este sistema de surcos a 40 cm se tiene lo siguiente: se estima que las siembras a 40 cm dan resultado, pero más en años de poca precipitación. Quizás sea necesario usar un tipo de planta que enraíce más ya que no es posible efectuar los aporques por estar las plantas muy juntas y las aspersiones para controlar la maleza tienen que ser aéreas".

Varios investigadores han obtenido incrementos significativos en los rendimientos de grano de sorgo al reducir la separación entre surcos. En un estudio efectuado en el año de 1956 en Bushland, Texas. EUA, los investigadores Porter, Jensen y Slirtten (1960), citados por Maciel y Moreno (1970), indican que sembrando poblaciones entre 150,000 y 370,000 plantas por hectárea, en surcos separados de 30 a 50 cm entre sí, obtuvieron rendimientos de grano mayores que los producidos en surcos con separación de 76 a 100 cm.

En varios experimentos llevados a cabo en Garden City, Kansas EUA, desde 1952 a 1958 por Grimes y Musick (1959) citados por Maciel y Moreno (1970), se encontró que los mejores rendimientos de grano de sorgo (7.1 ton/ha) se obtuvieron

sembrando 277,000 plantas por hectárea, en surcos separados de 18 a 35 cm entre sí, en comparación con las 6.35 ton/ha producidas cuando la separación fue de 53 a 71 cm.

Durante tres años consecutivos de 1960 a 1962, Mann (1965), realizó una serie de experimentos de temporal en sorgo en la estación experimental de Spring Field Colorado, EUA., para determinar el efecto de la densidad de siembra y el espaciamiento entre surcos sobre el rendimiento de grano. Los genotipos utilizados fueron Early Hegari, Martin y RS 610. Las densidades fueron 2.3, 4.5 y 6.8 Kg de semilla por hectárea, la separación entre surcos fue de 52.5 y 105 cm. Este investigador encontró que el híbrido RS 610 fue el que obtuvo el mayor rendimiento con 1.041 ton/ha en los tres años y en las tres densidades probadas. También observó que la media más alta de rendimiento fué obtenida con la densidad más baja de 2.3 Kg de semilla/ha. Por otra parte, los resultados indican que no hubo diferencia significativa entre el espaciamiento de los surcos con respecto al rendimiento; sin embargo, los surcos a 52.5 cm mostraron la ventaja sobre los de 105 cm de reducir la incidencia de maleza y también la de impedir una mayor erosión causada por las corrientes de aire.

2.1.1.5. La distancia entre surcos, entre plantas y contenido de humedad en el suelo.

En un trabajo que Maciel y Moreno (1970) realizaron en el Noreste de Tamaulipas, con el objetivo de determinar que método

de siembra produce los mayores rendimientos de grano en sorgo en combinación con diferentes calendarios de riego, y densidad de plantas por hectárea, concluyeron lo siguiente: Dependiendo de las condiciones de humedad y luminosidad efectiva, es posible producir de 1.0 a 1.5 ton/ha más de grano sembrando las plantas de sorgo en surcos con una separación de 50 cm que con una separación de 80 cm. También observaron una tendencia a obtener los mayores rendimientos de grano cuando se combina la siembra efectuada en surcos a 50 cm con tres riegos de auxilio o lluvias equivalentes a los 30, 50 y 65 días después de la emergencia.

En un experimento de sorgo para grano que fue conducido en los años 1958 y 1959 en Bushland, Texas por Bond, Army y Lehman (1964) con el objetivo de entender mejor las interrelaciones del espaciamiento entre surcos, la densidad de población y niveles de humedad en suelo a la siembra ensayaron las densidades de 2.3 y 4.5 kg semilla/ha en surcos a 50 y 100 cm respectivamente. Los niveles de la humedad del suelo se dieron al inicio de la siembra. Variando estos desde la condición de temporal a niveles bajos hasta un perfil lleno de aproximadamente de 6 pies. En términos generales encontraron que el rendimiento de grano se incrementó a medida que el nivel de humedad del suelo fue mayor. Cuando se sembró a una densidad de 2.3 kg de semilla por hectárea se logró el mayor rendimiento de grano comparado que con la densidad de 4.5 kg, en el nivel mas alto de humedad del suelo. Así también; determinaron que se produjo mas grano por hectárea en los niveles mas bajos de humedad cuando la siembra se realizó en surcos a 100 cm. En tanto que; cuando se

utilizaron surcos de 50 cm se obtuvieron los mayores rendimientos de grano en el nivel mas alto de humedad.

Robinson, et al. (1964) compararon cuatro espaciamentos entre surcos (25, 50, 75 y 100 cm) y tres densidades de plantas de sorgo bajo riego (193,366; 387,334 y 774,671) en tres localidades del sureste de Minnessota. encontraron que el rendimiento de grano en kg/ha se incrementaba linealmente a medida que el espaciamento de los surcos se reducía de 100 a 25 cm. Así mismo, se incrementaron las panículas por hectárea y el número de semilla por panícula, pero el peso de la semilla tendió a decrecer.

2.1.2. Características de semilla y planta que determinan variaciones en la densidad de población.

Entre estas características se pueden señalar aquellas tales como: por ciento de germinación, vigor y tamaño de la semilla y las relacionadas directamente con la planta particularmente la altura y el área foliar. Algunas aportaciones respecto a como estas características afectan las densidades de población para maximizar el rendimiento por área, se presentan a continuación.

2.1.2.1. Por ciento de germinación, vigor y tamaño de la semilla.

La importancia de las prácticas de cultivo como se señalaba anteriormente son de carácter fundamental para definir la

densidad de población. Ellos influyen en la reducción o aumento de la cantidad de plantas de sorgo establecidas por unidad de área; Sin embargo las prácticas de cultivo deben considerarse conjuntamente con el porcentaje de germinación y el vigor de la semilla, dado que también son determinantes de las variaciones en la densidad de siembra y población, (Delorit y Ahlgren, 1970, Martin, Leonard y Stamp 1975 y Rodríguez 1983).

Maiti (1983) citado por Maiti et al, (1984) establece que la suma de todas las etapas de desarrollo del cultivo desde su siembra hasta su cosecha definen el rendimiento final. Durante este período se distinguen dos fases:

- a) La etapa que comprende desde la siembra hasta la emergencia fase heterotrófica.
- b) De la emergencia a la cosecha, fase autotrófica; además considera que la fase I potencialmente define la producción final del cultivo, ya que es al inicio del establecimiento, donde las fallas en la emergencia afectan la densidad de población final, esto depende del porcentaje de germinación y el vigor de la semilla y otros factores ambientales.

Maiti (1986) señaló que el tamaño de la semilla es un factor importante en la determinación de la germinación y el vigor de las plántulas; sin embargo sus resultados mostraron que aparentemente no tiene efecto en la emergencia de la plántula cuando se considera un solo genotipo. Contrariamente otros investigadores como Abullahi y Vanderlip (1972) y Suh, et

al. (1974) citados por Maiti (1986), han encontrado que los genotipos que difieren en tamaño de la semilla muestran una variación significativa en la emergencia de la plántula.

Maranville y Clegg (1977) (citados por Gardner, et al. 1985) indican que en sorgo la alta densidad de la semilla se asocia más a un alto vigor que el tamaño de la misma. Hartman y Kester (1981) y la Asociación Mexicana de Semilleros (1983) citados por , Alegría et al. (1986) indicaron que el vigor de la semilla comprende aquellas propiedades de la semilla que determina el potencial de una rápida y uniforme emergencia y el desarrollo de las plántulas normales bajo un rango amplio de condiciones en el campo. La supervivencia en el campo de plantas provenientes de semillas poco vigorosas, en general, tiende a ser menor que lo indicado por el porcentaje de germinación logrado en el laboratorio. En síntesis una semilla con bajo porcentaje de germinación y bajo vigor tendrá que sembrarse a mayor densidad para alcanzar la población requerida.

2.1.2.2. La altura de planta el área foliar y la densidad de población.

Aunque existe mucha información que explica que la densidad de plantas influye en el rendimiento, pocos estudios se han realizado para evaluar la respuesta del rendimiento de grano en genotipos de sorgo contrastantes en altura y su relación a los cambios en la densidad de población.

Con el objetivo de determinar el grado en que la altura de la planta de sorgo define cambios en el rendimiento como resultado del espaciamiento entre surcos y la densidad de población, Stickler y Younis (1966) realizaron tres experimentos en Manhattan, Kansas de 1962 a 1964. Los genotipos utilizados fueron: Martin, Plainsman y Redland. Las líneas experimentales de sorgo fueron isogénicas difiriendo por un gene (DWS) para permitir que el efecto de la altura fuera determinando dentro de un antecedente genético común. A madurez fisiológica los genotipos altos y bajos promediaron 142.5 y 92.5 cm, respectivamente. El espaciamiento entre surcos fue de 50 y 100 cm mientras que las densidades de población utilizadas fueron: 129,181, 64,590 y 42,978 plantas por hectárea. De acuerdo con los resultados obtenidos, concluyeron que el rendimiento promedio de los surcos a 50 cm excedió al de los surcos de 100 cm en 563.16 kg/ha, esto es, aproximadamente un 11%. Por otra parte, no se encontró diferencia significativa en la interacción entre el ancho del surco y la altura de planta; sin embargo, la interacción de la altura de planta, densidad de población y variedades fué significativa, encontrándose que los genotipos bajos rindieron más que los altos en densidades altas, ocurriendo lo contrario a densidades bajas.

Martínez (1988) en un estudio conducido en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, evaluó la habilidad competitiva intrapoblacional de cuatro líneas experimentales (LES) de sorgo y un testigo híbrido de sorgo bajo tres

distancias entre surcos y tres densidades de población. El conculyo entre otras cosas que en la mayoría de los genotipos se observó un aumento en la altura de las plantas al decrecer el espaciamiento entre ellas, excepto en el genotipo LES 47 R en el cual no manifestó ningún cambio. El área foliar de la planta, el largo y el área de la hoja bandera aumentaron al incrementarse el espaciamiento entre surcos y plantas. Este comportamiento se manifestó más claro en los genotipos LES 42-R y LES 99-R.

2.1.2.3. Consideración al primer objetivo, hipótesis experimentales uno y dos.

Tomando en cuenta la información bibliográfica de la sección 2.1, se establece que el agricultor siempre ha buscado la forma de optimizar su rendimiento por unidad de superficie a través de prácticas culturales y la selección de sus cultivares. Entre las prácticas agronómicas se pueden citar los métodos de labranza, la fertilización, los métodos de siembra y el manejo de la densidad de población. Posiblemente este último factor haya sido de los más estudiados, ya que existen evidencias tanto en investigaciones experimentales como empíricas realizadas por los propios productores sorgueros, que el rendimiento por unidad de área se incrementa a medida que se aumenta la densidad de población de plantas hasta que logra alcanzar una densidad óptima, después de esta, el rendimiento de grano decrece. Esta maximización del rendimiento al aumentar el número de plantas/ha, está en función de las condiciones de humedad y fertilidad del suelo, ya que se ha visto que bajo humedad

limitante o en suelos pobres la alta densidad de siembra tiene un efecto en la reducción del rendimiento de grano.

Bajo las condiciones anteriores se establece la primera hipótesis experimental.

Hay una densidad de población óptima para maximizar el rendimiento de grano, para cada genotipo tanto en riego como punta de riego.

La tolerancia a la competencia resultante de la densidad de siembra, varía con la precocidad y la altura de planta. Según esto las plantas de menor altura y precoces pueden soportar densidades mayores de población y se espera que el rendimiento/ha sea mayor que con plantas de mayor altura, intermedias ó tardías. Posiblemente esto se deba a que las plantas de poca altura a altas densidades su área foliar es menor aunque no necesariamente, y por consiguiente su transpiración también se reduce, de tal manera, que la presión competitiva por luz, nutrientes y agua será mucho menor con respecto a las de mayor altura. La apreciación visual de una planta conjuntando su altura, el número, tamaño, ángulo de inserción y distribución opuesta o elicoidal de las hojas en el tallo, el grosor de este último, etc., ha llevado frecuentemente a investigadores a utilizar el término porte de planta, el cual está sujeto a la subjetividad de cada persona al efectuar tal visualización. En la literatura revisada no se encontró alguna publicación que especifique objetivamente el denominado porte de

planta de tal manera; que por este pudieran diferenciarse genotipos que evidentemente contrastan en altura, área foliar, su distribución, etc., y que por tanto sería de esperarse que su respuesta en rendimiento, sus componentes, su altura, y área foliar deberá ser diferente entre ellos al sembrarse bajo condiciones variables de densidad de población y humedad disponible en el suelo.

Debido a lo anterior y como en este estudio los genotipos utilizados contrastan en su porte se decidió dar objetividad a esta apreciación visual; para lo cual se propone la utilización de un índice de porte el cual sea medible y por tanto cuantificable para propósitos de interpretar la diferencia entre genotipos contrastantes en este índice tanto en rendimiento como otras características cuando se someten a densidades de población crecientes y condiciones limitantes (punta de riego) y favorables de humedad (riego). El índice de porte propuesto se obtiene al multiplicar la altura de planta por el área foliar y expresarlo en $\text{cm}^3/1000$. Considerando lo anterior se planteó la segunda hipótesis experimental:

Las plantas con menor porte presentan mayor rendimiento de grano por área que las de mayor índice de porte en altas densidades de población.

2.2. La Densidad de Población y la Tolerancia a la Competencia Intrapoblacional, Segundo Objetivo.

Odum (1978) coincide con Emmel (1975) en que la palabra competencia denota una lucha por la misma cosa. A nivel ecológico la competencia viene a ser importante cuando dos organismos luchan por alguna cosa que no está en un suministro adecuado para ambos. Por ejemplo, las plantas compiten entre ellas por luz, nutrientes y agua; así todos los organismos en un ecosistema compiten por una misma necesidad básica: una fuente de energía, por lo que, en las poblaciones naturales se reconocen dos tipos de competencia la intraespecífica y la interespecífica.

Odum (1978) puntualiza que la competencia intraespecífica es un factor importante en aquellas poblaciones que tienden a ser autoregulables en su clase y su número. Al respecto, Baker y Allen (1970) señalan que la competencia intraespecífica ocurre entre los miembros de la misma especie cuando hay una cantidad limitada de alimentos. Como resultado de una competencia intraespecífica se eliminan los individuos menos adaptados dentro de la población genéticamente variable.

Por otro lado, cuando se trata de una población en la cual no hay variabilidad genética, tal como una línea pura o un híbrido donde teóricamente todas las plantas poseen el mismo genotipo, la respuesta a la competencia no resultará en la eliminación de algunas plantas sino del total de la población o

en la reducción en el crecimiento, cuando estos factores del ambiente son insuficientes para cubrir los requerimientos de las plantas para su supervivencia. Ahora bien, dentro de ciertos rangos de competencia intrapoblacional previos a la extinción de la población, la respuesta a la competencia se podrá medir por los cambios en el crecimiento, la morfología, el rendimiento de las plantas y el rendimiento de materia seca de toda la población sembrada en una área definida*.

Aldrich y Leng (1974) señalan que existen híbridos de maíz que reaccionan de manera distinta al incremento en las densidades de población. En la cruz Hx2 x OH7 los mejores rendimientos se registran con densidades de población relativamente altas, por lo general más de 60,000 plantas por hectárea. Este es un híbrido tolerante a las altas densidades de población que producirá una mazorca buena y sana y por tanto mayor rendimiento; mientras que la cruz WFq x C103 es totalmente opuesta a la anterior, esto es, un híbrido sensible al incremento de la densidad de población. Este híbrido sembrado a densidades entre 35,000 y 40,000 pl/ha produce una mazorca grande y buena en todos los tallos y rinde bien, pero que en densidades de 50,000 pl/ha se presenta una pequeña cantidad de plantas estériles y si la población sube a 60,000 o más plantas por hectárea, pueden ser estériles más de la mitad de las plantas, el resto presentan mazorcas imperfectas reduciéndose el rendimiento. También se observó que bajo sequía el rendimiento

* Comunicación personal del Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano

del híbrido sensible se redujo como ocurrió en un año desfavorable, mientras que en el mismo año, el híbrido tolerante alcanzó su mejor rendimiento en alta densidad de población.

Estas observaciones indican que en aquellos genotipos que incrementan el rendimiento por área al sembrarlos en altas densidades, debe de existir un mecanismo genético de tolerancia a la competencia intrapoblacional.

2.2.1. El rendimiento por planta, por área y la competencia intrapoblacional.

Cuando se estudia la plasticidad de los caracteres del sorgo a diferentes densidades de población y niveles de humedad disponible en el suelo, se reporta que el cultivo difiere tanto en su rendimiento individual como poblacional bajo las diferentes combinaciones de densidades de población y niveles de humedad.

La relación biológica entre la densidad de plantas y el rendimiento de un cultivo se puede dar de dos maneras: una asintótica donde, al incrementar la densidad de población el rendimiento se eleva a un máximo y posteriormente éste se mantiene relativamente constante a altas densidades. El otro tipo de relación es parabólica, pues el rendimiento alcanza un máximo pero luego decrece cuando la población de plantas se incrementa después de este punto, (Willey y Heath 1969). Holliday (1960) citado por estos autores señala que esta la

última relación está asociada a los cultivos que producen su rendimiento en grano e incluso Willey (1965) señalado por dichos autores confirman lo anterior con cebada.

Nava (1979) señala que la densidad donde se obtiene el máximo desarrollo individual es ineficiente desde el punto de vista de la productividad poblacional, pero permite maximizar el desarrollo individual y en muchos casos la calidad de la cosecha, además del tamaño y vigor de las estructuras de la planta. Señala que en la práctica agrícola raramente se trabaja a este nivel, excepto cuando se pretende obtener productos de exposición o de calidad sobresaliente, que es cuando se sacrifica la productividad por unidad de superficie en beneficio de la productividad individual. Este mismo autor expresa que cada población presenta una relación definida entre las ganancias por individuo y las ganancias por unidad de superficie, el conocimiento de estas relaciones permite una mejor comprensión del comportamiento poblacional para ajustar más eficientemente la densidad de población y maximizar el rendimiento por planta o por área.

Valdés (1979) citado por Martínez, (1988) ha establecido que "el rendimiento de grano por planta disminuye conforme se incrementa la densidad de población como consecuencia de la competencia intrapoblacional; sin embargo, no obstante esta disminución se da un efecto compensatorio en el rendimiento de grano por unidad de área como consecuencia del incremento en el número de plantas. Este efecto compensatorio permite incrementar

el rendimiento de grano por área hasta un óptimo en el incremento de la densidad de población, después del cual hay una disminución debido a que el incremento en el número de plantas no compensa la reducción en el rendimiento por planta como consecuencia de la competencia intrapoblacional excesiva".

El óptimo mencionado, es el que se pretende identificar para maximizar el rendimiento de grano por unidad de área. Sin embargo, el óptimo variará con la variedad la arquitectura de la planta y la capacidad de tolerar altas densidades de un cultivo particular bajo condiciones específicas de un ambiente de producción.

Valdés (1979) citado por Martínez, (1988) menciona que: "una densidad de población óptima, en términos de maximizar el rendimiento por unidad de área para un genotipo de una especie en particular, es aquella en la que se alcanza el rendimiento compensatorio por planta máximo bajo condiciones de competencia intrapoblacional; y que consecuentemente, el genotipo que permitirá maximizar el rendimiento por unidad de área al incrementar la densidad de población, sería aquel que presentara alto potencial de rendimiento por planta bajo la densidad menor y que lo mantenga, o bien se reduzca un mínimo, al incrementar la densidad de población, esto es que sea tolerante a la competencia intrapoblacional".

Considerando los resultados obtenidos en su evaluación de la habilidad competitiva intrapoblacional de cinco genotipos de

sorgo en Marín, N. L, Martínez (1988) concluyó que el rendimiento individual varía significativamente entre genotipos al someterlos a espaciamientos variables entre plantas y surcos. Estas variaciones presentan un patrón general de respuesta en el rendimiento por planta aumentó considerablemente al incrementarse el espaciamiento entre plantas y surcos, pero reduciéndose los rendimientos por hectárea en forma significativa.

Como síntesis de lo anterior, la tolerancia a la competencia intrapoblacional se puede definir como la capacidad de un genotipo para mantener el rendimiento por planta que presenta bajas densidades conforme se va incrementando la densidad de población: Un genotipo tolerante no necesariamente garantiza un alto rendimiento por área a altas densidades, por que éste depende no sólo de la tolerancia a la competencia intrapoblacional sino también del potencial de rendimiento por planta de este genotipo a bajas densidades. Así, un genotipo tolerante con bajo rendimiento por planta a bajas densidades podrá mantener tal rendimiento a altas densidades pero rendir menos por área que otro genotipo con alto rendimiento por planta en la densidad menor.pero que no obstante su reducción en el rendimiento por planta, este sería mejor que el del genotipo tolerante en altas densidades rindiendo más por área.

2.2.2. Parámetros que determinan la tolerancia a la competencia intrapoblacional.

Martínez (1988) realizó un estudio con el propósito de evaluar la habilidad competitiva de cinco genotipos de sorgo bajo condiciones de riego y nueve densidades de población. Encontró que el modelo para la línea LES 47R ($y = 20.27 - 0.0000 189x$), manifiesta una recta con poca pendiente y por ende una menor reducción en el rendimiento por planta al incrementar la densidad de población. Para los genotipos LES 42R y RB 3030 sus modelos de regresión fueron: ($y = 44.03 - 0.0000 520x$) y ($y = 44.39 - 0.0000 527x$) respectivamente. Los coeficiente de regresión fueron muy similares, consecuentemente las pendientes fueron casi paralelas lo que indicó para los dos genotipos casi un mismo comportamiento del rendimiento por planta ante el efecto de la competencia intrapoblacional. El modelo de regresión del genotipo LES 88R ($y = 31.78 - 0.0000 383x$) presentó un coeficiente de regresión más pequeño que el de los genotipos LES 42R y RB 3030, indicando una pendiente menos pronunciada; el modelo de regresión del genotipo LES 99R ($y = 43.19 - 0.0000 715 x$) se observó que el coeficiente de regresión fué mayor, lo cual indica una recta con pendiente mas pronunciada, consecuentemente éste es un genotipo altamente afectado por la competencia entre plantas, por lo que se consideró como el mas susceptible a la competencia entre plantas, mientras que los genotipos LES 42R y RB 3030 mostraron una tolerancia intermedia, en tanto que los genotipos LES 88R y LES 47R fueron los más tolerantes a la competencia, solo que al tener bajos rendimientos de grano por

planta, presentaron bajos rendimientos por área en densidades altas.

2.2.3. La variación en la densidad de población y los componentes del rendimiento.

Cuando se estudia el efecto que tiene el incremento en la densidad de población sobre el rendimiento por área, se espera que éste se incremente o se reduzca a partir de densidades de población particulares para condiciones buenas o limitantes de humedad en el suelo. Así mismo, se ha observado que este incremento o reducción del rendimiento de grano de sorgo por área, estará en función de las variaciones que los componentes del rendimiento (número de granos por panícula, peso del grano, número de panículas por área, etc.) que se presentan por efecto de la variación en la densidad de población.

Martínez (1988) encontró que al incrementar el espaciamiento entre plantas en la mayoría de los genotipos probados aumentó la longitud de la panícula pero el peso de grano y su volumen no cambiaron.

Gerik y Neely (1987) compararon la importancia de los hijuelos del sorgo con la del tallo principal para definir el rendimiento de grano final en tres fechas de siembra y cinco densidades de población (2.5, 7.4, 12.4, 17.3 y 22.3 plantas m^2). Determinaron que los hijuelos mostraron una marcada reducción en la producción de grano conforme se incrementó la

densidad de población, por lo que su contribución al rendimiento fue importante sólo entre el rango de 2.5 a 12.4 pl/m². A densidades mayores no contribuyeron en forma significativa al rendimiento.

Wall y Ross (1975) determinaron que el sorgo no desarrolla de la misma forma en densidades de población altas que en bajas. Cuando la densidad de población es alta, las plantas son más altas y producen panículas más pequeñas en tallos delgados, cuando la densidad de población es baja, se producen panículas más grandes y tallos más gruesos.

Acevedo (1970) coincide con los anteriores autores en señalar que existe una relación muy estrecha entre las dimensiones de la panícula y la densidad de población. A densidades de población bajas las panículas fueron más grandes en su longitud y su diámetro y por consiguiente de mayor peso, que las producidas en plantas sembradas a densidades altas. Por otro lado, señala que la altura de planta tendió a aumentar conforme se incrementó la densidad de población y que el grosor medio del tallo disminuyó.

Gallegos (1984) comparó cuatro niveles de fertilización nitrogenada y cuatro densidades de población de plantas en sorgo para grano y encontró en su estudio que no hubo diferencia significativa tanto para rendimiento de grano por área como para características agronómicas tales como altura de planta, altura de la hoja bandera, diámetro de la parte media

del tallo y longitud de la panícula.

Blum (1967) estudió en sorgo el efecto que tienen la fertilidad del suelo y la densidad de población sobre la producción de grano y los cambios que ocurren en los componentes del rendimiento. Encontró que el peso de 1000 semillas y el número de granos por panícula se incrementaron en el nivel más alto de fertilidad y la menor densidad de población. En esta condición las panículas fueron más grandes debido al incremento en la longitud y el número de los entrenudos del raquis. También observó una correlación negativa, entre el peso del grano y el número de granos por rama y el número de granos por panícula.

Robinson y Bernat (1963) encontraron una alta correlación entre el peso seco de las panículas de sorgo y el rendimiento de grano por área sobre un amplio rango de condiciones ambientales.

Stickler y Wearden (1965) estudiaron la variación del espaciamiento entre surcos y la densidad de población de plantas de sorgo con el propósito de observar la influencia que tienen sobre los componentes del rendimiento del grano. Entre sus conclusiones obtuvieron que el número de panículas por unidad de área y las semillas por panícula fueron afectadas por los cambios en la densidad de población. El peso de grano fue afectado en menor grado que las otras dos variables.

Subramanian y Rao (1988) estudiaron las bases fisiológicas del rendimiento del grano en sorgo en relación a bajas

densidades y observaron los efectos que tiene la densidad de plantas sobre el desarrollo del área foliar, y cuantificaron la partición de materia seca durante el llenado de grano. Ellos concluyen que en bajas densidades de población se obtuvieron panículas más grandes y el número de granos por panícula y el peso de grano se incrementaron. Así, las plantas mostraron una mayor proporción del área de la hoja bandera en relación al área foliar total, por tal causa fueron mas eficientes al producir más grano por unidad de área foliar. En densidades bajas se observó un crecimiento lento del grano durante los primeros días después de la fecundación y una mayor movilización de fotosintatos del tallo durante el llenado de grano, lo que contribuyó a producir granos más grandes que los que se formaron densidades más altas.

Miller y Kebede (1981) estudiaron diferentes densidades de población comerciales. Determinaron que los híbridos de sorgo utilizados en 1980 superaron en rendimiento a los primeros híbridos liberados de 1956 a 1959. Este mayor potencial de rendimiento de los híbridos nuevos fué explicado por un incremento en el número de semillas por panícula, a una mayor área foliar, altura y peso de planta. Por otro lado, el peso de la semilla, el índice de cosecha y el porcentaje de los granos no fueron diferentes entre los híbridos nuevos y los viejos.

Subramanian y Rao (1988) sugieren que con un buen programa de mejoramiento se podría esperar un incremento en las semillas por panícula y una reducción mínima en el peso de las

mismas en sorgo sembrado a bajas densidades bajo temporal.

En base a lo anterior se concluye que:

- a) Los componentes del rendimiento de grano tales como: el número de granos por panícula, el número de brotes, y el peso de grano, estos se reducen por el incremento de las densidades de población, sin embargo algunos autores difieren con respecto a este último componente dado que algunos indican que no cambian, pero otros lo afirman, aunque su reducción es menor que la de los otros componentes.
- b) La densidad de población de plantas produce cambios significativos en la mayoría de las características agronómicas y los componentes del rendimiento de grano. Así por ejemplo, la altura de planta aumenta a medida que se incrementa el nivel de densidad de población mientras que otras características tales como el diámetro del tallo y el tamaño de la panícula disminuyen.

2.2.4. La densidad de población, los componentes del rendimiento y el porte de planta.

Los mejoradores de sorgo han encontrado que existe una relación fisiológica entre la arquitectura de la planta y el rendimiento de grano, por lo que su tendencia es la de formar

ideotipos de plantas que maximicen el rendimiento a través de cambios tanto en el área foliar, como en la forma, ángulo e inclinación de las hojas y la altura para con ello lograr sistemas específicos de producción.

Rhodes (1971) citado por Stoskopf (1981) indica que existe una relación altamente significativa entre el tipo de dosel y el rendimiento de grano.

En la práctica, la densidad de población y el porte de planta deben ser consideradas conjuntamente. Sin embargo, los estudios de densidad de población y componentes del rendimiento en relación al porte de planta han sido muy escasos en sorgo.

Martínez (1988) estudió la habilidad competitiva de cinco genotipos de sorgo bajo condiciones de riego y determinó que para el rendimiento de grano (ton/ha) el rendimiento de grano por planta, el índice de cosecha y la densidad del grano, hubo diferencia significativa entre genotipos, y que las diferencias más notables fueron para los genotipos altos con respecto a los genotipos de menor tamaño.

Caravetta, Cherney y Johnson (1990) realizaron un estudio con el objetivo de determinar los cambios en la morfología de cuatro genotipos de sorgo (IS-0469, IS-0865, P - 954063 y IS - 2952) sembrados en cinco espaciamientos dentro de surcos (5, 10, 15, 30 y 60 cm). Estos investigadores concluyeron que existen diferencias significativas entre genotipos y los espaciamientos

dentro de surcos. El número de brotes por planta aumentó a medida que se incrementó el espaciamento entre surcos, en tanto que la altura declinó de 2.0 a 1.7 m entre los genotipos. Estos autores también señalan que las características morfológicas respondieron de manera diferente a los cambios en el espaciamento entre los surcos y entre genotipos.

Ishizuka (1969) ha considerado que el incremento en el rendimiento de arroz en Japón, se ha debido a la reducción de la altura de la planta y al incremento del número de hijuelos efectivos, los cuales pueden llevarse a densidades de población que permitan alcanzar un índice de área foliar óptimo y así producir máximo rendimiento de grano.

Considerando lo anterior se puede concluir que tanto el manejo de la densidad de población como la selección de genotipos contrastantes en la arquitectura de planta van a permitir establecer tipos diferentes de dosel los cuales presentarán una respuesta final en rendimiento de grano/ha la cual no será la misma; por ello se requerirá definir para cada genotipo una densidad de población particular para maximizar el rendimiento por área.

2.2.5. La estructura fotosintética de la planta y la densidad de población.

Harper (1977), citado por Zavala (1985), señala que la proximidad de las plantas individuales afecta el desarrollo de las mismas, y en consecuencia contribuyen a regular la capacidad reproductiva de la población. Aunque el peso seco de una población de plantas tienda a compensar más o menos las variaciones en densidad de población, las partes de las plantas no son modificadas en un mismo grado. Las plantas en crecimiento bajo tensión por efecto de la densidad son proporcionalmente modificadas por el grado de distribución de fotosintetizados entre sus diferentes estructuras, hojas, tallos, panícula, etc.

Duncan et al (1967) citados por Acevedo, (1970) señalan que el factor densidad de población es importante si se toma en cuenta que en poblaciones de alta densidad, las hojas se sombrean unas con otras, de ahí que la luz se transforme en este caso en el factor limitante de la fotosíntesis, lo cual finalmente viene a reducir el rendimiento del cultivo.

Por lo anterior, el conocimiento acerca de las estructuras que intervienen en los procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la respiración, la fotorespiración y el flujo de las fotosintetizados a los puntos de demanda de la planta, permite tener un mayor entendimiento del rendimiento, tanto en riego como bajo condiciones limitantes de humedad. Las prácticas culturales tales como el riego, fertilización, el espaciamiento

entre surcos y entre plantas para regular la densidad de población, son alternativas que permiten modificar indirectamente el ambiente para incrementar la eficiencia en la actividad fotosintética de la planta y por consecuencia tratar de lograr un mayor rendimiento por unidad de superficie. Para esto, el número, el área y la disposición de las hojas en la planta, permitirá ajustar el dosel a las prácticas de manejo que maximizen la intercepción de luz y minimizen la competencia por agua y nutrientes para una mayor producción y movilización de fotosintetizados hacia los puntos de demanda y poder obtener altos rendimientos de grano por unidad de área.

2.2.6. El agua disponible en el suelo, el rendimiento de grano, sus componentes y la estructura fotosintética.

Martin y Leonard, (1967), FAO (1978) y Shibles (1971) citados por Villalpando, (1984) señalan que el sorgo es una planta con patrón de fotosíntesis tipo C_4 que realiza fotosíntesis a concentraciones cercanas a 0 ppm. de CO_2 poseen además una eficiencia alta en el uso del agua ya que produce de 150 a 350 kg de agua/kg de materia seca con respecto a otros cultivos como el maíz planta C_3 .

Krieg y Hutmatcher (1986), realizaron una serie de experimentos utilizando varios niveles de riego para proporcionar diferentes grados de tensión de agua en la planta. Encontraron que la causa primaria de los cambios de la tasa fotosintética fué debido a la edad de la hoja. El aumento en la

edad de la hoja y la tensión hídrica redujeron la tasa de asimilación de CO_2 . La tasa de asimilación de CO_2 por unidad de densidad de flujo de fotones también se redujo en las plantas con tensión de agua. La conductividad estomatal respondió a los cambios en la tasa fotosintética, para mantener una concentración intercelular de CO_2 relativamente constante en relación a los niveles de concentración ambiental. El control principal de la fijación de carbón en el sorgo, parece estar relacionado a la actividad de los cloroplastos más que al suministro del CO_2 .

McCree y Davis (1974) citados por Saucedo, (1985) reportaron que el área foliar disminuye conforme se incrementa el agobio de humedad. Al disminuir el área foliar se disminuye consecuentemente la superficie transpirante, lo cual constituye una adaptación a las condiciones de sequía. Estos mismos autores indican que las estomas tienden a ser más pequeños y abundantes en las hojas que crecen en ambientes secos que en hojas que se encuentran en un buen ambiente de humedad.

Saucedo (1985) determinó en su trabajo de resistencia a sequía con sorgo que la altura, el área foliar, el número de hojas, el número de raíces secundarias, la longitud de la raíz seminal y el peso seco de la plántula se ven afectados adversamente por la sequía. También determinó que el número de células epidérmicas y la frecuencia estomática se incrementaron cuando los genotipos fueron sometidos a condiciones limitadas de humedad.

Blum (1970) evaluó tres híbridos de sorgo que diferían en floración (55, 60, y 70 días después de la emergencia) bajo doce densidades de siembra (de 2.9 hasta 27.9 plantas/m²) y humedad limitante (302 mm). Encontró que el híbrido de tipo tardío alcanzó el rendimiento más alto en la densidad menor, mientras que el híbrido precoz logró mayor rendimiento con la densidad mayor. El rendimiento por planta y el número de panículas por planta y el número de granos por panícula se mostraron consistentes a través de las densidades. Por otro lado, el rendimiento de grano en la densidad más alta fue determinado por la interacción entre el número de granos por panícula, y el peso del grano. La superioridad del híbrido precoz en la densidad mayor fue lograda a través de su habilidad para mantener los granos más grandes y mostrar una mayor eficiencia en el uso del agua. La cantidad de agua se incrementó a medida que se aumentó la densidad de plantas.

Arnon et al (1965) citados por Blum, (1970) indican que el rendimiento de grano de sorgo no es afectado drásticamente por las variaciones en la densidad de siembra, aun en condiciones de humedad desfavorable. Esto debido a la habilidad que tiene para compensar su producción a través de los componentes del rendimiento.

Considerando los antecedentes mencionados para que una planta de sorgo exprese su máxima capacidad fotosintética es necesario que esta se desarrolle bajo condiciones óptimas de ambiente, de otra manera se verá afectada en su producción. Así

por ejemplo, un déficit de humedad inhibiría el desarrollo del área foliar, y por consiguiente va a reducir la fotosíntesis y por tanto el rendimiento de materia seca.

En general el cultivo de sorgo presenta una habilidad para soportar bajos potenciales hídricos, por sus características morfológicas, anatómicas y fisiológicas, lo que le permite compensar su producción por unidad de área a través de los componentes del rendimiento de grano, aún con las variaciones en los espaciamientos entre plantas, señalaron Arnon, et al. (1965), citados por Blum (1970).

2.2.7. Consideración al segundo objetivo, hipótesis experimentales tres, cuatro, cinco, seis y siete.

De acuerdo con la información bibliográfica anterior se puede establecer que la competencia intraespecífica en sorgo se da entre plantas del mismo genotipo, y que esta competencia es por luz, nutrientes y agua.

Por otra parte, se sabe que existen híbridos de sorgo que reaccionan de manera diferente a los cambios en la densidad de población, esto debido quizás a la habilidad competitiva de cada uno de ellos, por lo que es de suponer que hay híbridos susceptibles y tolerantes a la competencia intrapoblacional.

El rendimiento por planta disminuye conforme se incrementa la densidad de población como consecuencia de la competencia

intrapoblacional, sin embargo, no obstante esta disminución se da un efecto compensatorio en el rendimiento de grano por unidad de superficie como consecuencia del incremento del número de plantas. Respecto a lo anterior, lo recomendable para lograr los máximos rendimientos por unidad de área sería tener un híbrido que posea un alto potencial de rendimiento por planta y una reducción mínima al incrementar la densidad de población.

Por otro lado, se observó en la revisión de literatura anterior que la variación en los niveles de la densidad de población de plantas tiene una gran influencia sobre los componentes del rendimiento. Así por ejemplo, el peso de la panícula, el número de semillas y el peso de grano son afectados negativamente cuando se incrementa la densidad. Sin embargo, algunos autores señalan que el componente de rendimiento peso de grano es afectado en menor grado que el resto de las variables. Así también, se encontró que estos componentes de rendimiento como algunas características de la planta área foliar, altura, etc. también disminuyen conforme se incrementa en la planta el agobio por la reducción en la humedad del suelo.

Con respecto a la densidad de población y el porte de planta representado por un índice, se considera que puede existir una densidad de población particular para genotipos que difieren en éste, el cual permitirá maximizar el rendimiento unitario para cada uno.

Considerando lo anterior se plantearon las siguientes cinco hipótesis:

- Ho3. Los genotipos difieren en su capacidad para tolerar la competencia intrapoblacional, siendo las plantas de menor índice de porte las más tolerantes y las de mayor rendimiento por área bajo densidades altas.
- Ho4. De los componentes del rendimiento por planta en sorgo, el número de semillas se reduce más que el peso de las semillas al incrementar la densidad de población y tal reducción es menor en las plantas de menor porte.
- Ho5. Al incrementar la densidad de población el área foliar por planta se reduce más en las plantas de mayor porte que en las de menor porte.
- Ho6.- De los parámetros de la recta de los modelos de regresión simple para genotipos que miden la disminución del rendimiento por planta por efecto de la competencia intrapoblacional, el rendimiento por planta estimado \hat{Y}_i en la densidad más baja se asocia a los componentes del rendimiento de grano peso de semillas y número de semillas por panícula y la pendiente (b) a la altura y el área foliar.

Ho7. - La disminución en el rendimiento por planta, el número de semilla por panícula, el peso de semilla y el área foliar es más evidente en los tipos de mayor índice de porte bajo las condiciones de punta de riego que bajo riego, como resultado de incrementar la densidad de población.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del Experimento y Características Generales Donde se Realizó el Estudio.

El presente estudio de investigación se desarrolló en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el municipio de Marín, N.L. ciclo Verano de 1989, el cual está situado a los 25°53' de latitud norte y 100°03' de longitud oeste a una altura de 367 msnm (Rivera, 1988).

1

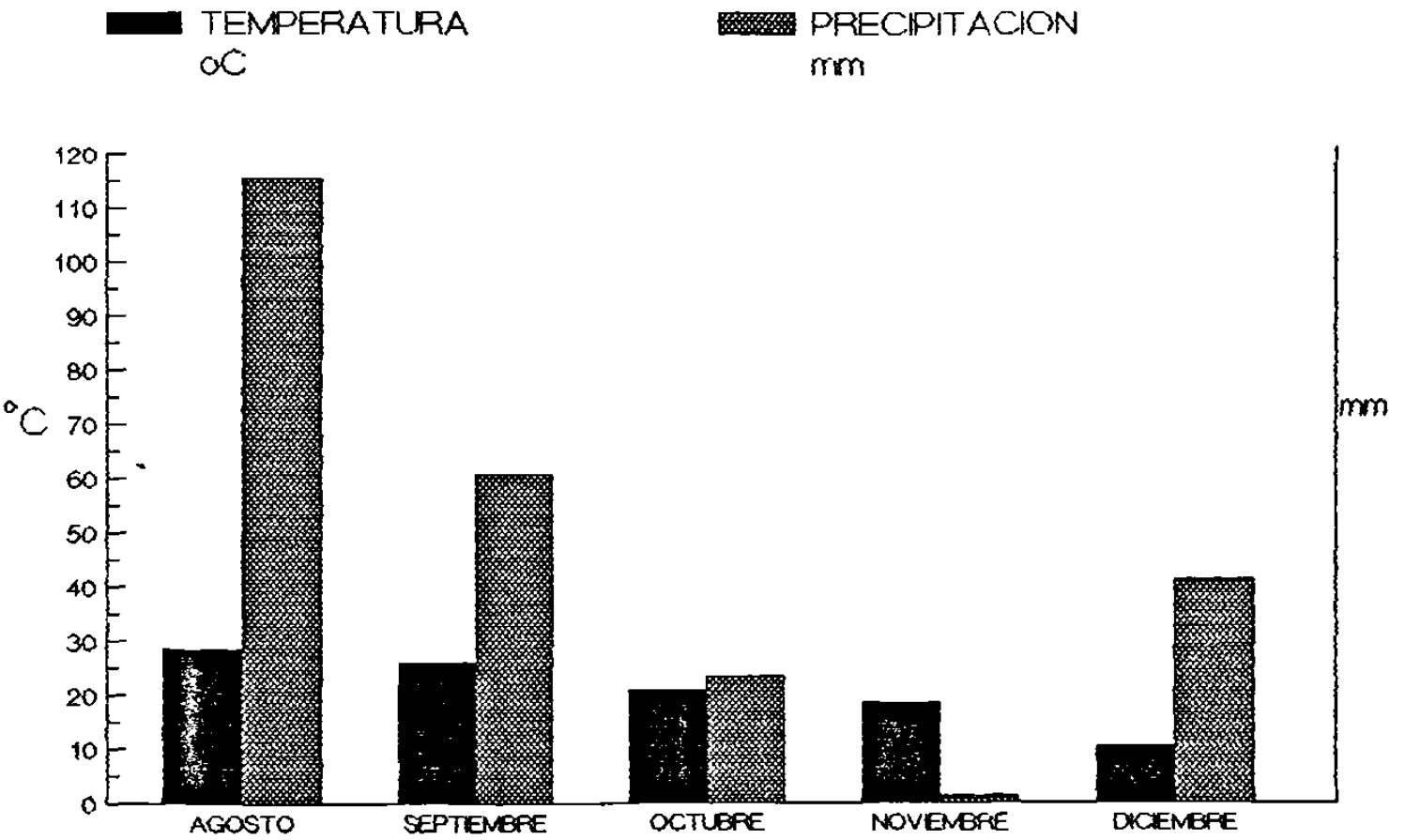
El clima predominante en la región, según la clasificación climática de Köppen modificada por García (1973), corresponde al tipo BS_1 (h') hx' (e') que en general indica un clima seco o árido, con régimen de lluvias en verano, una precipitación promedio anual de 400 a 500 mm y una temperatura media anual de 22°C, aunque su oscilación es muy extrema.

La precipitación y la temperatura que se registraron durante el período en que se desarrolló el experimento se muestran en la Gráfica 1.

3.2. Materiales

3.2.1. Material genético.

Para la presente investigación se emplearon una línea y una variedad de sorgo, la línea experimental de sorgo, denominada



Gráfica 1. Distribución de la precipitación y la temperatura media que se presentó durante el desarrollo del experimento. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L. Fuente: Estación Climatológica de la FAUANL.

LES 42R y la variedad introducida de ICRISAT nombrada SPV 351 y el híbrido comercial RB 3006 como testigo, proporcionados por el Programa de Sorgo del Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Frijol y Sorgo (PMMFS) de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L.

3.2.2. Material de campo.

Para la realización de las labores agrícolas en el experimento se utilizaron los materiales y herramientas siguientes: un tractor, arado, rastra de discos, y un bordeador para efectuar los canales de riego. Así también se usaron otras herramientas como sifones, lonas y palas. Para dar los riegos correspondientes según los tratamientos del experimento. Para el control de maleza se utilizaron azadones, escarda; mientras que para el combate de plagas se usaron los implementos agrícolas como: un tractor y una bomba de aspersión para la aplicación de los productos químicos (insecticidas). Mientras que para realización de los muestreos de humedad del suelo se usaron los siguientes materiales: una barrena, frascos de vidrio para el depósito de las muestras de suelo, una báscula granetaria y una estufa para secar dichas muestras. En lo que respecta a la toma de datos se utilizaron diferentes materiales entre los que se encuentran: libro de campo, cinta de medir, regla, lápices y etiquetas.

3.2.3. Métodos

El presente estudio fué evaluado bajo dos condiciones de humedad como:

- a) Riego
- b) Punta de riego

Para la condición de riego consistió en proporcionar a los tratamientos que así lo ameritaron dos riegos mas de auxilio después del riego de presiembra, durante el ciclo del cultivo esto de acuerdo a la capacidad de campo del suelo (determinada previamente) donde se realizó el experimento.

En lo que respecta a la condición de punta de riego este consistió en proporcionarle a los tratamientos únicamente el riego de presiembra.

3.3. Metodología Estadística y de Campo

3.3.1. Tratamientos y diseño experimental

En total se formaron 24 tratamientos al combinar las dos condiciones de humedad del suelo riego y punta de riego, las cuatro densidades de población de plantas (62,500, 125,000, 250,000 y 500,000 pl/ha) y tres genotipos de sorgo LES 42R, SPV 351 y RB 3006. En el Cuadro 1 se presentan las combinaciones resultantes de los tratamientos de este estudio.

Cuadro 1. Tratamientos resultantes de combinar los niveles de los factores: Riegos, Densidad de población y Genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Parcelas Grandes (Riegos)	Sub-Parcelas (Densidades de población)	Parcela Chica (Genotipos)	No. Tratamientos	
Riego	62,500	LES 42 R	1	
		RB 3006	2	
		SPV 351	3	
	125,000	,	LES 42 R	4
			RB 3006	5
			SPV 351	6
	250,000	,	LES 42 R	7
			RB 3006	8
			SPV 351	9
500,000	,	LES 42 R	10	
		RB 3006	11	
		SPV 351	12	
Punta de riego	62,500	LES 42 R	13	
		RB 3006	14	
		SPV 351	15	
	125,000	,	LES 42 R	16
			RB 3006	17
			SPV 351	18
	250,000	,	LES 42 R	19
			RB 3006	20
			SPV 351	21
500,000	,	LES 42 R	22	
		RB 3006	23	
		SPV 351	24	

El diseño experimental utilizado fue el de un bloques completamente al azar con un arreglo en parcelas sub-divididas con cuatro repeticiones, la parcela grande estuvo formada por la condición de humedad en el suelo, la subparcela por el factor densidad de población de plantas y la parcela chica estuvo representada por los genotipos.

El número total de las unidades experimentales fue de 96, cada una de estas consistió en cuatro surcos espaciados a 0.80 m y 5 m de longitud (16 m^2). Como parcela útil se dejaron los dos surcos centrales de 4 m de largo (6.43 m^2) siendo cosechados únicamente las plantas con competencia completa, es decir, en donde se tenía la densidad de población predefinida.

3.3.2. Establecimiento y manejo del experimento.

La preparación del terreno consistió en un paso de arado y una rastra, posteriormente 10 días antes de la siembra se procedió a dar el riego de siembra al terreno y cuando este presentó condiciones de humedad propicias se pasó nuevamente la rastra colocando un tablón en la parte posterior de la rastra con el propósito de ir arrojando la humedad del suelo. La siembra se efectuó el día 17 de Agosto de 1989 con una sembradora experimental depositando la semilla a una profundidad de 5 cm. La emergencia se presentó entre los días 21 y 24 de Agosto. A los 15 días después de emergidas las plántulas se llevó a cabo un aclareo para proporcionar la densidad de población correspondiente a cada unidad experimental. Posteriormente se realizó un cultivo con el propósito de aflojar

y aporcar la tierra a las plantas. Se hizo una aplicación de fertilizante con la fórmula 120-60-00 a los tratamientos de riego únicamente. Con el fin de conocer el contenido de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo, se efectuaron cuatro muestreos del suelo aproximadamente cada 15 días previamente a los riegos de auxilio, con una barrena Veihmeyer a dos profundidades (0 a 30 y 30 a 60 cm). Las muestras obtenidas fueron pesadas para determinar el peso del suelo húmedo, después se llevaron a la estufa por un tiempo de 48 horas a una temperatura de 110°C para conocer el peso del suelo seco, y así determinar el contenido de humedad de cada muestra y expresarlo en %, se usó la siguiente relación (Velasco 1983).

$$\begin{array}{l} \% \text{ de} \\ \text{humedad} \\ \text{del suelo} \end{array} = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

Previamente se determinó el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (CC) y a punto de marchitez permanente (PMP) a las profundidades anteriormente señaladas, utilizándose la olla y membrana de presión para que en relación a estos resultados determinar el porcentaje de humedad disponible en el suelo y programar los riegos de auxilio correspondientes.

En lo que respecta a plagas del cultivo solamente se presentó el gusano cogollero (Spodoptera spp.) entre los 15-20 días después de emergidas las plantas. Para su control, se aplicó de Decis a razón de 350 mm/ha. La infestación de la maleza, fue relativamente baja en el experimento, y cuando se

presentaron se eliminaron con azadón. La cosecha se efectuó del 25 al 29 de Diciembre de 1989.

3.3.3. Variables estudiadas.

Para la medición de las variables que se consideraron en el experimento se tomó una muestra de cinco plantas en cada unidad experimental, la forma en que fueron tomados los datos de estas variables se describe a continuación.

a) Altura promedio de planta (AP). Se midió desde el suelo hasta el ápice de la panícula y se registró la altura en cm. Se calculó el promedio de las cinco plantas.

b) Área foliar promedio (AF). Se midió el largo y ancho de cada hoja, el largo se midió de la lígula hasta el ápice, para el ancho, se tomó la parte media de la hoja. El producto del largo por el ancho se multiplicó por el factor de corrección de 0.75 (Stickler, et al. 1961) y se determinó el área foliar de cada hoja. El área foliar total se obtuvo sumando el área de todas las hojas de una planta, y se calculó el promedio de las cinco plantas.

c) Índice de porte de planta (I.pp) la técnica utilizada para determinar esta variable fue propuesta en esta investigación para clasificar los genotipos de sorgos utilizados en relación a su área foliar y su altura como una alternativa de medición y posteriormente ésta se obtuvo multiplicando la altura promedio de la planta (cm) por el área foliar promedio (cm²) el dato se

registró en (cm³) dividiéndose el producto entre mil para facilitar el manejo de los resultados.

d) Peso de 250 semillas (PS) para cada una de las parcelas, se pesaron 250 semillas en una balanza electrónica y el peso se registró en gramos y se ajustó al 12% de humedad.

e) Número de semillas por panícula (NSP) para la obtención de esta variable se utilizó el peso promedio de 250 semillas y el peso promedio del rendimiento individual de diez plantas muestreadas ajustadas al 12% de humedad. El dato se estimó mediante una regla de tres simple.

f) Rendimiento de grano por unidad de superficie (Rend.). Se determinó en cada parcela, obteniéndose el peso del grano de todas las plantas con competencia completa, que estuvieron a la distancia entre plantas según la densidad de población preestablecida. El peso se ajustó al 12% de humedad y se estimó en ton/ha según fórmula planteada por Avila y Márquez (1978):

$$RC = \frac{Pgh \times 100 - ph}{88}, \text{ donde:}$$

RC = Rendimiento de grano ajustado al 12% de humedad.

Pgh = Peso de grano húmedo

Ph = Porcentaje de humedad del grano.

El porcentaje de humedad del grano se midió en el determinador de humedad marca "Steinlite" modelo G de la Seedburo Equipment Co. del Proyecto de Producción de Semillas de

Hortalizas.

g) Rendimiento de grano individual. (Rend. Ind.) Se tomaron 10 plantas al azar del total de plantas cosechadas en la parcela útil, se trillaron, se pesaron y se determinó el rendimiento de grano promedio en gramos por planta ajustado al 12% de humedad.

3.3.4. Análisis estadístico.

3.3.4.1. Modelo estadístico.

El modelo estadístico mediante el cual se analizaron las variables estudiadas fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + A_j + E_{ij}(a) + D_k + (AD)_{jk} + E_{ijk}(b) + G_l + (AG)_{jl} + (DG)_{kl} + (ADG)_{jkl} + E_{ijkl}(c) :$$

Donde:

Y_{ijkl} = Observación de la i -ésima repetición, en la j -ésima parcela grande, con la k -ésima subparcela con el l -ésima parcela chica.

μ = Media general del experimento.

R_i = Efecto del i -ésimo bloque.

A_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor Riegos.

$E_{ij}(a)$ = Error experimental de la ij -ésima observación (parcela grande).

D_k = Efecto del k -ésimo nivel del factor Densidad.

$(AD)_{jk}$ = Efecto de la interacción Riego x Densidad.

$E_{ijk}(b)$ = Error experimental de la ijk -ésima observación (subparcela).

G_l = Efecto del l -ésimo nivel del factor Genotipo.

$(AG)_{jl}$ = Efecto de la interacción Riegos x Genotipos.

$(DG)_{kl}$ = Efecto de la interacción Densidades x Genotipos.

$(ADG)_{jkl}$ = Efecto de la interacción Riegos x Densidades x Genotipos.

$E_{ijkl}(c)$ = Error experimental de la $ijkl$ -ésima observación (parcela chica).

3.3.4.2. Análisis de varianza.

En el Cuadro 2 se muestra la forma para realizar el análisis de varianza para este experimento.

Por otro lado, los valores de F_{cal} , se estimaron de la manera siguiente:

$$1. - \text{ Para el factor Riegos (A) } = \frac{CM(A)}{CME(a)}$$

$$2. - \text{ Para el factor Densidades (D) } = \frac{CM(D)}{CME(b)}$$

$$3. - \text{ Para la interacción (AxD) } = \frac{CM(AxD)}{CME(b)}$$

$$4. - \text{ Para el factor Genotipos (G) } = \frac{CM(G)}{CME(c)}$$

$$5. - \text{ Para la interacción (AxG) } = \frac{CM(AxG)}{CME(c)}$$

Cuadro 2. Análisis de varianza para un diseño bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas. Little & Hills (1981).

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.
Repet. (R)	(r-1)	$\sum_i \frac{X^2_{i..}}{adg} = F.C.$	$\frac{S.C. (R)}{(r-1)}$
Bloques (A)	(a-1)	$\sum_j \frac{X^2_{.j.}}{rdg} - F.C.$	$\frac{S.C. (A)}{(a-1)}$
Error (a)	(r-1)(a-1)	$\sum_{ij} \frac{X^2_{ij..}}{dg} - F.C. - S.C. (R) - S.C. (A)$	$\frac{S.C.E. (a)}{(r-1)(a-1)}$
Trat. (D)	(d-1)	$\sum_k \frac{X^2_{..k}}{rag} - F.C.$	$\frac{S.C. (D)}{d-1}$
(AXD)	(a-1)(d-1)	$\sum_{jk} \frac{X^2_{.jk}}{rg} - F.C. - S.C. (A) - S.C. (D)$	$\frac{S.C. (AXD)}{(a-1)(d-1)}$
Error (b)	a(r-1)(d-1)	$\sum_{ijk} \frac{X^2_{ijk}}{g} - F.C. - S.C. (R) - S.C. (A) - S.C.E. (a) - S.C. (D) - S.C. (AD)$	$\frac{S.C.E. (b)}{a(r-1)(d-1)}$
Trat. (G)	(g-1)	$\sum_l \frac{X^2_{...l}}{adr} - F.C.$	$\frac{S.C. (G)}{g-1}$
(AXG)	(a-1)(g-1)	$\sum_{il} \frac{X^2_{.j.l}}{rd} - F.C. - S.C. (A) - S.C. (G)$	$\frac{S.C. (AXG)}{(a-1)(g-1)}$
(DXG)	(d-1)(g-1)	$\sum_{kl} \frac{X^2_{..kl}}{ar} - F.C. - S.C. (D) - S.C. (G)$	$\frac{S.C. (DXG)}{(d-1)(g-1)}$
(AXDXG)	(a-1)(d-1)(g-1)	$\sum_{jkl} \frac{X^2_{.jkl}}{r} - F.C. - S.C. (A) - S.C. (D) - S.C. (G) - S.C. (AXD) - S.C. (DXG)$	$\frac{S.C. (AXDXG)}{(a-1)(d-1)(g-1)}$
Error (c)	ad(r-1)(g-1)	Por diferencia	$\frac{S.C.E. (c)}{ad(r-1)(g-1)}$
Total	(radg-1)	$\sum_{ijkl} X^2_{ijkl} - F.C.$	

$$6.- \text{ Para la interacción (DxG)} = \frac{CM (DxG)}{CME (c)}$$

$$7.- \text{ Para la interacción (AxDxG)} = \frac{CM (AxDxG)}{CME (c)}$$

Para los valores de $F(\text{tab})$ se obtuvieron mediante el uso de las tablas de distribución de F . (Steel and Torrie 1960). En la cual se tomaron el nivel de significancia de 0.05, los grados de libertad del numerador y los grados de libertad del error correspondiente utilizados como denominadores.

Para efectuar la prueba de hipótesis nula del análisis de varianza se utilizó el siguiente criterio de decisión:

Si $F_{\text{cal}} > F_{\text{tab}}$ se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) donde al menos una de las medias es diferente de las otras.

3.3.4.3. Comparación de promedios (DMS).

Con el propósito de comparar los promedios de las variables que resultaron significativas en la prueba de F se utilizó el método de la Diferencia Mínima Significativa (DMS), la cual se da continuación:

$$DMS = t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

Donde: CME = cuadrado medio del error

r = número de repeticiones.

t = es el valor de la tabla t de student

Por otro lado, también se determinó el coeficiente de variación para cada factor de estudio, con la fórmula:

$$C.V = \frac{S}{\bar{X}} \times 100:$$

Donde:

S = desviación estandar del error (CME correspondiente)

\bar{X} = media general de los datos.

3.3.5. Regresión simple.

Para analizar la influencia que tiene el factor densidad de población de plantas sobre el rendimiento de grano individual se utilizó el modelo de regresión simple que a continuación se presenta:

$$Y_i = a + b X_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

Y = variable dependiente o respuesta (rendimiento/planta).

X = densidad de población

a = intersección de la línea con el eje Y.

b = pendiente de la línea.

$$b = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Este análisis de regresión simple se efectuó con el fin de conocer para cada genotipo, la tolerancia a la competencia intrapoblacional medida como la disminución del rendimiento de grano por planta, eje Y, que surge al incrementar la densidad de población variable independiente en el eje X. Aquí una pendiente de la recta tendiente a 0 indicará que el genotipo es tolerante a la competencia intrapoblacional y con valores de pendiente negativos será considerada sensible a ésta.

Estos cálculos se efectuaron en el Centro de Cómputo de la Subdirección de Estudios de Postgrado de la FAUANL con la ayuda del Paquete computacional Lotus 123 proporcionado por Olivares (1989).

3.4. Prueba de Hipótesis Experimentales.

De acuerdo con la revisión de literatura se establecieron dos objetivos generales: a) el primero fue definir la densidad óptima de tres genotipos contrastantes en el tipo de planta para maximizar el rendimiento de grano por área bajo dos condiciones de humedad, b) el segundo fue explicar la dinámica del rendimiento de grano por área en base al rendimiento de grano por planta y sus componentes, para los tres diferentes tipos de planta sometidos a cuatro densidades de población y dos niveles de disponibilidad de agua. El primer objetivo involucró la prueba de las dos primeras hipótesis experimentales mencionadas en la sección 2.1.2.3., el segundo objetivo comprendió la prueba de las cinco hipótesis experimentales restantes, señaladas en la sección 2.2.7.

Para probar las siete hipótesis experimentales se procedió como sigue: para las primeras cinco se efectuaron los análisis de varianza de aquellas variables que fueron directamente relacionadas con cada una de las hipótesis experimentales y en el caso de la tercera hipótesis se consideró un análisis de regresión simple para determinar la tolerancia a la competencia intrapoblacional.

Para demostrar la sexta hipótesis experimental se consideraron los modelos de regresión simple a los que se ajustan los rendimientos de grano por planta para cada genotipo. Tomando como variable dependiente (Y) el rendimiento por planta y como variable independiente las densidades de población. De los anteriores modelos se eligió el rendimiento de grano estimado (\hat{Y}) por planta en la densidad mas baja y la pendiente de la recta (b), los cuales se asociaron con las variables peso de semillas, número de semillas por panícula, altura de planta y área foliar. Y a partir de estos se hicieron diferentes gráficas con el propósito de observar la tendencia entre los estimadores de la regresión y las variables señaladas. La prueba de la séptima hipótesis experimental consideró el porcentaje de disminución del valor de cuatro variables como consecuencia de pasar de la densidad de población más baja a la más alta, esto para cada genotipo en cada condición: riego y punta de riego para así comparar la magnitud de la reducción en los tres tipos de planta representados por los genotipos bajo estudio.

IV. - RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Primer Objetivo, Maximización del Rendimiento.

Tal como se mencionó en el capítulo de Materiales y Métodos, el primer objetivo se asoció con las dos primeras hipótesis experimentales; a continuación se presentan los resultados que permitirán validar cada una de ellas.

4.1.1. Primera hipótesis experimental, densidad de población óptima

Con base a la revisión de literatura se planteó la primera hipótesis:

Hay una densidad de población óptima para maximizar el rendimiento de grano para cada genotipo, tanto en riego como punta de riego.

En el Cuadro 3 se muestra la significancia estadística para la variable rendimiento de grano (ton/ha) y se observa que el efecto del factor humedad del suelo (riegos) resultó no significativo, lo que indica que no hubo diferencia estadística entre regar tres veces y dar solo un riego de presembrado, al menos durante el ciclo agrícola en el que se realizó el experimento. Esto pudo deberse a que las precipitaciones estuvieron relativamente bien distribuidas durante el ciclo. El total de estas fue de aproximadamente 240 mm (Gráfica 1). Lo que provocó que no se manifestaran diferencias significativas entre

Cuadro 3. Cuadrado Medio, significancia estadística. Coeficientes de Variación de seis variables. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Fuente de variación	GL (1)	Rend. por ha CM	Índice de P. de planta (cm ³ /1000) GL (2) CM	Rend. por planta (g) CM	N. semillas o/panícula CM	Peso de semillas (g) CM	Área foliar (cm ²) CM
Picajes	3	0.933 N.S	1 2061.43 N.S	4.93 N.S	31489.06 N.S	0.071 N.S	2416 N.S
Riegos	1	8.219 N.S	1 21023.07 N.S	1093.52 *	1396355.04 *	1.786 N.S	518624 N.S *
Error A	3	1.687	1 18426.73	41.57	131785.93	0.227	1381488
Densidades	3	3.907 *	3 76155.20 *	4890.28 *	9181798.30 *	2.278 *	3570357 *
Riegos X dens.	3	1.41 N.S	3 328.23 N.S	151.33 *	210593.04 *	0.028 N.S	9226.67 N.S
Error B	18	0.457	6 2890.00	8.94	19557.59	0.152	161952.00
Genotipos	2	15.464 *	2 76024.00 *	1221.02 *	1769546.30 *	89.377 *	1211072.00 *
Riegos X genot.	2	1.847 *	2 586.22 N.S	105.61 *	110336.95 N.S	0.053 N.S	4032.00 N.S
Dens X genot.	6	1.076 *	6 2500.08 N.S	84.83 *	150290.45 *	0.093 N.S	95557.34 N.S
R X dens X genot	6	0.759 N.S	6 391.50 N.S	15.47 N.S	10740.61 N.S	0.415 N.S	27264.00 N.S
Error C	48	0.395	16 2222.65	27.21	44761.51	0.205	102789.00
Total	95		47				
% C.V. (a)		44.62	67.20	24.63	29.27	9.10	67.89
% C.V. (b)		23.23	26.60	11.42	11.36	7.43	23.16
% C.V. (c)		21.52	23.40	13.92	17.06	8.65	18.45

$\alpha = 0.05$.

GL (1) = Rend. por planta, N. semillas/panícula v P. de semillas.

GL (2) = I. porte de planta v Área foliar.

tratamientos de humedad. Arnon, et al. (1965), citados por Blum (1970) mencionan que el cultivo de sorgo aún en condiciones desfavorables de humedad tiende a compensar su producción a través de sus componentes de rendimiento, aún y cuando se vea afectado drásticamente por las variaciones en la densidad de población.

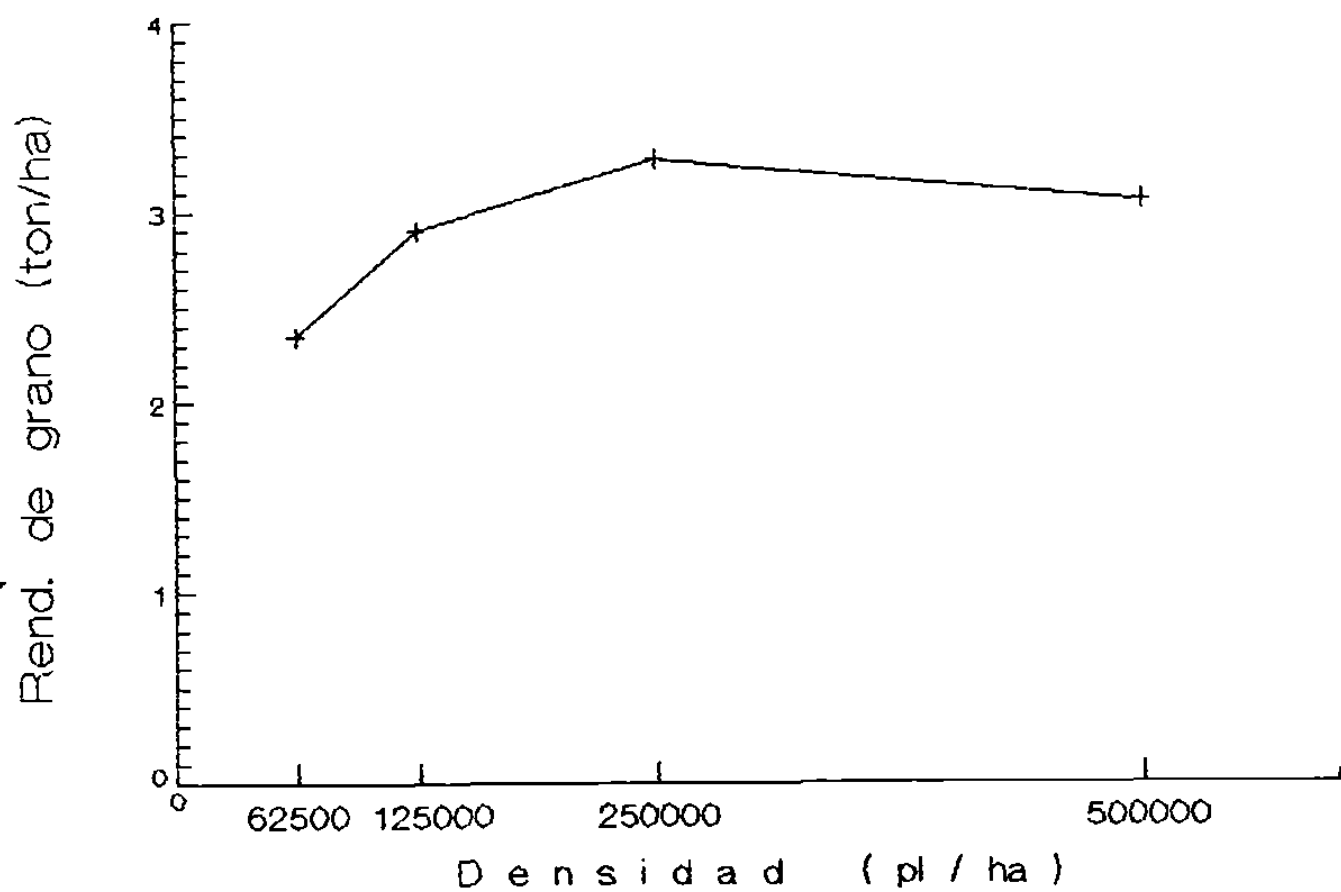
En cuanto al factor densidades, en el Cuadro 3 se observa, una diferencia significativa entre las densidades de población estudiadas. Así, en el Cuadro 4 al comparar las medias se puede observar que la densidad de 250,000 pl/ha fue la que obtuvo el mayor rendimiento con 3.29 ton/ha, siendo estadísticamente igual a las densidades de 500,000 y 125,000 pl/ha con 3.08 y 2.91 ton/ha, respectivamente; la densidad de 62,500 pl/ha fue la de menor rendimiento. En la Gráfica 2 puede apreciarse la relación que existe entre el rendimiento de grano por hectárea a través del incremento de las densidades. Se observa que el rendimiento aumenta en forma significativa de la densidad de 62,500 a 125,000 pl/ha después de esta densidad, tiende a decrecer aunque tal reducción no sea significativa. Esto coincide con los trabajos de Duncan (1958), Acevedo (1970) y Fischer y Wilson (1975) citados por Huda (1988) quienes encontraron que a medida que hay un incremento de la densidad de población, el rendimiento aumenta pero después de un máximo poblacional el rendimiento declina.

En el mismo Cuadro 3 se observa que la interacción del factor riego por densidad de población, fue no significativa. Esta no significancia pudo deberse a la precipitación antes

Cuadro 4. Comparación de medias del rendimiento de grano al 12% de humedad en (ton/ha) para el factor densidades Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Densidad de población pl/ha	Rend. de grano (Ton/ha)	Comparación 0.05
250,000	3.29	A
500,000	3.08	A
125,000	2.91	A
62,500	2.35	B

DMS = 0.410

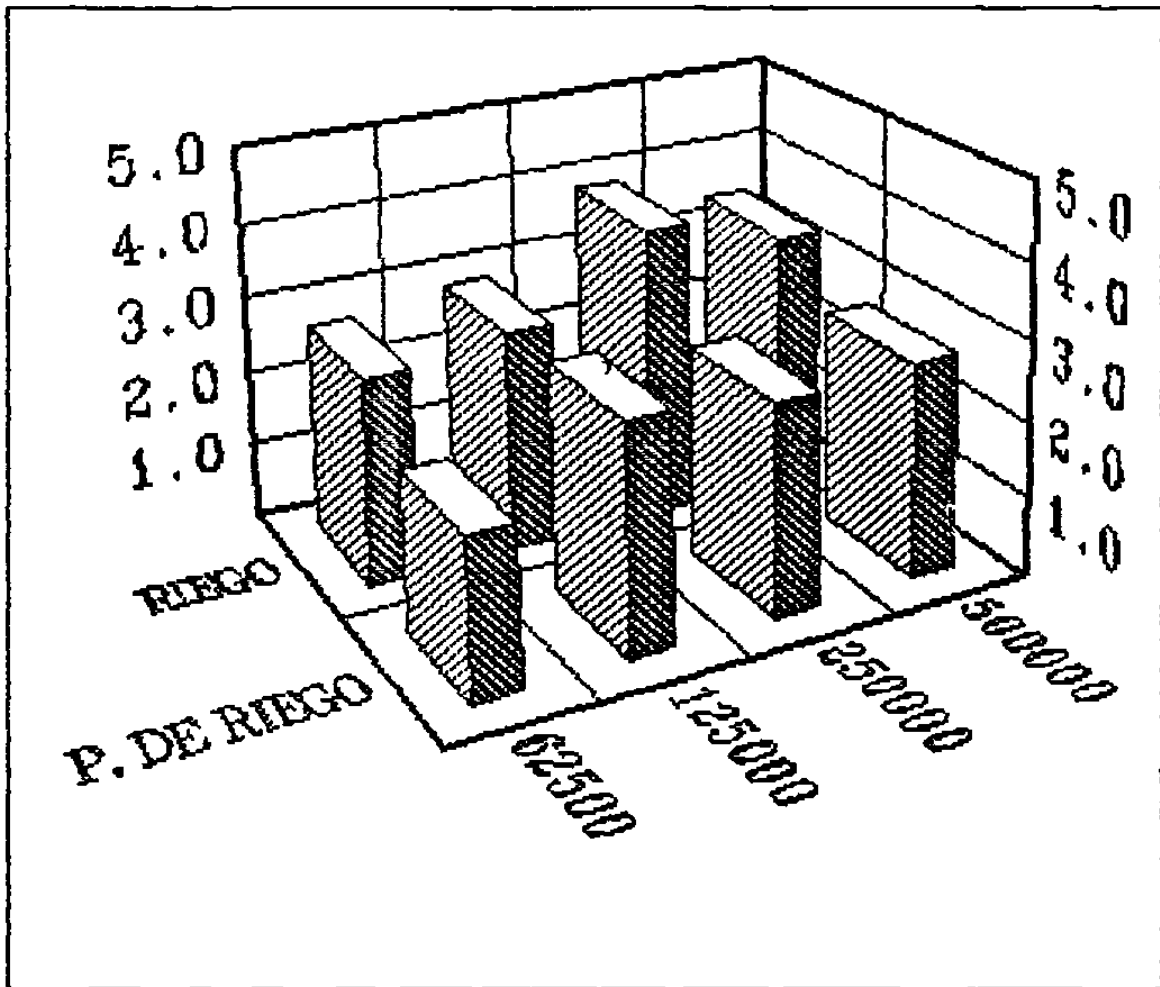


Gráfica 2. Comportamiento gráfico del rendimiento de grano (ton/ha) como respuesta al incrementar la densidad de población de plantas. Ciclo Verano 1989. Marín N. L.

mencionada, pero no obstante, en la Gráfica 3 se observa una tendencia en la cual el rendimiento de grano aumenta hasta la densidad de 250,000 pl/ha y luego decae en la condición de riego, pero en punta de riego se aprecia que el rendimiento de grano máximo se logró con la densidad de 125,000 pl/ha. Estos resultados coinciden con los de Wall y Ross (1970), que indican que si la siembra de sorgo se realiza bajo condiciones de humedad limitante en el suelo la densidad de siembra a utilizar fluctuaría entre las 37,000 y 125,000 pl/ha. Mientras que si la siembra se realiza bajo riego se puede llegar a densidades de 250,000 a 300,000 pl/ha.

Para el factor genotipos se detectó una diferencia significativa, como se puede observar en el Cuadro 3. En el Cuadro 5 se observa que el híbrido RB-3006 obtuvo el mayor rendimiento con 3.34 ton/ha, siendo estadísticamente igual a la línea SPV 351 con 3.29 ton/ha, mientras que la línea LES 42R fue la de menor rendimiento con 2.11 ton/ha. Con esto se puede deducir que no obstante que SPV 351 es una variedad no híbrida de adaptación tropical, tiene el mismo potencial de rendimiento que el híbrido 3006, superando ambos a LES 42R lo cual es una línea pura de tipo templado.

En el citado Cuadro 3 se observa que la interacción riego por genotipos resultó significativa. Al efectuar la comparación de medias (Cuadro 6) se encontró que la variedad SPV 351 obtuvo numéricamente el rendimiento más alto con 3.81 ton/ha en la condición de riego, siendo estadísticamente igual al híbrido



Gráfica 3. Comportamiento gráfico del rendimiento de grano (ton/ha) en la interacción riegos por densidades. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.

Cuadro 5. Comparación de medias del rendimiento de grano al 12% de humedad en (ton/ha) para el factor genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Genotipos	Rend. de grano (ton/ha)	Comparación 0.05
RB 3006	3.34	A
SPV 351	3.29	A
LES 42R	2.11	B

DMS = 0.316

Cuadro 6. Comparación de medias del rendimiento de grano al 12% de humedad en (ton/ha) en la interacción riegos por genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Riego			Punta de riego		
Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05	Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
SPV 351	3.81	A	RB 3006	3.02	A
RB 3006	3.65	A	SPV 351	2.77	A
LES 42R	2.15	B	LES 42R	2.06	B

DMS = 0.620

DMS = 0.620

RB-3006 con 3.65 ton/ha, esto se invierte al pasar a la condición de punta de riego aunque las medias son estadísticamente iguales. Por otro lado, la línea LES 42R fue la de menor rendimiento de grano en las dos condiciones de humedad.

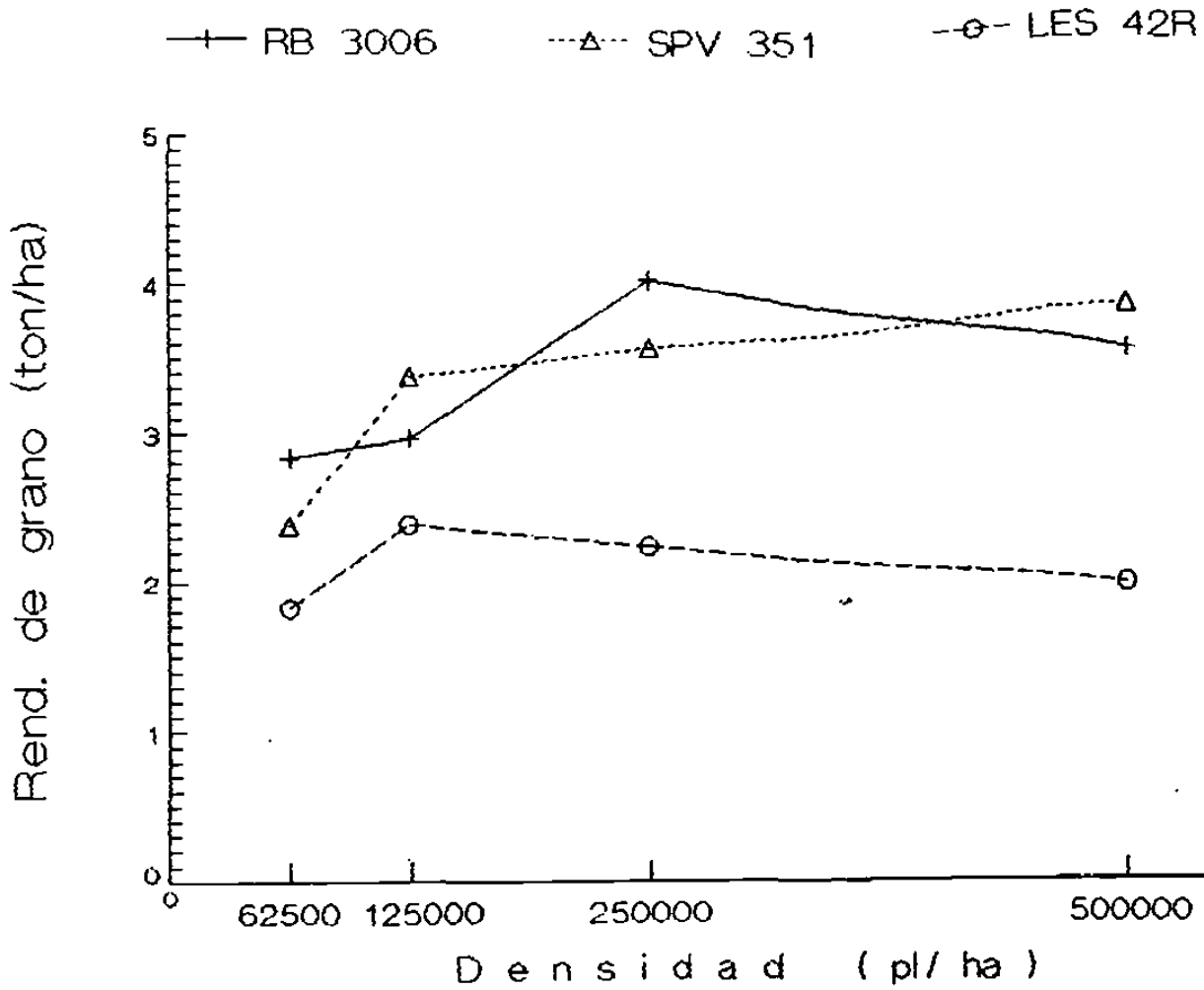
Con base en lo anterior y aunque no se encontró diferencia significativa se nota que los genotipos RB-3006 y SPV 351 tienden a responder de una manera diferente al factor riego, ya que SPV 351 tiende a mostrar potencial de rendimiento bajo riego mientras que RB 3006 tiende a rendir más en la condición de punta de riego, lo cual pudiera considerarse como que RB 3006 pudiera ser más tolerante a la reducción de la humedad.

Respecto a la interacción densidades por genotipos (Cuadro 3) se determinó que ésta fué significativa. En el Cuadro 7 se muestra la comparación de medias para esta interacción y se observa que el híbrido RB 3006 obtuvo el mayor rendimiento de grano con 4.04 ton/ha en la densidad de 250,000 pl/ha, seguido por la variedad SPV 351 con 3.80 en la densidad de 500,000 pl/ha. La línea LES 42R rindió mejor en la densidad de 125,000 pl/ha con 2.39 ton/ha. En general, se observa que el óptimo de rendimiento para SPV y RB se encuentra en densidades altas, donde son estadísticamente iguales, mientras que el óptimo para LES es a densidades más bajas.

En la Gráfica 4, se muestra la relación que hay entre el rendimiento de grano/ha (ton/ha) a través de los niveles de las densidades de población de plantas; en ésta se observa una

Cuadro 7. Comparación de medias del rendimiento de grano al 12% de humedad en (ton/ha) en la interacción densidades por genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Densidad de población 62,500 pl/ha			Densidad de población 125,000 pl/ha		
Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05	Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
RB 3006	2.84	A	SPV 351	3.38	A
SPV 351	2.38	AB	RB 3006	2.97	AB
LES 42R	1.38	B	LES 42R	2.39	B
DMS = 0.6335			DMS = 0.6335		
Densidad de población 250,000 pl/ha			Densidad de población 500,000 pl/ha		
Genotipos	\bar{X}	Comparación .05	Genotipos	\bar{X}	Comparación .05
RB 3006	4.04	A	SPV 351	3.80	A
SPV 351	3.58	A	RB 3006	3.50	A
LES 42R	2.25	B	LES 42R	1.96	B
DMS = 0.6335			DMS = 0.6335		

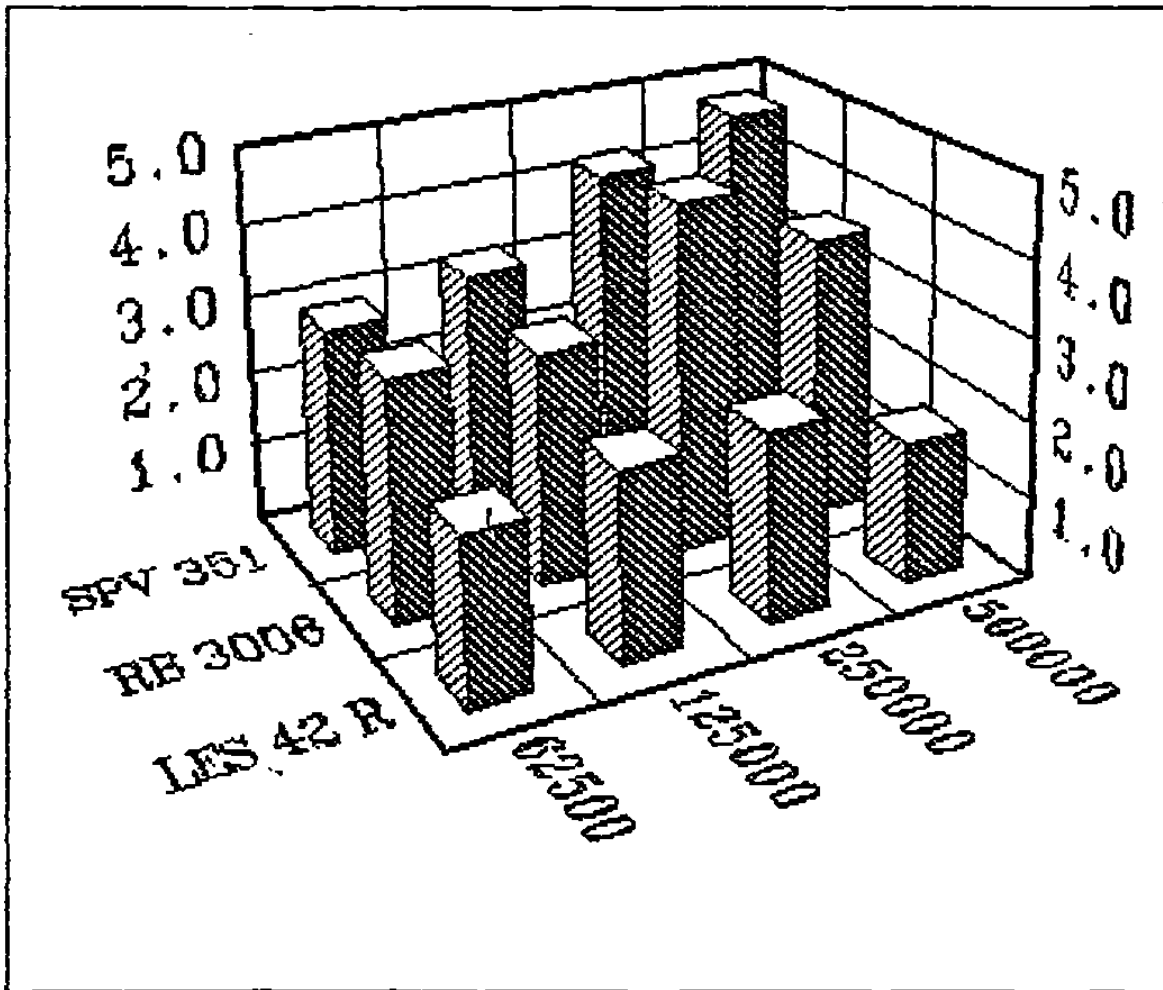


Gráfica 4. Comportamiento gráfico del rendimiento de grano (ton/ha) de tres genotipos en cuatro densidades de población de plantas. Ciclo Verano 1989. Marín N. L.

tendencia de aumento en el rendimiento de grano en cada uno de los genotipos conforme se incrementa la densidad de plantas. Sin embargo, se nota una diferencia entre los genotipos al responder de manera diferente como consecuencia de la competencia intrapoblacional; nótese que SPV-351 en ninguna densidad declinó su rendimiento de grano unitario, mientras que tanto RB 3006 como LES 42R redujeron su rendimiento al pasar respectivamente de 250,000 a 500,000 pl/ha y de 125,000 pl/ha en adelante.

Stickler y Younis (1966) concluyen que genotipos de altura baja rindieron más en la densidad alta, mientras que los de tipo alto se mostraron mejor en la densidad baja, contradictorio en lo observado en el presente estudio.

Respecto a la triple interacción de los factores riego por densidad por genotipos, se observa en el Cuadro 3 que ésta no fue significativa, debido probablemente a la alta precipitación ocurrida durante el experimento, lo que indica que se rechaza la primer hipótesis experimental la cual está asociada directamente a la prueba de significancia de la triple interacción. Sin embargo, aunque no se haya encontrado significancia en esta interacción se efectuó un análisis gráfico con el fin de apreciar la magnitud del cambio en el rendimiento de grano propiciado por el incremento en la densidad de población en los genotipos para la condición de riego y punta de riego. Se observa en la Gráfica 5, que el híbrido RB 3006 obtuvo su máximo rendimiento de grano con 4.89 ton/ha en la densidad de 250,000 plantas en la condición de riego reduciéndose a 3.65 ton/ha en la mayor densidad, la variedad SPV 351 logró la mayor

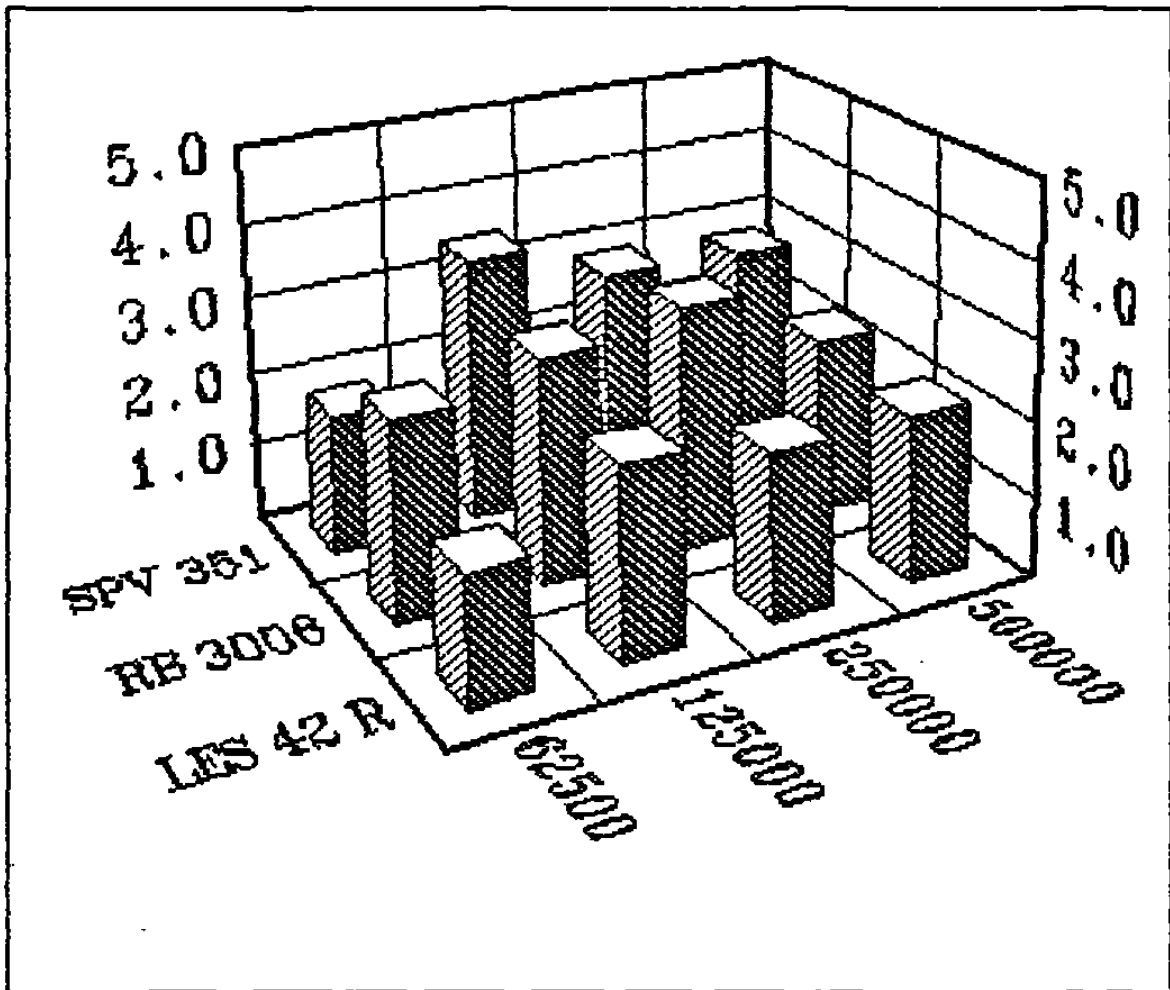


Gráfica 5. Comportamiento gráfico del rendimiento de grano (ton/ha) en la interacción riegos por densidades por genotipos bajo riego. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.

producción de grano con 4.76 ton/ha en la densidad de 500,000 pl/ha. y posiblemente esta variedad pueda incrementar su rendimiento de grano aún más al sembrarse a una mayor densidad que la máxima ensayada ya que no declinó su producción. La línea LES 42R mostró su máximo rendimiento con 2.39 ton/ha en la densidad de 250,000 pl/ha, mientras que su menor producción (1.78 ton/ha) la obtuvo en la densidad de 500,000 pl/ha.

En lo que respecta a la modalidad de punta de riego, en la Gráfica 6. Se observa que el mayor rendimiento lo logró SPV 351 con 3.48 ton/ha en la densidad de 125,000 pl/ha teniendo su menor producción con 1.82 ton/ha en la densidad de 62,500 pl/ha. El híbrido RB 3006 mostró su más alto rendimiento con 3.35 ton/ha en la densidad de 250,000 pl/ha, mientras que su menor producción de grano la obtuvo en la densidad de 500,000 pl/ha con 2.6 ton/ha. En lo que respecta a la línea LES 42R similarmente a la línea SPV 351 rindió su máximo a 125,000 pl/ha.

Con base en el análisis gráfico anterior, se puede comentar que no todos los genotipos tienden a maximizar el rendimiento bajo una densidad de población particular, ya sea bajo riego o punta de riego. Así RB 3006 tanto en riego como en punta de riego puede sembrarse a 250,000 pl/ha. No así SPV 351 la cual bajo riego tiende a rendir más en la densidad de 500,000 pl/ha pero tiene que bajarse la densidad a 125,000 bajo punta de riego, mientras que LES 42R a 250,000 pl/ha bajo riego rinde al máximo y bajo punta de riego debe reducirse la densidad de población a la mitad.



Gráfica 6. Comportamiento gráfico del rendimiento de grano (ton/ha) en la interacción densidades por genotipos bajo punta de riego. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

En el Cuadro 3 también se presentan los coeficientes de variación para los tres errores experimentales y se observa que para el error (a) se tuvo el valor mas alto con 44.62%, y que para los errores (b) y (c) el coeficiente de variación fue de 23.23 y 21.58%, respectivamente. Por tanto el no poder rechazar la hipótesis estadística asociada a la triple interacción es estadísticamente válido por lo que la primer hipótesis experimental se rechaza. Sin embargo, en el análisis gráfico se observa que la triple interacción está presente aunque no fue detectada estadísticamente por lo que esta hipótesis experimental pudiera ser válida. Quizá la no detección de la misma fue por la interferencia de las lluvias que impidieron la diferencia estadística entre riego y punta de riego.

4.1.1.1. Primera conclusión parcial.

Por lo anterior, la conclusión asociada con esta primer hipótesis experimental es:

"Existe la tendencia en cada genotipo de maximizar el rendimiento por área bajo una densidad de población particular ya sea bajo riego o punta de riego".

Para esto es necesario corroborar esta tendencia, bajo condiciones más estrictas de control de la humedad en experimentos futuros, en los cuales se pudieran incrementar las repeticiones y efectuar el muestreo en la longitud del surco en la cual se tenga exactamente la densidad de población preestablecida.

4.1.2. Segunda hipótesis experimental, porte de planta, rendimiento por área y densidad de población.

Para confirmar o rechazar la segunda hipótesis experimental enunciada como: Las plantas con menor índice de porte presentan mayor rendimiento de grano por área que las de mayor índice de porte en altas densidades de población. Se procedió a considerar el análisis de varianza para rendimiento de grano por área y el correspondiente, para un índice de porte que estima un volumen potencial al multiplicar el área foliar por la altura de planta.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos para la variable índice de porte, se encontró que únicamente entre densidades y genotipos se detectaron diferencias estadísticas significativas. En el Cuadro 8 se muestra la comparación de medias para el índice de porte en densidades y se puede observar que en la densidad de 62,500 pl/ha se obtuvo el mayor índice de porte pero fue estadísticamente igual al obtenido en 125,000 pl/ha; también se aprecia una disminución significativa en las densidades de 250,000 y 500,000 pl/ha, siendo estas dos últimas estadísticamente diferentes. En la Gráfica 7 se observa que el índice de porte va disminuyendo conforme se va incrementando la densidad de población. Esto se explica con el hecho de que tanto el área foliar (cm^2) como la altura (cm) disminuyen su valor por el efecto de la competencia entre las plantas. (Cuadro 23 y Cuadro 24).

En el Cuadro 9 se presenta la comparación de medias para genotipos y se observa que SPV 351 presentó el mayor índice de

CUADRO 8. Comparación de medias del índice de porte ($\text{cm}^3/1000$) para el factor densidades. Ciclo Verano 1989 Marín, N.L.

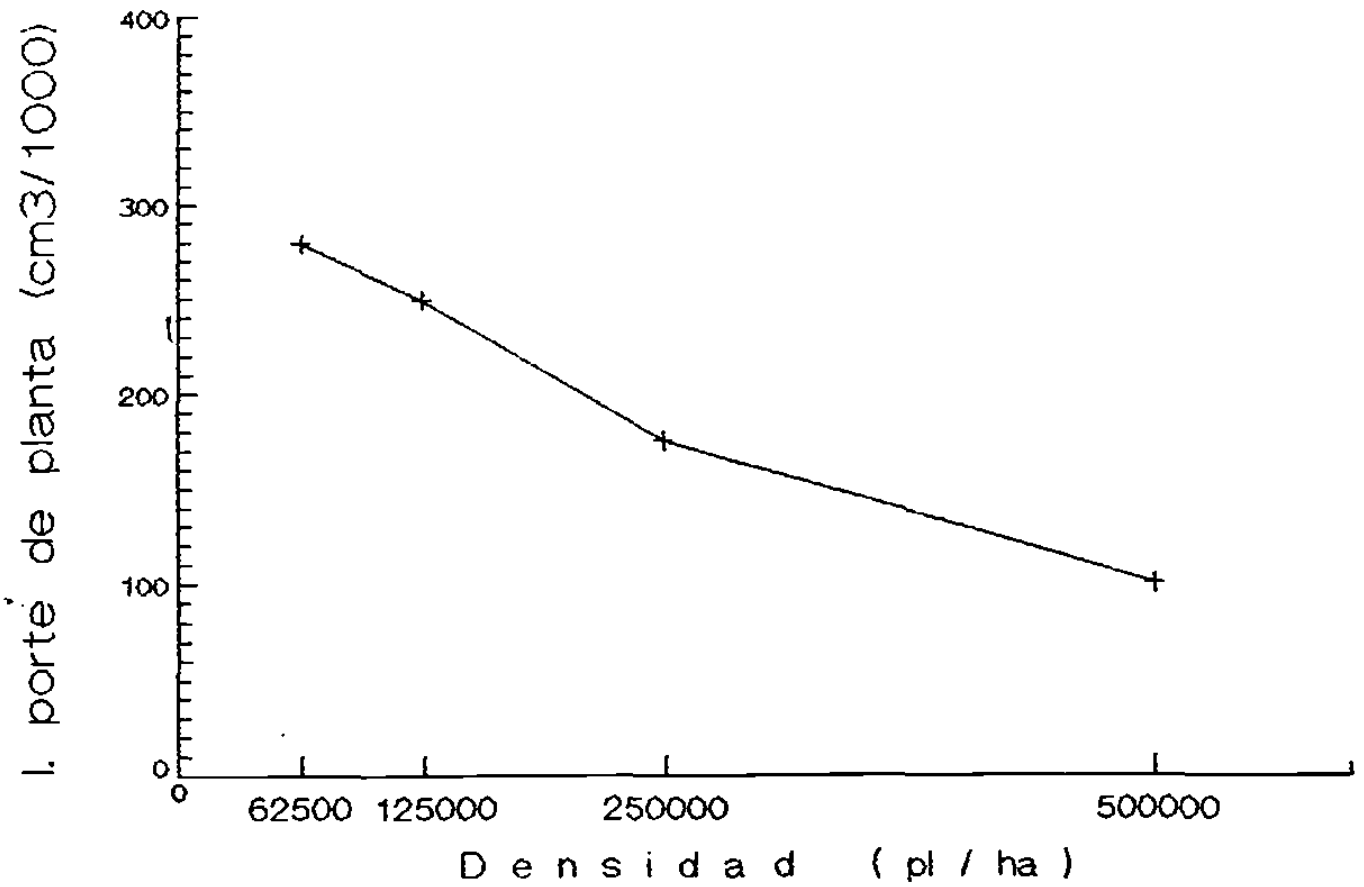
Densidades de población pl/ha	\bar{X} $\text{cm}^3/1000$	Comparación 0.05
62,500	279.28	A
125,000	249.95	A
250,000	176.60	B
500,000	101.39	C

DMS= 53.71

CUADRO 9.- Comparación de medias del índice de porte ($\text{cm}^3/1000$) para el factor genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Genotipos	\bar{X} $\text{cm}^3/1000$	Comparación 0.05
SPV 351	279.25	A
RB 3006	178.99	B
LES 42 R	147.17	B

DMS= 35.34



Gráfica 7. Efecto de la densidad de población de plantas en el índice de porte de planta. Ciclo Verano 1989. Marín N. L.

porte superando estadísticamente a RB 3006 y LES 42R, los cuales fueron estadísticamente iguales entre sí.

Para el caso de ésta segunda hipótesis experimental también se consideró el análisis de varianza de la variable rendimiento de grano (ton/ha) de la sección 4.1.1, del cual particularmente la interacción densidades por genotipos, fue significativa (Cuadro 3); al comparar las medias para esta interacción en el Cuadro 7 se estableció que la variedad SPV 351, que fue la de mayor porte, rindió su máximo en la densidad mayor de 500,000 pl/ha, mientras que el híbrido RB 3006 con porte intermedio, rindió su máximo en la densidad de 250,000 pl/ha y la línea LES 42R con el menor índice de porte tendió a rendir su máximo en la densidad de 125,000 pl/ha. Por lo anterior, considerando que la hipótesis inicial enunciada señala que las plantas con menor índice de porte presentarían mayor rendimiento de grano por área a altas densidades y en el presente estudio los resultados indican lo contrario, puede concluirse que la segunda hipótesis se rechaza. Estos resultados difieren a los encontrados por Stickler y Younis (1966) y Martínez (1988).

4.1.2.1. Segunda conclusión parcial.

Considerando que la segunda hipótesis se rechazó, pero otros autores coinciden con ella, se concluye que:

"No necesariamente las plantas con menor índice de porte presentan mayor rendimiento de grano por área que las de mayor índice de porte cuando ambas se siembran a densidades altas de

población".

4.1.3. Consideraciones sobre el primer objetivo.

Para maximizar el rendimiento por área bajo punta de riego y riego es necesario utilizar un genotipo y una densidad de población particular. Así, para riego bajo condiciones similares al presente estudio, el máximo rendimiento de grano por área se podría alcanzar con el híbrido RB 3006 a la densidad de 250,000 pl/ha y bajo punta de riego esto se lograría con SPV 351 a 125,000 pl/ha. No podrá maximizarse el rendimiento con estas densidades de población, tanto en riego como punta de riego si se utilizan genotipos con un índice de porte bajo como LES 42R.

4.2. Segundo Objetivo, Dinámica del Rendimiento.

Para explicar como el rendimiento por área varía en función del rendimiento por planta dependiendo del genotipo, de la densidad de población y la disponibilidad de agua, se consideraron de la tercera a la séptima hipótesis, los resultados se presentan y discuten para cada una de ellas.

4.2.1. Tercera hipótesis experimental, tolerancia genotípica a la competencia intrapoblacional.

La tercera hipótesis se planteó como sigue: Los genotipos probados difieren en su capacidad para tolerar la competencia intrapoblacional, siendo las plantas de menor índice de porte

las más tolerantes.

En el análisis de varianza para el rendimiento de grano individual (g/pl) que se presentó en el Cuadro 3 se observa que el coeficiente de variación para los errores fueron relativamente bajos lo que indica que el experimento fue aceptablemente conducido.

En el cuadro antes citado se nota, que el factor riego fue estadísticamente significativo, lo que indica diferencia entre los niveles de este factor. En el Cuadro 10 se observa que el nivel de riego obtuvo el rendimiento por planta más alto con 29.56 g, en tanto que el nivel punta de riego fue inferior estadísticamente con un rendimiento de 22.81 g/pl.

En el Cuadro 3 se observa que para densidades se detectó diferencia significativa y en el Cuadro 11 se puede observar que el rendimiento de grano por planta se redujo significativamente al aumentar la densidad de población, lo cual es más evidente en la Gráfica 8. Esta reducción es resultado de la competencia intrapoblacional y ha sido descrita por diversos autores como: Nava (1979) quien señaló que la densidad donde se obtiene el máximo desarrollo individual es ineficiente desde el punto de vista de la productividad poblacional, aunque permite maximizar el desarrollo individual y en muchos casos la calidad de la cosecha. Por otra parte, Martínez (1988) coincide en mencionar que el rendimiento individual varía significativamente debido a la interacción del espaciamiento entre plantas y genotipos. Así mismo, Valdés (1979) citado por Martínez (1988), menciona que

Cuadro 10. Comparación de medias del rendimiento de grano individual (g/pl) para el factor riegos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

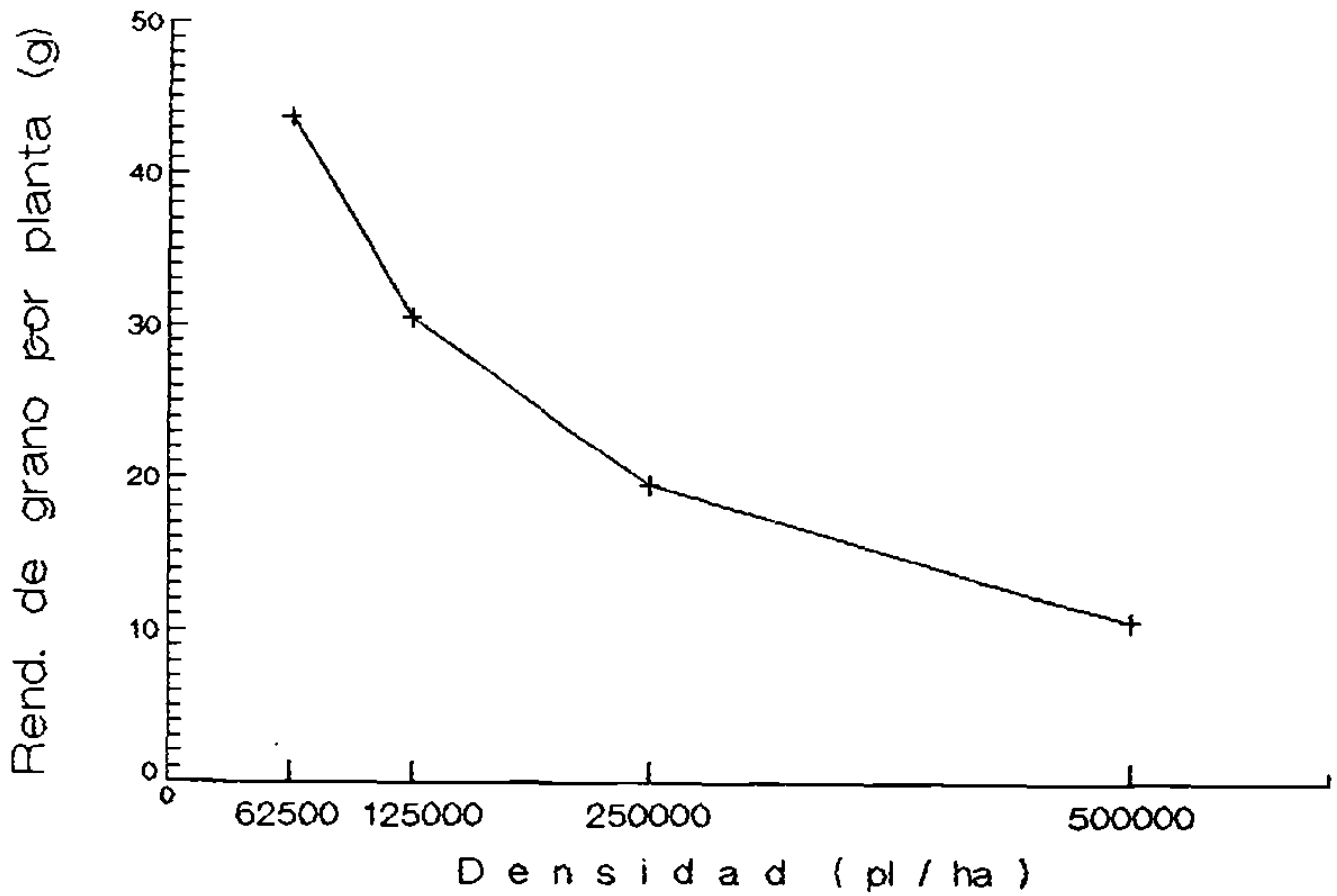
Riegos	\bar{X}	Comparación 0.05
Riego	29.56	A
Punta de riego	22.81	B

DMS = 4.12

Cuadro 11. Comparación de medias del rendimiento de grano individual (g/pl) para el factor densidades. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Densidad de población pl/ha	\bar{X}	Comparación 0.05
62,500	43.78	A
125,000	30.62	B
250,000	19.60	C
500,000	10.74	D

DMS = 1.81



Gráfica B. Comportamiento gráfico del rendimiento de grano por planta (g) en cuatro densidades de población de plantas. Ciclo Verano 1989. Marín N. L.

una densidad de población óptima, en términos de maximizar el rendimiento por unidad de superficie para un genotipo en particular, sería aquella en la cual el rendimiento por planta fuese el máximo posible bajo condiciones de competencia intrapoblacional.

En el Cuadro 3 se detectó significancia para la interacción riegos por densidades de población, por lo que se compararon las densidades dentro de cada nivel de humedad del suelo en el (Cuadro 12). Tanto en riego como en punta de riego, el rendimiento de grano por planta se reduce significativamente con cada incremento de la densidad de población; sin embargo, se aprecia que el rendimiento individual en cada densidad es menor bajo punta de riego que bajo riego y que la magnitud de la reducción no es la misma para cada caso.

En lo que respecta al factor genotipos en el Cuadro 3 se presentó la significancia estadística de acuerdo con el Cuadro 13 en donde se comparan las medias, el genotipo RB 3006 fue el que obtuvo el mayor rendimiento de grano por planta (30.93 g/pl) siendo estadísticamente igual a SPV 351 (28.41 g/pl), no ocurriendo lo mismo para la línea LES 42R que fue inferior (19.20 g/pl) estadísticamente a las otras dos.

Respecto a la interacción humedad del suelo por genotipos, ésta resultó significativa (Cuadro 3). Al realizar la comparación de medias (Cuadro 14) se observa que el híbrido RB 3006 presentó el mayor rendimiento de grano (g/pl) tanto en la condición de riego como en punta de riego, este híbrido fue

Cuadro 12. Comparación de medias y porcentaje de reducción del rendimiento de grano individual (g/pl) en la interacción riego por densidades. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Riego			Punta de riego		
Densidad de población (pl/ha)	\bar{X}	Comparación 0.05	Densidad de población (pl/ha)	\bar{X}	Comparación 0.05
62,500	50.67	A	62,500	36.89	A
125,000	33.71	B	125,000	27.32	B
250,000	22.12	C	250,000	17.06	C
500,000	11.72	D	500,000	9.76	D
DMS = 2.56			DMS = 2.56		
Densidad de población (pl/ha)	\bar{X}	Porcentaje Reducción	Densidad de población (pl/ha)	\bar{X}	Porcentaje Reducción
62,500	50.67		62,500	36.89	
125,000	33.71	33.47	125,000	27.32	26.00
250,000	22.12	22.88	250,000	17.06	27.80
500,000	11.72	20.52	500,000	9.76	19.83
DMS = 2.56			DMS = 2.56		

Cuadro 13. Comparación de medias del rendimiento de grano individual (g/pl) para el factor genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
RB 3006	30.93	A
SPV 351	28.41	A
LES 42R	19.20	B

DMS = 2.62

Cuadro 14. Comparación de medias del rendimiento de grano individual (g/pl) en la interacción riegos por genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Riego			Punta de riego		
Genotipo	\bar{X}	Comparación 0.05	Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
RB 3006	33.85	A	RB 3006	28.01	A
SPV 351	33.79	A	SPV 351	23.04	B
LES 42R	21.03	B	LES 42R	17.37	C

DMS = 3.71 DMS = 3.71

estadísticamente igual a la variedad SPV 351 pero superándola en punta de riego. LES 42R fue inferior a los otros dos genotipos en ambas condiciones de humedad.

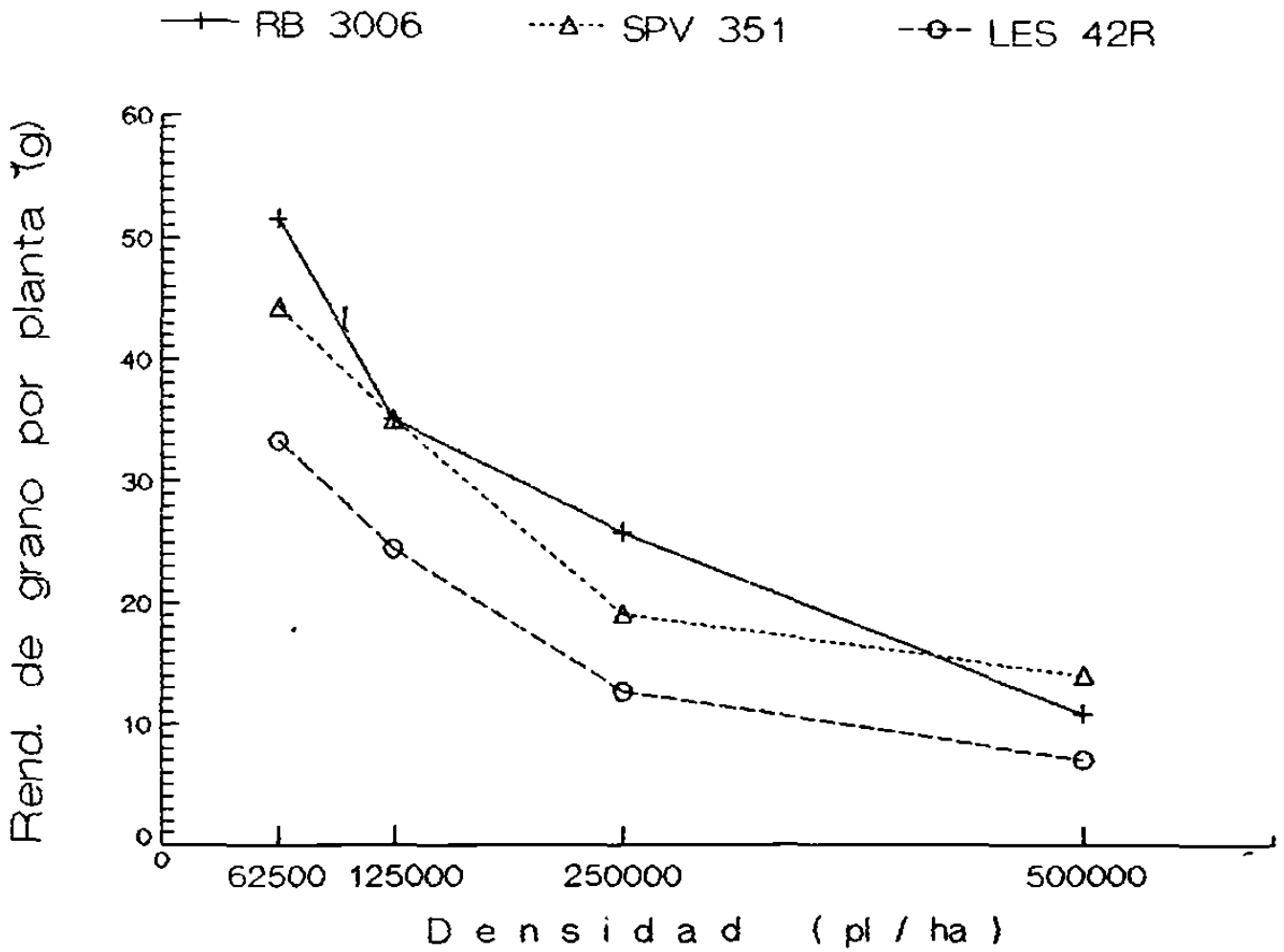
La interacción densidades por genotipos resultó significativa (Cuadro 3). Y la comparación de medias se presenta en el Cuadro 15. En ste cuadro se observa que los tres genotipos disminuyen el rendimiento por planta conforme se incrementa la densidad de población, LES 42R fue el genotipo de menor rendimiento por planta en todas las densidades; la densidad de 62,500 y 250,000 presentó diferencias significativas entre los tres genotipos, mientras que a 125,000 y 500,000 pl/ha, SPV 351 y RB 3006 fueron estadísticamente iguales, sin embargo, en esta última RB 3006 fue también estadísticamente igual a LES 42R.

En la Gráfica 9 se muestra lo anterior y se observa más claramente que los genotipos responden de manera diferente en cuanto a su rendimiento de grano por planta al incremento de la densidad de población. Adicionalmente se observa que la variedad de mayor porte, SPV 351, mostró una mayor tendencia a tolerar altas densidades dado que numéricamente rindió más que los otros dos genotipos a 500,000 pl/ha.

Con base en lo anterior, se puede resumir que existe una tendencia a disminuir el rendimiento de grano por planta conforme se incrementa la densidad de población como consecuencia de la competencia intrapoblacional. También se pudo observar que el rendimiento de grano por planta es menor en punta de riego que en riego y que el cambio en la proporción de

Cuadro 15. Comparación de medias del rendimiento de grano individual (g/pl) en la interacción densidades por genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Densidad de población 62,500 pl/ha			Densidad de población 125,000 pl/ha		
Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05	Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
RB 3006	51.63	A	SPV 351	35.16	A
SPV 351	44.35	B	RB 3006	35.14	A
LES 42R	35.36	C	LES 42R	21.55	B
DMS = 5.25			DMS = 5.25		
Densidad de población 250,000 pl/ha			Densidad de población 500,000 pl/ha		
Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05	Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
RB 3006	26.00	A	SPV 351	14.15	A
SPV 351	19.20	B	RB 3006	10.95	AB
LES 42R	12.77	C	LES 42R	7.12	B
DMS = 5.25			DMS = 5.25		



Gráfica 9. Dinámica del rendimiento individual de grano (g) en la interacción densidades por genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.

disminución no es igual para cada densidad de población, ya que ésta se nota más al pasar de 250,000 a 500,000 pl/ha en la condición de punta de riego que en riego. Estos resultados también indican que cada genotipo tiene un patrón diferente para dar su respuesta máxima a una densidad óptima y por consiguiente, no se puede generalizar una recomendación.

Con la finalidad de complementar el análisis para determinar si los genotipos con menor índice de porte son más tolerantes a la competencia intrapoblacional, se tomó como criterio los modelos de regresión simple a los que se ajustaron los rendimientos de grano por planta. Los modelos de regresión para cada genotipo se muestran en el Cuadro 16 y en la Gráfica 10 se presentan las rectas estimadas. Se observa que la línea LES 42R, con el menor índice de porte (147.17, Cuadro 9), mostró el coeficiente de regresión negativo más bajo con respecto a los otros dos genotipos. Esto indica una recta con una pendiente menos pronunciada y por ende una menor disminución del rendimiento de grano por planta al incrementar la densidad de población, la línea LES 42R podría considerarse como tolerante a la competencia intrapoblacional.

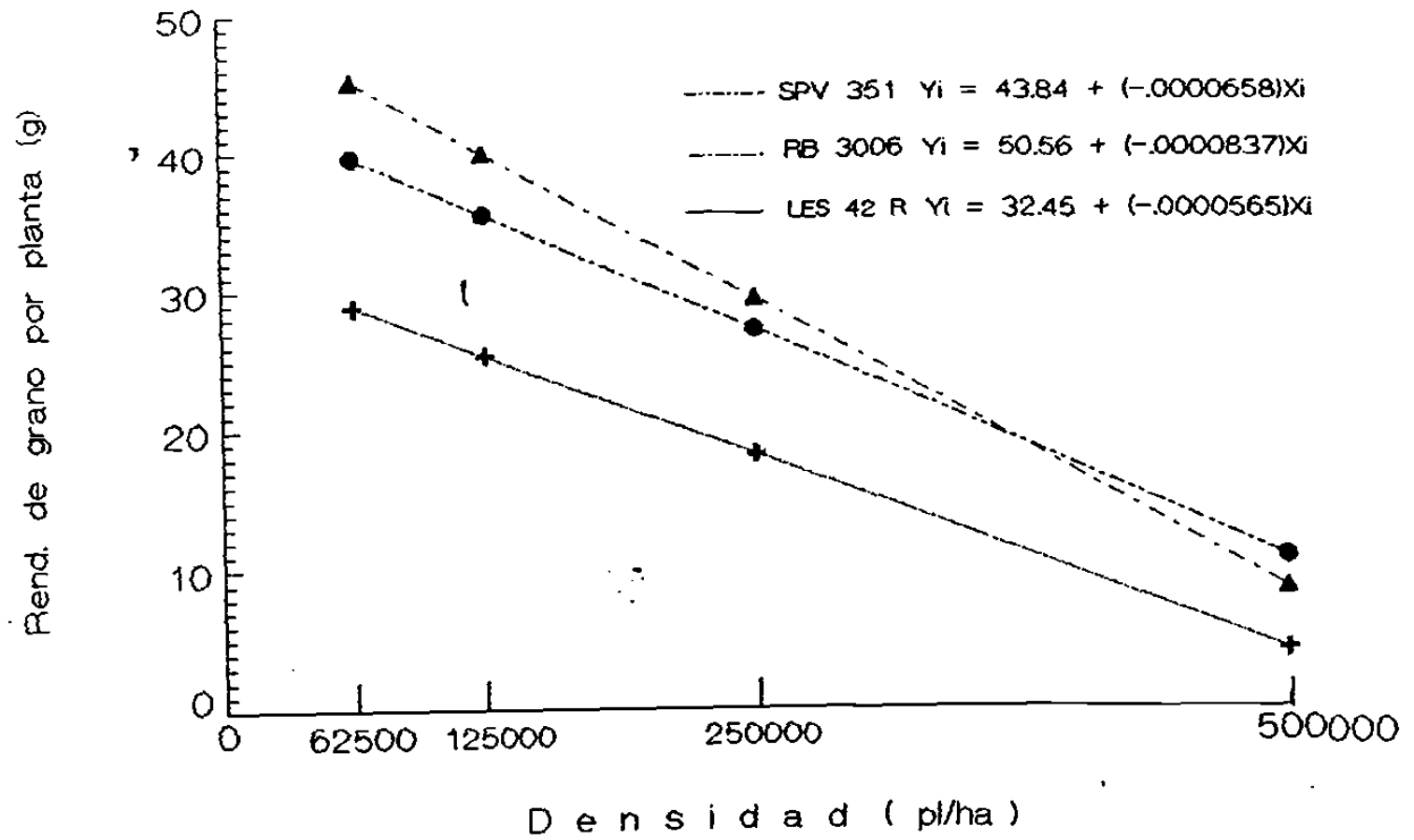
Con respecto a SPV 351 la cual mostró el mayor índice de porte (279.25, Cuadro 9), presentó un coeficiente de regresión con valor negativo mayor que el de LES 42R pero inferior al del híbrido RB 3006, teniendo un comportamiento casi paralelo de su recta respecto a la recta de LES 42R. En cuanto al híbrido RB 3006, con índice de porte intermedio (178.99, Cuadro 9), se obtuvo el coeficiente de regresión con valor negativo mayor y se

Cuadro 16. Modelos de regresión lineal simple de las rectas a que se ajustaron los rendimientos por planta (g) para los tres genotipos evaluados, Ciclo Verano 1989. Marín, N.l.

SPV 351	$\hat{Y}_1 = 43.84 + (-0.0000658)X_i$
RB 3006	$\hat{Y}_1 = 50.56 + (-0.0000837)X_i$
LES 42R	$\hat{Y}_1 = 32.45 + (-0.0000565)X_i$

X_i = Densidad de población. (62,500, 125,000, 250,000 y 500,000 pl/ha).

\hat{Y}_1 = Rendimiento de grano estimado por planta.



Gráfica 10. Comportamiento gráfico de las rectas de regresión a las que se ajustan los rendimientos de grano por planta (g) para los tres genotipos evaluados. Ciclo Verano 1989. Marín N. L.

observa que la pendiente de su recta es la más pronunciada. Esto indica una mayor disminución en el rendimiento de grano por planta al incrementar la densidad de población, pudiéndose considerar a este híbrido como el genotipo más sensible de los estudiados a la competencia intrapoblacional.

Tomando en cuenta estos resultados y la discusión anterior, se puede concluir que LES 42R de menor porte y SPV 351 de mayor porte pueden considerarse como los genotipos relativamente más tolerantes a la competencia intrapoblacional al presentar una tendencia muy similar en la disminución del rendimiento de grano por planta por la competencia intrapoblacional.

En términos del rendimiento individual real, el genotipo de menor porte, LES 42R, obtuvo los rendimientos más bajos por planta en las cuatro densidades; en tanto que la variedad SPV 351 obtuvo los más altos rendimientos individuales en la densidad de 125,000 y 500,000 pl/ha. En relación al híbrido RB 3006 de porte medio que resultó ser el más afectado por el efecto de la competencia intrapoblacional, su rendimiento individual fue mayor que el de los otros genotipos en la densidad de 62,500 y 250,000 pl/ha y estadísticamente igual a SPV 351 en la densidad de 125,000 pl/ha (Cuadro 15). Considerando el rendimiento individual estimado que se presenta en la Gráfica 10, puede observarse que LES 42R fue inferior a los otros dos genotipos en todas las densidades de población y que SPV 351 presentó la tendencia a tener un mayor rendimiento de grano en la densidad de 500,000 pl/ha respecto al híbrido RB 3006, no obstante que en la densidad de 62,500 pl/ha fue

superada por éste.

Relacionando numéricamente el rendimiento por planta con el rendimiento por área, el primero explica la tendencia de SPV 351 a rendir numéricamente mas por área que los otros genotipos a la densidad de 500,000 pl/ha (Cuadro 7, Gráfica 4 y Gráfica 5) dado que el rendimiento por área es el producto del rendimiento promedio por planta por la densidad de población. Por otro lado el rendimiento por planta de RB 3006 fue superior al de SPV 351 en la densidad mas baja de 62,500 pl/ha sin embargo, tendió a ser inferior a SPV 351 en 500,000 pl/ha; ésto se explica por la mayor sensibilidad a la competencia intrapoblacional de RB 3006 respecto a SPV 351.

Así, considerando lo planteado por Valdés (1979) citado por Martínez (1988) en el sentido de que un genotipo capaz de tener un alto rendimiento por área a densidades altas, es necesario que combine un alto rendimiento por planta en densidad baja con tolerancia a la competencia intrapoblacional, por ello SPV 351 es el genotipo que más se acercó a esta definición, pues aunque RB 3006 presenta alto rendimiento por planta en la densidad de población menor, y reduce drásticamente su rendimiento por planta al incrementar la densidad de población; en el caso de LES 42R, aunque tolera mejor la competencia intrapoblacional, su rendimiento por planta es bajo en la densidad menor.

Estos resultados indican que de los genotipos probados, el de menor porte mostró más tolerancia a la competencia intrapoblacional como ocurrió con LES 42R, aunque el genotipo de

mayor índice de porte (SPV 351) presentó tolerancia a la competencia intrapoblacional, si no igual al menos semejante, a LES 42R. Por otro lado, LES 42R con el menor índice de porte presentó el menor rendimiento por planta y por área en todas las densidades, siendo superada por los otros dos genotipos con mayor índice de porte solamente en la densidad más alta, por tanto, se comprueba que la tolerancia a alta competencia es independientemente del índice de porte de la planta, el cual podría determinar el potencial fotosintético del dosel a altas densidades y por tanto el rendimiento por área bajo esta condición, (Duncan et al., 1967 citados por Acevedo, 1970). Un genotipo que presente un alto rendimiento por área a densidades altas sería aquel que combine un alto rendimiento por planta en condiciones de baja competencia con una alta tolerancia a la competencia intrapoblacional, (Valdés, 1979 citado por Martínez, 1988).

Por todo lo anterior la tercer hipótesis experimental se rechaza dado que el enunciado de que las plantas de menor índice de porte son las más tolerantes a esta competencia es falso, no obstante en lo referente a que los genotipos probados difieren en su capacidad para tolerar la competencia intrapoblacional sea cierto.

4.2.1.1. Tercera conclusión parcial.

Con base en la discusión de los resultados asociados a la prueba de la tercera hipótesis experimental, se puede concluir que: "Los genotipos difieren en su tolerancia a la competencia

intrapoblacional y la misma no está asociada al menor índice de porte, pues genotipos con alto índice de porte pueden tener alta tolerancia a la competencia intrapoblacional; así mismo, el rendimiento por área a densidades altas está más determinado por el rendimiento por planta en la densidad más baja que por el índice de porte".

4.2.2. Cuarta hipótesis experimental, Componentes del rendimiento por planta, porte y competencia.

De acuerdo con Miller y Kebede (1981) el mayor rendimiento de grano de los híbridos nuevos respecto a los viejos se explica por el mayor número de semillas por panícula y no por un mayor peso de semilla; por tanto, considerando lo anterior se espera que el primer componente se reduzca más que el segundo como consecuencia de incrementar la densidad de población y por tanto la competencia intrapoblacional.

Por otro lado, Stickler y Younis (1966) y Blum (1970) coinciden en señalar que los genotipos de sorgo de menor altura mostraron mayor rendimiento en la producción de grano en la densidad más alta, mientras que el genotipo de mayor altura respondió mejor en la densidad más baja; consecuentemente se espera que la reducción en el número de semilla por panícula, sea mucho menor en las plantas de menor porte que en las de mayor porte, como resultado del incremento en la densidad de población. Estas consideraciones conjuntamente con otras hechas en la revisión de literatura permitió enunciar la cuarta hipótesis.

De los componentes del rendimiento por planta, el número de semillas por panícula se reduce más que el peso de las semillas al incrementar la densidad de población y tal reducción es menor en las plantas de menor porte.

Con el propósito de probar esta cuarta hipótesis se eligieron las variables número de semillas por panícula (N.S.P.) y el peso de 250 semillas (P.S.)

En el Cuadro 3 se presenta la significancia estadística de estas dos variables. En este se observa que para N.S.P. se detectó significancia para todas las fuentes de variación excepto en dos, la interacción riegos por genotipos y la triple interacción riegos por densidades por genotipos. Para P.S. sólo se detectó significancia para densidades y genotipos. Así, dado que N.S.P. resultó ser significativo en cinco de siete fuentes de variación, mientras que para P.S. solo en dos de siete lo fueron, se puede considerar un indicio de que N.S.P. puede ser diferente entre genotipos y variar más por causas ambientales que el P.S.

En lo que respecta a los coeficientes de variación para N.S.P. y P.S., la mayoría resultaron menor del 10% , siendo considerados como aceptables en los experimentos agronómicos que consideran esta variable, excepto el C.V. (A) para la variable N.S.P. que mostró un valor de 29.27 % el cual es alto. Esto posiblemente se haya debido a la sensibilidad que tiene esta variable, tanto a los cambios de humedad del suelo como a la densidad de población (Cuadro 3). En el Cuadro 17 se presenta la

Cuadro 17. Comparación de medias del número de semillas por panícula para el factor riegos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Riegos	\bar{X}	Comparación 0.05
Riego	1361	A
Punta de riego	1119	B

DMS = 231.79

comparación de medias para la variable N.S.P. entre riego y punta de riego, observándose que estadísticamente bajo la condición de riego se produjeron 242 semillas mas que bajo punta de riego.

En el Cuadro 18 se presenta la comparación de medias entre densidades para N.S.P. observándose que al igual que con el rendimiento por planta (Cuadro 11) se presentó una disminución estadísticamente significativa entre las densidades conforme éstas se incrementaron.

En el Cuadro 19 se presenta la comparación de medias de la variable P.S. en el factor densidades de población; se puede observar que en la densidad de 62,500 pl/ha se obtuvo el mayor P.S. con 5.65 g, mientras que en la densidad de 500,000 pl/ha, se obtuvo el menor con 4.99 g siendo estadísticamente igual a la densidad de población de 250,000 pl/ha. Este gradiente de reducción en el peso de la semilla es similar al de la reducción del N.S.P. de la densidad de población baja a las densidades intermedias pero no en la densidad alta; por tanto estos dos componentes podrían explicar conjuntamente la reducción del rendimiento por planta en estas densidades, pero no en la densidad mayor en la cual tal disminución se explicaría solo por el N.S.P. Estos resultados coinciden con los de Blum (1967) y Subramanian y Rao (1988), sin embargo difieren con Martínez (1988) quien señala que el peso de grano no cambia al variar la densidad de población.

En las Gráfica 11 y Gráfica 12 se presenta el porcentaje de

Cuadro 18. Comparación de medias del número de semillas por panícula para el factor densidades. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

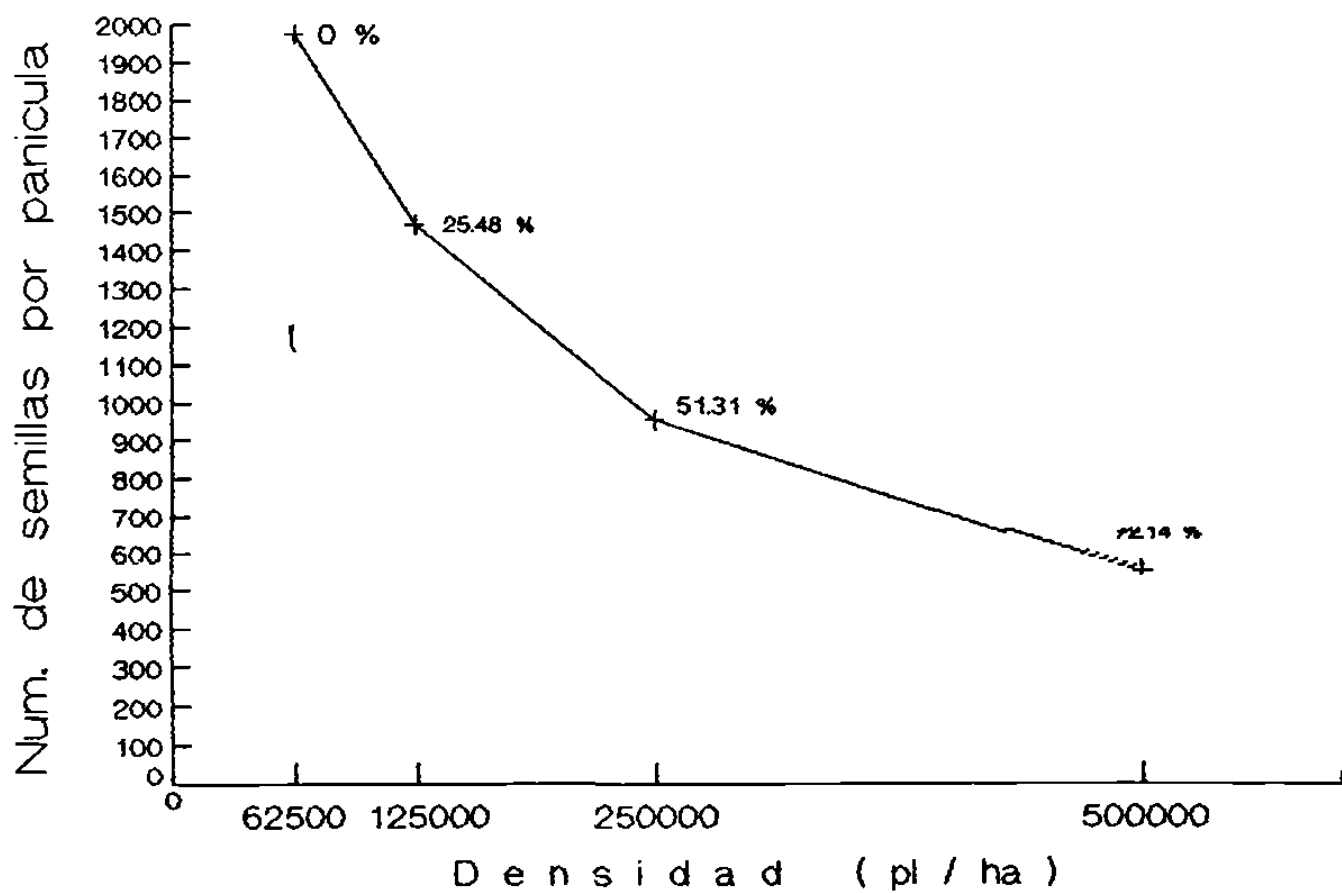
Densidad de población pl/ha	\bar{X}	Comparación 0.05
62,500	1975.6	A
125,000	1472.2	B
250,000	961.9	C
500,000	550.5	D

DMS = 85.46

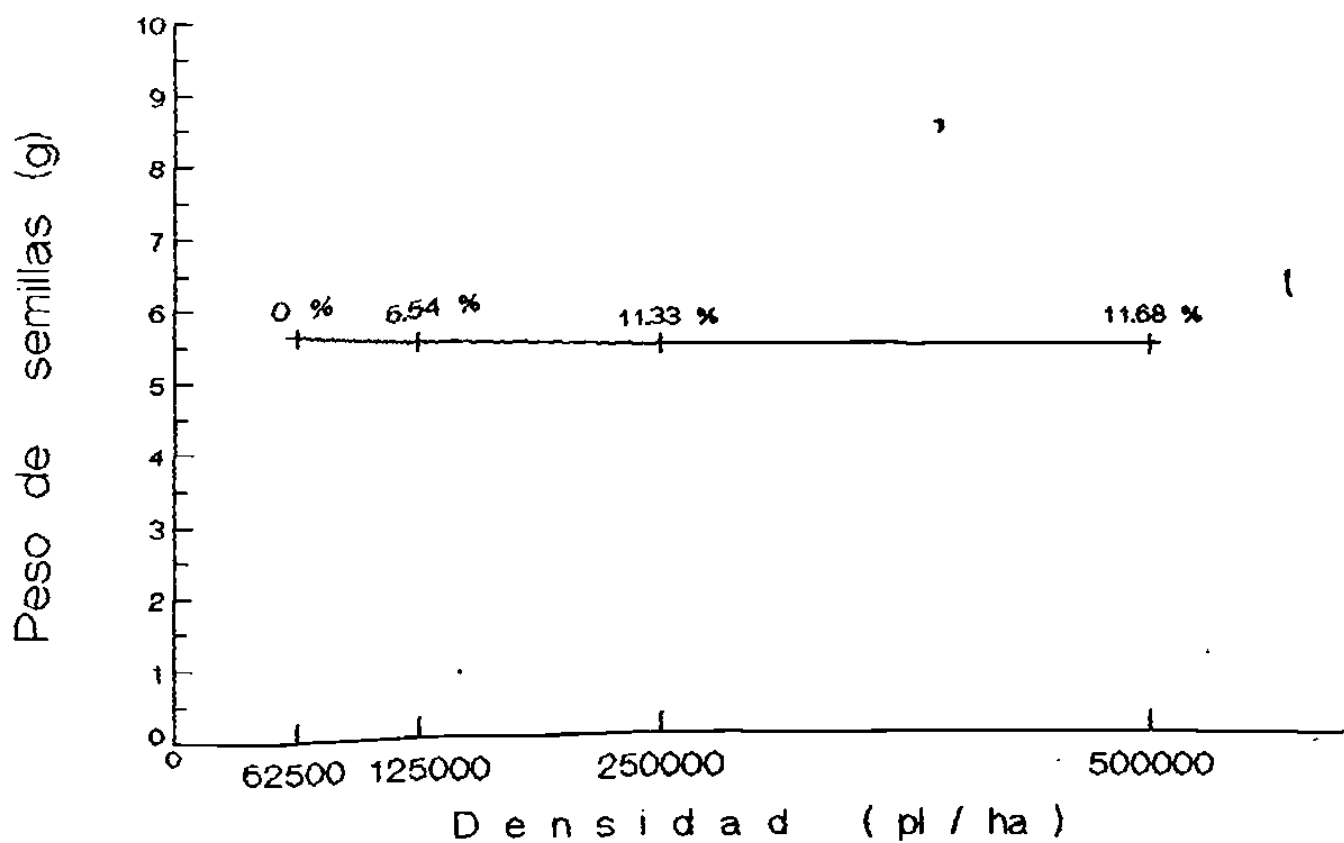
Cuadro 19. Comparación de medias del peso de semillas (g) para el factor densidades. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Densidad de población pl/ha	\bar{X}	Comparación 0.05
62,500	5.65	A
125,000	5.28	B
250,000	5.01	C
500,000	4.99	C

DMS = .2365



Gráfica 11. Efecto de la densidad de población de plantas en el número de semillas por panícula. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.



Gráfica 12. Efecto de la densidad de población de plantas en el peso de semillas (g). Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.

disminución del N.S.P. y del P.S., respectivamente. Al comparar las dos gráficas, se observa que a la mayor densidad se da una disminución del 72.14% en el componente N.S.P., mientras que el P.S. fue sólo de un 11.68%. Estos resultados concuerdan con los de Stickler y Wearden (1965) quienes encontraron que el número de semillas por panícula y el peso de grano es afectado por la variación de la densidad de población, siendo el peso de grano el menos afectado por el incremento de este factor.

En el Cuadro 20 se muestra la comparación de medias de la interacción del factor riegos por las densidades de población para la variable N.S.P., se observa tanto en riego como en punta de riego la misma tendencia presente en el Cuadro 18, donde esta variable; se redujo significativamente con cada incremento en la densidad de población. Dado que para el PS (Cuadro 3) la interacción riegos por densidades no fue significativa puede considerarse que el N.S.P. es más sensible que P.S. la competencia intrapoblacional, tanto en riego como en punta de riego.

En el Cuadro 21 se presentan las comparaciones de medias entre genotipos para las variables N.S.P. y P.S. Se observa que los genotipos fueron significativamente diferentes para los dos componentes del rendimiento de grano por planta. Por una parte, SPV 351 obtuvo el mayor N.S.P. seguida de LES 42R, mientras que el híbrido RB 3006 presentó el más bajo N.S.P.; en cuanto al P.S. el híbrido RB 3006 fue el de mayor, seguido de SPV 351 y LES 42R. Lo anterior indica que el rendimiento de SPV 351 y LES 42R estaría determinado primeramente por el N.S.P. y después por

Cuadro 20. Comparación de medias del número de semillas por panícula en la interacción riegos por densidades. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Riego			Punta de Riego		
Dens. pob. pl/ha	\bar{X}	Comparación 0.05	Dens. pob. pl/ha	\bar{X}	Comparación 0.05
62,500	2230	A	62,500	1722	A
125,000	1564	B	125,000	1380	B
250,000	1064	C	250,000	860	C
500,000	586	D	500,000	516	D

DMS = 120.87

Cuadro 21. Comparación de medias del número de semillas por panícula y peso de semillas para el factor genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Genotipos	\bar{X} NSP	Comparación 0.05	\bar{X} PS	Comparación 0.05
SPV 351	1498.8	A	4.65	B
LES 42R	1181.9	B	3.94	C
RB 3006	1039.4	C	7.12	A

DMS = 106.46

el P.S., mientras que en RB 3006 sucede lo contrario. Estas diferencias en componentes del rendimiento entre los genotipos estudiados coinciden con Miller y Kebede (1981) en el sentido de que el N.S.P. es un componente que determina el alto potencial de rendimiento como ocurre con SPV 351 y RB 3006; sin embargo, difieren en el sentido de que el P.S. no fué determinante de la diferencia del rendimiento como entre lo encontrado entre los híbridos nuevos y viejos por ellos estudiados; en el caso del presente estudio el P.S. fue más importante que el N.S.P. para determinar el rendimiento por área en el híbrido RB 3006.

En el caso de LES 42R su rendimiento está determinado más por el N.S.P., el cual fue superior al de RB 3006 aunque su P.S. fue el más bajo. La mayor sensibilidad del N.S.P. a la competencia intrapoblacional y nivel de humedad del suelo respecto al P.S., (Cuadro 17, Cuadro 18, Gráfica 11 Gráfica 12), indican que para la proposición de Subramanian y Rao (1988) de formar genotipos de alto rendimiento a bajas densidades bajo temporal, se tendría que definir específicamente la densidad de población y el nivel de humedad del suelo asociado al tipo temporal bajo las cuales se tendría que efectuar la selección para formar los genotipos que balancearon el N.S.P. y el P.S. para maximizar el rendimiento.

En relación a la interacción densidades por genotipos la comparación de medias se presenta en el Cuadro 22. Se observa que los tres genotipos disminuyen el N.S.P. conforme se incrementa la densidad de población y que el híbrido RB 3006 fue el que menor N.S.P. obtuvo en todas las densidades excepto en la

Cuadro 22. Comparación de medias del número de semillas por panícula en la interacción densidades por genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

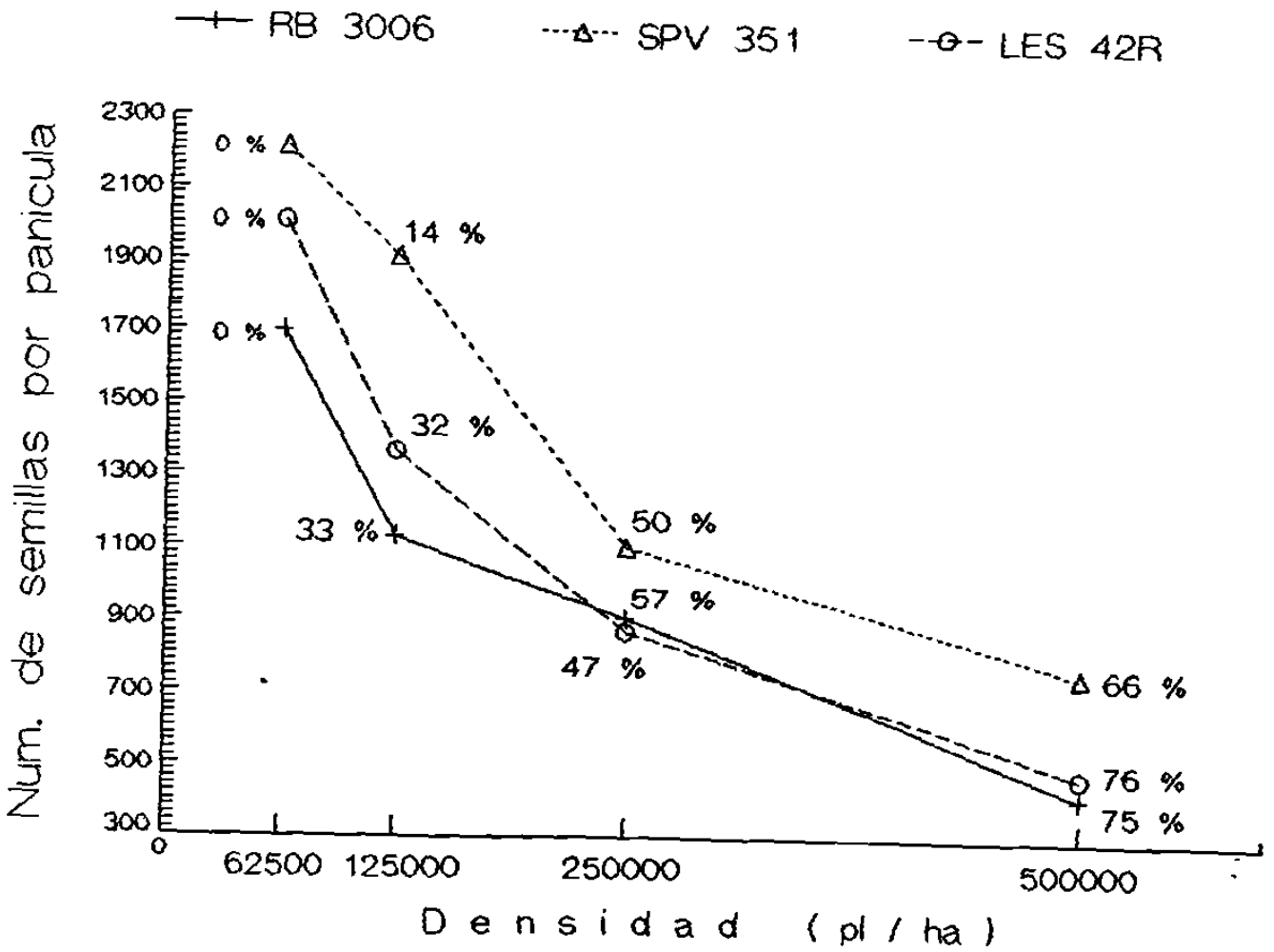
Densidad de población 62,500 pl/ha			Densidad de población 125,000 pl/ha		
Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05	Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
SPV 351	2217	A	SPV 351	1915	A
LES 42R	2011	A	LES 42R	1369	B
RB 3006	1698	B	RB 3006	1133	C
DMS = 212.91			DMS = 212.91		
Densidad de población 250,000 pl/ha			Densidad de población 500,000 pl/ha		
Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05	Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
SPV 351	1109	A	SPV 351	754	A
RB 3006	907	A B	LES 42R	478	B
LES 42R	869	B	RB 3006	419	B
DMS = 212.91			DMS = 212.91		

densidad de 250,000 pl/ha. También se puede ver que numéricamente SPV 351 se mantuvo arriba de los otros dos genotipos en las cuatro densidades de población, aunque estadísticamente igual a LES 42R y RB 3006 en la densidad de 62,500 y 250,000 pl/ha, respectivamente. Esto explica tanto la tolerancia a la competencia intrapoblacional y el alto rendimiento de grano por planta para definir el alto rendimiento por área que tiene la variedad SPV 351.

En la Gráfica 13 se presenta el comportamiento gráfico de lo anterior. Se observa que en general los tres genotipos manifiestan una tendencia significativa de disminuir el N.S.P. a medida que se aumenta la densidad de población. Sin embargo, también se aprecia que SPV 351 fue la que menos redujo su N.S.P. al pasar de la densidad de 62,500 a 500,000 pl/ha. Esto explica la tendencia numérica observada en la Gráfica 9 y Gráfica 10 donde SPV 351 presentó un mayor rendimiento que los otros genotipos en la densidad de 500,000 pl/ha.

Con base en lo anterior se resume que:

- a) El aumentar la densidad de población y por tanto aumentar la competencia intrapoblacional, se ocasiona una disminución tanto en el N.S.P. como en el P.S. El N.S.P. presentó una mayor sensibilidad a la competencia intrapoblacional, ya que su porcentaje de reducción fue mayor que el segundo, al pasar de la densidad de 62,500 a 500,000 pl/ha Cuadro 18 y Cuadro 19; Figura 11 y Figura 12. Los resultados señalados anteriormente coinciden con lo



Gráfica 13. Reducción del número de semillas por panícula que se da por efecto de la interacción de densidades por genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.

discutido por Stickler y Wearden (1965) y parcialmente coincide con los resultados de Martínez (1988) al señalar este último que el P.S. no cambia al variar la densidad de población sin embargo en el presente trabajo el P.S. no permaneció estático y aunque disminuyó por efecto del incremento en la densidad de población su reducción fue menor que el N.S.P.

b), Debido al incremento en la densidad de población, los tres genotipos contrastantes en su índice de porte de planta (Cuadro 8), presentaron una disminución en el N.S.P. (Cuadro 22); sin embargo, en la Gráfica 13 se observa que el porcentaje de esta disminución fue mayor en el genotipo LES 42R que presentó el menor índice de porte de planta (Cuadro 8) siendo este porcentaje de disminución muy similar al de RB 3006; en tanto que el genotipo de mayor índice de porte, SPV 351, se comportó como la más tolerante a la competencia intrapoblacional en relación al N.S.P., lo que explica la tendencia a un mayor rendimiento de grano por planta y por área de SPV 351 en la densidad de 500,000 pl/ha.

De acuerdo con estos resultados la hipótesis experimental bajo prueba se rechaza dado que fue comprobado su primer enunciado referente a que el N.S.P. se reduce más que el P.S. al aumentar la densidad de población, mientras que en el segundo enunciado que indica que tal reducción es menor en los genotipos de menor porte no fue demostrado, ya que ocurrió lo contrario.

4.2.2.1. Cuarta conclusión parcial.

Considerando la discusión anterior la hipótesis planteada debe ser modificada para enunciar la siguiente conclusión.

"El N.S.P. se reduce más que el P.S. por efecto de la competencia intrapoblacional, tal reducción no necesariamente está relacionada con el porte de planta".

4.2.3. Quinta hipótesis experimental, área foliar por planta, porte de planta y competencia.

Para cumplir con el segundo objetivo del presente trabajo la quinta hipótesis fué enunciada como:

Al incrementar la densidad de población el área foliar por planta se reduce más en las plantas de mayor porte que en las de menor porte.

Para aceptar, rechazar o modificar esta hipótesis se procedió de acuerdo con la metodología preestablecida, encontrándose los siguientes resultados. Respecto al análisis estadístico para el área foliar por planta, se observa en el Cuadro 3 que la mayoría de las fuentes de variación no fueron significativas, excepto para densidades y genotipos. No obstante lo anterior, dado que para el área foliar por planta no fue significativa la interacción densidades por genotipos, la cual fue asociada directamente a esta quinta hipótesis, ésta se rechaza.

En el Cuadro 23 se presenta la comparación de medias para densidades y se observa que a partir de 125,000 pl/ha, hay una disminución significativa del área foliar conforme se incrementa la densidad de población, lo anterior coincide con Martínez (1988) quien señaló que el área foliar aumenta al incrementar el espaciamiento entre plantas, esto es al disminuir la densidad de población y por tanto la competencia intrapoblacional.

En lo que respecta a la comparación de medias entre genotipos que se muestra en el Cuadro 24, se observa que SPV 351 fue la que obtuvo la mayor área foliar, mientras que los genotipos RB 3006 y LES 42R fueron estadísticamente iguales; se hizo un análisis gráfico con la finalidad de observar el comportamiento del área foliar en los diferentes genotipos al aumentar la densidad de población, (Gráfica 14) en esta se observa que entre 62,500 y 125,000 pl/ha la reducción o es igual para SPV 351 y RB 3006 e incluso LES 42R presentó un incremento en el área foliar por planta. A partir de los 125,000 pl/ha se observa una reducción mas o menos paralela en esta variable, para los tres genotipos.

La conclusión de rechazar la hipótesis planteada considerando la no significancia de la interacción densidades por genotipos es reafirmada con este análisis gráfico.

4.2.3.1. Quinta conclusión parcial

Considerando los resultados anteriores, su discusión y el único antecedente bibliográfico disponible, se puede concluir

Cuadro 23. Comparación de medias del área foliar (cm^2) para el factor densidades. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

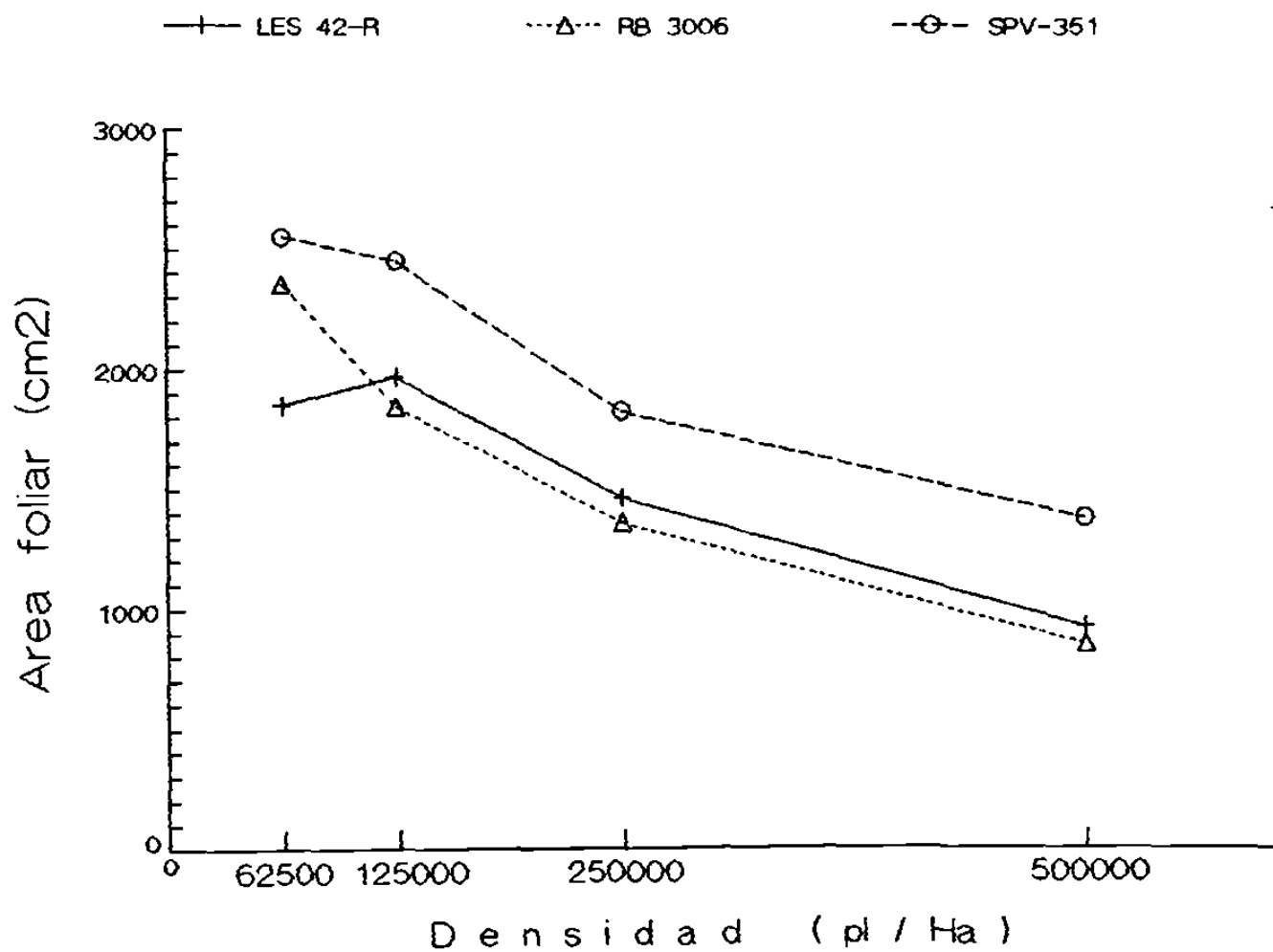
Densidad de población pl/ha	\bar{X}	Comparación 0.05
62,500	2253.62	A
125,000	2090.43	A
250,000	1552.09	B
500,000	1053.93	C

DMS = 492.38

Cuadro 24. Comparación de medias del área foliar (cm^2) para el factor genotipos. Ciclo Verano 1989. Marín, N.L.

Genotipos	\bar{X}	Comparación 0.05
SPV 351	2053.87	A
RB 3006	1604.46	B
LES 42R	1554.21	B

DMS = 240.31



Gráfica 14. Efecto de la densidad de población de plantas en el área foliar (cm²) en los tres genotipos evaluados. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.

que:

Al incrementar la densidad de población, el patrón de reducción en el área foliar no es diferente entre genotipos que difieren en el índice de porte.

4.2.4. Sexta hipótesis experimental, parámetros de regresión, componentes del rendimiento por planta e índice de porte.

La sexta hipótesis planteada en esta investigación fue:

De los parámetros de la recta de los modelos de regresión simple para genotipos que miden la disminución del rendimiento por planta por efecto de la competencia intrapoblacional, el rendimiento por planta estimado (\hat{Y}) a la densidad más baja se asocia a los componentes del rendimiento peso de semilla número de semillas por panícula y la pendiente (b) a la altura de planta y al área foliar.

Cabe recordar que \hat{Y} a la densidad mas baja indica el potencial máximo de rendimiento por planta de un genotipo en ausencia de competencia intrapoblacional y que la pendiente de la recta con valor negativo ($-b$) indica la tolerancia genotípica a la competencia intrapoblacional.

Para probar la hipótesis anterior; se eligieron los modelos de regresión simple que se presentan en el Cuadro 25 que consideran como variable dependiente (Y) el rendimiento por

Cuadro 25. Modelos de regresión lineal simple por genotipos para la condición de riego y punta de riego. Ciclo Verano 1989 Marín, N.L.

Condición	Genotipo	β_0	β_1
Riego	RB 3006	55.37	-0.000092 (X_1)
	SPV 351	52.26	-0.000080 (X_1)
	LES 42R	36.70	-0.000067 (X_1)
Punta de Riego	RB 3006	45.74	-0.000076 (X_1)
	SPV 351	35.12	-0.000052 (X_1)
	LES 42R	28.20	-0.000046 (X_1)

Donde X_1 = Densidades: 62,500, 125,000, 250,000 y 500,000 pl/ha.

Y = Rendimiento/planta

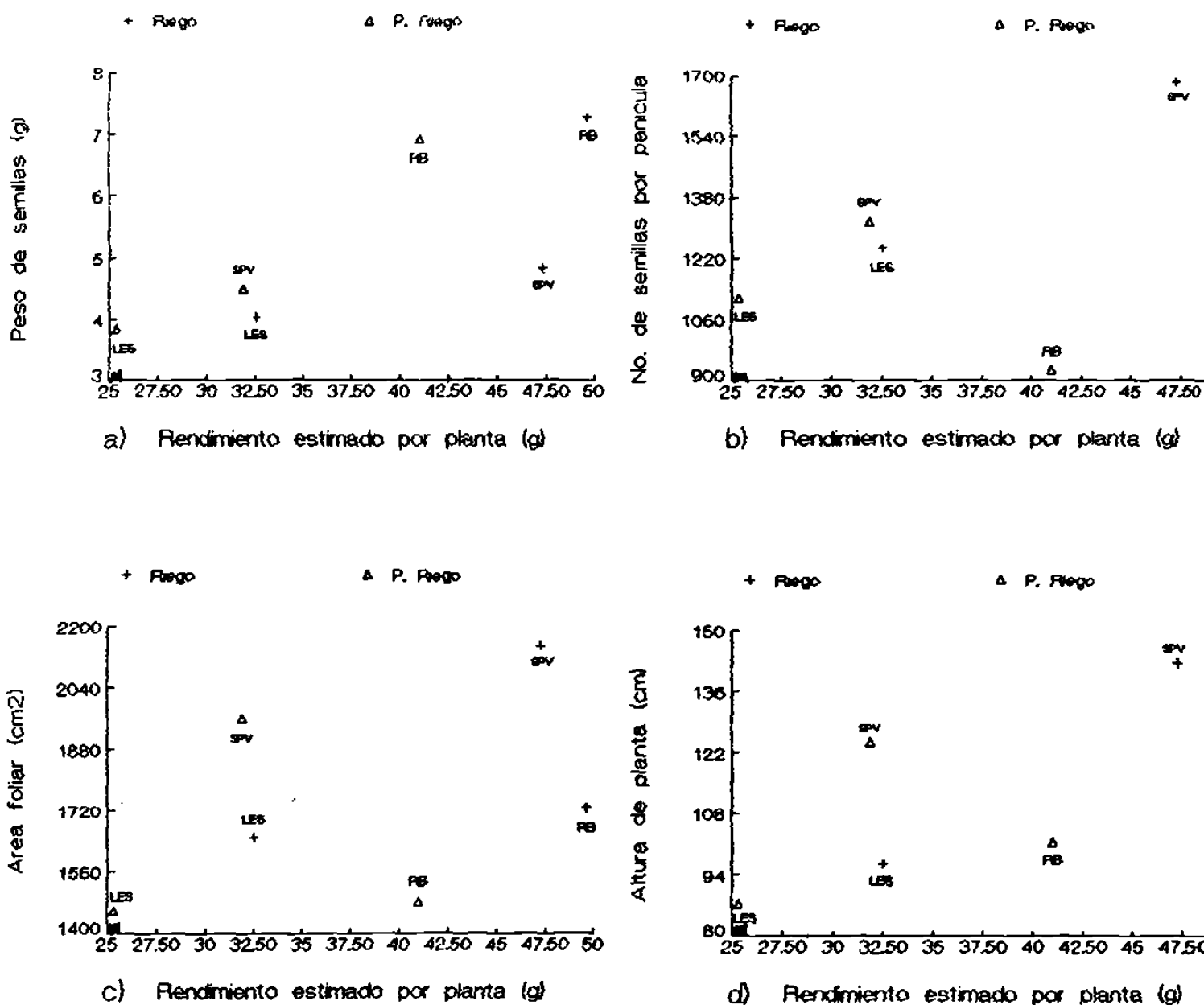
planta y como variable independiente (X_i) la densidad de población para cada genotipo. De estos modelos se consideró el rendimiento de grano estimado por planta (\hat{Y}) en la densidad mas baja y la pendiente de la recta (b) los cuales se relacionaron con las variables peso de semillas, número de semillas por panícula, área foliar y altura de planta.

En la Gráfica 15, secciones a), b), c) y d) se muestra el rendimiento de grano estimado por planta en la densidad , menos (\hat{Y}) y su relación con las cuatro variables antes mencionadas. Se observa que la única tendencia lineal del rendimiento estimado por planta (\hat{Y}) es con el peso de semillas, sección (a).

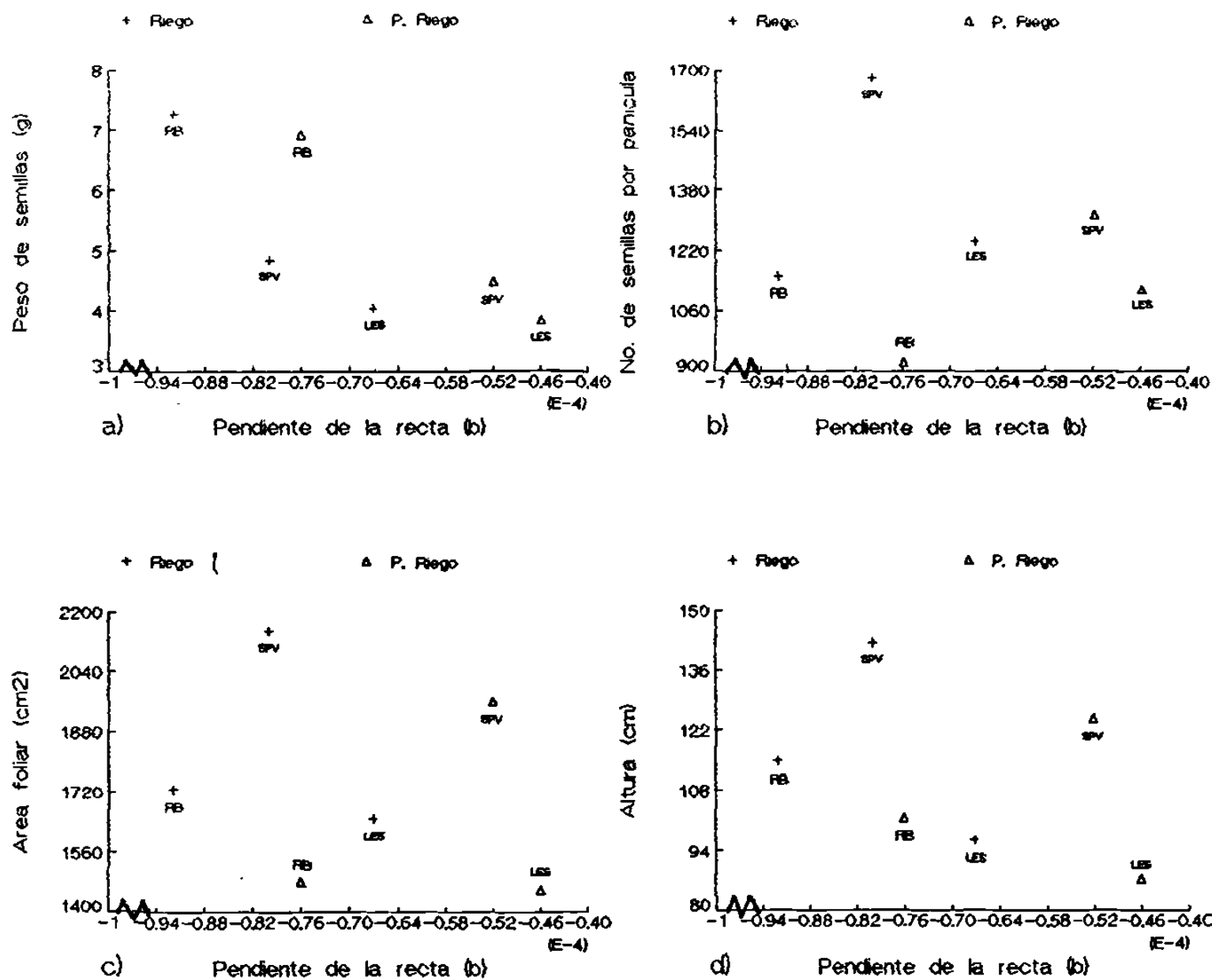
En la Gráfica 16 secciones a), b), c) y d) se presenta la relación entre la pendiente de la recta (b) y las cuatro variables señaladas. En la Gráfica 16, sección (a) se puede observar una relación casi lineal y negativa entre el peso de semillas y la pendiente de la recta b , donde se observa que cuando la pendiente tiende a cero, el peso de semilla se reduce, mientras que cuando ésta tiende a menos uno el peso de semillas aumenta.

Estos resultados pueden indicar que los genotipos con un bajo peso en su semilla, podrían presentar una tendencia a ser mas tolerantes a la competencia entre plantas. En las otras gráficas no se encontró ninguna tendencia de asociación entre la pendiente y el resto de las variables.

Dado que tanto \hat{Y} como b mostraron una relación con el peso



Gráfica 15. Relación entre el rendimiento del grano estimado (\hat{Y}) en la densidad menor y las variables a) peso de semillas, b) número de semillas por panícula, c) área foliar y d) altura. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.



Gráfica 16. Relación entre la pendiente de la recta (b) de los modelos de regresión simple y las variables a) peso de semillas, b) número de semillas por panícula, c) área foliar y d) altura. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.

de semillas, y no así con las demás variables, se rechaza la sexta hipótesis experimental.

4.2.4.1. Sexta conclusión parcial

Considerando la recta estimada que resulta de graficar el rendimiento por planta a una densidad de población baja y otra alta y de ésta su pendiente (b) y el rendimiento por planta estimado a la densidad baja de población (\hat{Y}) utilizados en el análisis gráfico, se puede concluir que solo podría existir una relación lineal entre \hat{Y} y b con el peso de semilla y no con las otras variables, por lo que estos estimadores no presentan una asociación particular con componentes del rendimiento y estructura de planta.

4.2.5. Séptima hipótesis experimental, índice de porte, componente del rendimiento y el rendimiento de grano por planta en relación al contenido de humeado del suelo.

La séptima y última hipótesis fue enunciada como sigue:

. La disminución del rendimiento por planta, del N.S.P., del P.S. y del área foliar, es más evidente en los tipos de mayor índice de porte bajo las condiciones de punta de riego que bajo riego como resultado de incrementar la densidad de población.

Con la finalidad de probar la hipótesis anterior, se tomaron los promedios de las variables rendimiento por planta, N.S.P., P.S. y AF, en las cuatro densidades tanto en la

condición de riego como en la de punta de riego, estos promedios se muestran en el Cuadro 26 y con estos promedios se construyó el Cuadro 27 en donde se presentan los porcentajes de disminución de cada una de estas variables al pasar de una densidad baja a la inmediata superior tanto bajo riego como bajo punta de riego. Enseguida se discute cada variable.

Rendimiento por planta. En el Cuadro 27 se observa que bajo la condición de riego, el genotipo de mayor índice de porte, SPV 351, fue el que menos redujo su rendimiento de grano por planta al pasar de una densidad a otra, seguido numéricamente por el híbrido de índice de porte intermedio RB 3006, mientras que el genotipo de menor índice de porte, LES 42R fue el que mostró una mayor sensibilidad a estos cambios ya que presentó la mayor reducción en su rendimiento por planta.

Sin embargo, en la condición de punta de riego sucede lo contrario. Es decir, LES 42R fue la que menos redujo su rendimiento por planta, seguida por SPV 351, en tanto que RB 3006 presentó el mayor porcentaje de reducción bajo esta condición.

Con respecto al número de semillas por panícula. Los resultados de este componente de rendimiento se dan en el Cuadro 27 y se puede observar que prácticamente SPV 351 presentó un porcentaje en el promedio de disminución para esta variable muy similar tanto en la condición de riego como en punta de riego, para cada una de las densidades de población. El híbrido RB 3006 mostró una diferencia mínima en su porcentaje de reducción al

Cuadro 26. Promedio de resultados de cuatro variables en cuatro densidades y tres genotipos bajo riego y punta de riego. Ciclo Verano 1989. Marín, N. L.

Genotipos	Densidad de población (pl/m ²)	Rendimiento por planta (g)		Número de sem. por panícula		Peso de semillas (g)		Área foliar (cm ²)	
		R	PR	R	PR	R	PR	R	PR
SPV 351	1	52.84	35.86	2532	1901	5.26	4.73	2600.55	2503.75
RB 3006	1	57.70	45.57	1937	1803	7.48	7.80	2490.35	2220.80
LES 42R	1	41.48	29.23	2219	1722	4.68	4.05	2034.15	1672.10
SPV 351	2	42.50	27.82	2110	1719	4.58	4.70	2557.35	2349.15
RB 3006	2	36.68	33.60	1219	1048	7.63	6.87	2075.45	1617.55
LES 42R	2	21.96	21.13	1361	1375	4.08	3.85	2006.70	1936.35
SPV 351	3	23.38	16.62	1222	996	4.80	4.17	1901.10	1755.35
RB 3006	3	29.12	22.88	1020	794	7.13	6.60	1486.55	1238.15
LES 42R	3	13.86	11.68	950	789	3.65	3.73	1592.95	1338.45
SPV 351	4	16.44	11.86	860	649	4.73	4.30	1535.10	1228.60
RB 3006	4	11.91	9.99	437	400	6.83	6.65	854.60	852.25
LES 42R	4	6.80	7.44	454	497	3.73	3.75	962.65	890.35

R = RIEGO

1 = 62,500

3 = 250,000

PR = PUNTA DE RIEGO

2 = 125,000

4 = 500,000

Cuadro 27. Porcentaje de reducción de cuatro variables al pasar de una densidad baja a la inmediata superior tanto en riego como en punta de riego. Ciclo Verano 1989. Marín. N. L.

IP	Genotipos por densidades	Rendimiento por planta (g)		Número de sem. por panícula		Peso de semillas (g)		Área foliar (cm ²)	
		R	FF	R	PR	R	PR	R	FR
	SPV 351								
	1 - 2	19.57	22.42	16.67	9.57	11.92	0.63	1.66	6.17
279.25	2 - 3	44.99	40.23	42.08	42.06	104.80	11.28	25.66	25.28
	3 - 4	29.68	28.64	29.62	34.84	1.45	103.12	19.25	30.00
	\bar{x}	31.41	30.43	29.57	28.82	2.86	2.93	15.52	20.48
	RB 3006								
	1 - 2	36.43	26.27	37.07	41.87	102.00	11.92	16.66	27.16
178.99	2 - 3	20.61	31.90	16.32	26.75	6.55	3.93	28.37	23.45
	3 - 4	59.10	56.34	57.16	49.62	4.20	100.76	42.51	31.18
	\bar{x}	38.71	38.17	36.85	39.41	2.92	5.03	29.18	27.26
	LES 42R								
	1 - 2	47.06	27.71	38.67	20.15	12.82	4.94	1.35	115.80
147.17	2 - 3	36.88	44.72	30.19	42.62	10.54	3.12	20.62	30.88
	3 - 4	50.94	36.30	52.21	37.00	102.19	100.54	39.57	33.48
\bar{x}	44.96	27.01	40.37	33.26	7.06	2.51	20.51	16.19	

IP = Índice de porte.

pasar de una condición de riego y a una densidad diferente. Sin embargo, se observa que esta reducción fue mayor que en SPV 351. En la LES 42R se aprecia que este genotipo resultó ser el más afectado en la reducción del N.S.P. con respecto a los otros genotipos, ya que el porcentaje de reducción fue el mayor en la condición de riego mientras que en punta de riego presentó un porcentaje de reducción intermedio a los otros dos genotipos.

, En relación a peso de semillas. En el Cuadro 27 se presentan los resultados de esta variable y se observa que bajo condiciones de riego los genotipos SPV 351 y RB 3006 presentaron una reducción pequeña y muy similar al pasar de una densidad de población a otra. Mientras que bajo riego la LES 42R mostró una reducción mas notoria comparada con los anteriores genotipos. En la condición de punta de riego se aprecia que el genotipo RB 3006 fue el más sensible a los incrementos en las densidades de población, por lo que el porcentaje de reducción en el P.S. fue el mayor comparativamente con SPV 351 y LES 42R, los cuales presentaron un porcentaje de reducción intermedio y menor respectivamente.

Para el área foliar. En el Cuadro 27 se dan los resultados de esta variable. Se puede observar que en la condición de riego el porcentaje de reducción en el área foliar fue menor en SPV 351 al pasar de una densidad de población a otra mayor. Con respecto a los otros dos genotipos. Le siguió en el porcentaje de reducción la LES 42R, y observándose una mayor disminución en RB 3006. En lo que respecta a punta de riego sucedió que el genotipo LES 42R fue el menos sensible al incremento en la

densidad de población seguida por SPV 351 y RB 3006, respectivamente.

Con base en los resultados señalados se resume que el porcentaje de reducción: 1) rendimiento de grano por planta, 2) del N.S.P. y 3) AF, al pasar de una densidad baja a la inmediata superior es mayor en los genotipos de menor índice de porte que en los de mayor porte, esto es más evidente en riego que en punta de riego, excepto en el genotipo SPV, 351 en la variable área foliar. En Cuanto a P.S., se presentaron incrementos en vez de decrementos, tanto en riego como en punta de riego.

En nueve de 12 combinaciones resultantes de los tres genotipos con las cuatro variables (Cuadro 27), se tiene que el porcentaje promedio de disminución al incrementar la densidad de población fue superior o al menos igual en la condición de riego respecto a punta de riego y que solo en tres de estas combinaciones (SPV 351 con AF, RB 3006 con N.S.P. y RB 3006 con P.S.), sucedió lo contrario por lo que la hipótesis experimental bajo prueba se rechaza.

4.2.5.1. Séptima conclusión parcial.

Considerando los resultados anteriores se puede concluir que:

Al incrementar la competencia intrapoblacional el porcentaje de reducción del rendimiento por planta y del número de semillas, no fué mayor en los genotipos de mayor índice de porte

con respecto a los de menor índice. Esta reducción fue más grande bajo riego que bajo punta de riego, contrario a la hipótesis planteada. El peso de semillas no se reduce consistentemente al incrementar la competencia intrapoblacional.

4.2.6. Consideraciones sobre el segundo objetivo

El efecto que tiene la competencia intrapoblacional en el rendimiento individual en cada uno de los genotipos evaluados es diferente entre ellos. Mientras que unos son tolerantes a la competencia, (con rendimientos por planta bajos), otros rinden bien pero son susceptibles a ésta; lo ideal sería contar con un genotipo que aparte de presentar tolerancia a la competencia intrapoblacional muestre un alto rendimiento por planta en mínima competencia. El genotipo SPV 351 es el que más se acerca a éste comportamiento. También se determinó que no necesariamente los genotipos de menor índice de porte como LES 42R son más afectados por la competencia intrapoblacional.

Se pudo comprobar que los componentes del rendimiento N.S.P. y P.S. influyen de manera diferente en los genotipos. Mientras que para SPV 351 es más importante el N.S.P. para determinar el rendimiento por área, en tanto que para el híbrido RB 3006 lo es el P.S. También se determinó que el aumentar la densidad de población y por tanto la competencia intrapoblacional ocasionó una disminución tanto en el N.S.P. como en el P.S., aunque la mayor sensibilidad a la competencia la mostró el N.S.P. Por lo tanto, para alcanzar un alto rendimiento por área en altas densidades, la dinámica del

rendimiento individual en relación al rendimiento por área indica que se requieren genotipos que bajo esta densidad presenten valores altos en su N.S.P. y P.S. y por consiguiente se pueda tener un rendimiento de grano por planta mayor independientemente del porte de planta y la condición de riego. Lo anterior depende más del potencial de rendimiento por planta en baja densidad seguido de la tolerancia a la competencia intrapoblacional.

V CONCLUSIONES

Con base en los dos objetivos planteados, las hipótesis experimentales asociadas a cada uno, los resultados obtenidos bajo las condiciones ambientales en las que se desarrolló esta investigación y a la discusión de los mismos se llegó a las conclusiones siguientes

5.1. Maximización del Rendimiento de Grano por Área.

Para maximizar el rendimiento por área bajo riego y punta de riego se requiere definir un genotipo y una densidad de población de plantas específicas para cada condición. Así, para riego, el mayor rendimiento de grano por área se podrá obtener con el híbrido RB 3006 en la densidad de 250,000 pl/ha bajo condiciones ambientales semejantes a las que se dieron en este estudio. Para punta de riego el rendimiento máximo se alcanzará sembrando SPV 351 a 125,000 pl/ha.

5.2. Dinámica del Rendimiento de Grano en los Genotipos.

La dinámica del rendimiento de grano por área, en relación al rendimiento por planta, sus componentes y tipos de planta de sorgo contrastantes en (área foliar y altura), bajo riego y bajo punta de riego, y en diferentes densidades de población puede explicarse como sigue:

Como resultado del incremento de la competencia intrapoblacional, al elevar la densidad de población el

rendimiento por planta disminuye. Esto principalmente por reducirse en mayor proporción el número de semillas por panícula que el peso de la semilla y el área foliar. Sucediendo lo contrario para la altura de la planta.

El alto rendimiento por área a densidades altas estará determinado por dos aspectos: a) Por el alto rendimiento por planta en baja competencia intrapoblacional, y b) por la capacidad de mantener este alto rendimiento aún bajo el incremento de la densidad de población, esto es, de la tolerancia a la competencia intrapoblacional.

|

De estos dos aspectos el primero es más determinante que el segundo; así, en genotipos de alto índice de porte con alto rendimiento por planta a bajas densidades, no obstante una reducción drástica en el rendimiento por planta por efecto de la competencia intrapoblacional, aún podrá presentar alto rendimiento por planta a densidades altas de población comparadas con genotipos de menor índice de porte y más tolerantes a la competencia intrapoblacional. En consecuencia se podrá obtener un rendimiento de grano por área mayor en los primeros que en los segundos.

No se encontró una tendencia de asociación definida entre el rendimiento de grano estimado a la densidad baja de población y la pendiente de la recta de regresión que resulta al unir el rendimiento por planta a baja y alta densidad, con respecto a las variables, número de semillas, por panícula área foliar y altura; sin embargo, el peso de semillas presentó una asociación

lineal positiva con el rendimiento estimado a la densidad mas baja y negativa con la pendiente de la recta, por tanto en general, estos estimadores no guardan una relación particular con los componentes del rendimiento ni con el tipo de planta.

La dinámica de la determinación anterior del rendimiento por área en función del rendimiento por planta es más evidente bajo riego que bajo punta de riego, dado que en el segundo caso los valores de todas las variables involucradas son menores que en el primero.

VI. RECOMENDACIONES

1. Para maximizar el rendimiento por área bajo riego, se sugiere seguirlo estudiando para SPV 351 a densidades de población mayores a la de 500,000 pl/ha, dado que este genotipo no declinó su rendimiento a esta densidad como ocurrió con los otros genotipos estudiados.
2. El caso de sorgo, donde la demanda de fotosintetizados por las panículas como primer estrato del dosel puede ser adecuadamente abastecida por la fuente en genotipos de índice de porte alto no senescentes, es una situación ausente en otros cereales tropicales o de invierno, por lo que se recomienda no extrapolar a éstos la dinámica del rendimiento por área en relación al rendimiento por planta en sorgo.
3. En estudios en donde se evalúen densidades de población, se sugiere efectuar el muestreo de plantas en la longitud del surco de acuerdo con la densidad de población preestablecida, esto con el fin de estimar el rendimiento de grano por área. Se sugiere también aumentar el número de repeticiones, con el propósito de reducir el error experimental y tener mayor precisión en las comparaciones.
4. Dado que los tres genotipos estudiados fueron seleccionados por su gran diferencia en el área foliar y altura, el índice de porte de cada uno fue distinto. Sin

embargo, la forma de cálculo del índice de porte como se utilizó en este estudio podría arrojar valores de este índice similares entre genotipos con tipo de planta diferentes. Por lo anterior, se sugiere para futuros estudios diseñar otra forma de cálculo del índice de porte en la cual, aparte del área foliar y la altura, se incluya un factor de corrección asociado con el volumen de la figura geométrica a la cual se ajuste el tipo de planta y también que involucren el coeficiente promedio de extinción de luz en el dosel, medido a través de las densidades de población bajo estudio.

1

VII. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo R., R. 1970. Efecto de seis densidades de siembra sobre el rendimiento en grano del híbrido AMAK-R-12 de sorgo (Sorghum vulgare Pers.) en General Escobedo, N.L. Tesis Profesional. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N.L.
- Aldrich, S.R. y E.R. Leng. 1974. Producción moderna del maíz. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 307 p.
- Alegria Z., R.M., J.E. Rodríguez y O. De la Rosa 1986. Efecto de la profundidad de siembra sobre el vigor de las plántulas de frijol (Phaseolus vulgaris L.) maíz (Zea mays L.) y sorgo (Sorghum bicolor (L.) moench). Tesis Profesional. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N. L.
- Avila V., A. y F. Márquez S. 1978. Comparación de métodos de ajuste para corrección por fallas en sorgo para grano. Agrociencia. 31. 45-64.
- Baker, J.J.W. y G.E. Allen. 1970. Biología e Investigación Científica. Editorial. Fondo Educativo Interamericano, S.A. 666 p.
- Blum, A. 1967, Effect of soil fertility and plant competition on grain sorghum panicle morphology and panicle weight components. Agron. J. 59:400-403.

- _____. 1970. Effect of plant density and growth duration on grain sorghum yield under limited water supply. *Agron. J.* 62: 333-336.
- Bond, J.J., T.J. Army, and O.R. Lehman. 1964. Row spacing plant populations and moisture supply as factors in dryland grain sorghum production. *Agron. J.* 56:3-6.
- Calva, J.L. 1988. Crisis agrícola y alimentación en México, 1982-1988. Editorial Fontamara 54. México. 230 p.
- Caravetta, G.J., J.H. Cherney, and K.D. Johnson. 1990. Within row spacing influences on diverse sorghum genotypes. *Agron. J.* 82:206-210.
- Delorit, R.J. y H.L. Ahlgren. 1970. Producción agrícola. Trad. Ph. D. A. Marino Ambrosio. Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V. México, D.F. 783 p.
- Diehl, R., J.M. Mateo B. y P. Urbano T. 1973. Fitotecnia General. Editorial. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 814 p.
- Duncan, W.G. 1958. The relationship between corn population and yield. *Agron. J.* 50:82-84.
- Emmel, T.C. 1975. Ecología y biología de poblaciones. Trad. C. G. Ottenwaelder. Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V. , México, D.F. 182 p.

- Gallegos, V. I. 1984. Fertilización nitrogenada y densidades de población en el cultivo del sorgo para grano (Sorghum vulgare Pers.) en Marín, N.L. Tesis Profesional. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N.L.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. II Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. 152 p.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of Crop Plants. The Iowa State University Press. 327 p.
- Gerik, T.J., and C.L. Neely. 1987. Plant density effects on main culm and tiller development of grain sorghum. Crop. Sci. 27:1225-1227.
- Grimes, D.W., and J.T. Musick. 1960. Effect of planting spacing, fertility, and irrigation management on grain sorghum production. Agron. J. 52:647-650.
- Huda, A.K.S. 1988. Simulating and yield responses of sorghum to changes in plant density. Agron. J. 62:541-547.
- Ishizuka, Y. 1969. Engineering for higher yields. In: Physiological aspect of crop yield. U.D. Eastin Chairman Editor. ASA. CSSA. Madison, Wisconsin, USA. 396 p.
- Krieg, D.R., and R.B. Hutmacher. 1986. Photosynthetic rate

control in sorghum: stomatal and nonstomatal factors. *Crop. Sci.* 26:112-117.

Little, T.M. y F.J. Hills. 1981. *Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura*. Editorial Trillas. México, D.F. 270 p.

Maciel, R. y A. Moreno R. 1970. Efecto de diferentes métodos de siembra, población de plantas por hectárea y calendario de riegos en los rendimientos de grano de sorgo en el noreste de Tamaulipas. *V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. 3:256-261.

Maiti, R. K., H. González R. y C.O. Alanís L. 1984. *El establecimiento de los cultivos en el trópico semiárido del Noroeste de México. Una síntesis práctica*. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N.L. México. 77 p.

Maiti, R.K. 1986. *Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo*. Traducción por Ing. Francisco Illades. Facultad de Agronomía. UANL. Marín, N.L. México. 419 p.

Mann, H.O. 1965. Effects of rates of seeding and row width on grain sorghum grown under dryland conditions. *Agron. J.* 57:173-175.

Martin, J.H., W.H. Leonard, and D.L. Stamp 1975. *Principles of field crop production*. MacMillan Publishing Co., Inc. New York. 1118 p.

- Martínez L., H. 1988. Evaluación de la habilidad competitiva intrapolacional de cuatro líneas y un híbrido de sorgo. Tesis Profesional. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N.L.
- Miller, R., I. and Y Kebede 1981. Genetic contributions to yield gain in sorghum, 1950 to 1980, In: Genetics contributions to yield gains of five major crop plants. CSSA. Special Publication number 7. CSSA, ASA, Madison Wisconsin 53 711 SA 101 p.
- Nava R., C. 1979. Ecosistema, la unidad de la naturaleza con el hombre. Primera Edición. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 332 p.
- Nema, V.P; Sing, R.V; Rathore, R.S; Parmar, C.L. 1988. Response of sorghum varieties to plant population. Sorghum and millets Abs. 13:100.
- Odum, E.P. 1978. Ecología. Primera Publicación. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México, D.F. 277 p.
- Olivares S. E. 1989. Curso de introducción a las microcomputadoras. SDEP, FAUANL. (Material no publicado).
- Ramírez H., L.C. 1985. Prueba de densidades y programas de riego en la variedad de maíz (Zea mays L.) ROCHO-6. Tesis Profesional. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N.L.
- Rivera F., C.H. (1988). Relaciones cuantitativas entre

rendimiento y la densidad de plantas de cinco poblaciones de maíz. Ciencia Agropecuaria Vol. 1. FAUANL. Marín, N.L. p. 79-97.

Robinson, R.G., and L.A. Bernat. 1963. Dry weight of panicles as an estimate of yield in grain sorghum. Crop. Sci. 3:22-23.

Robinson, R.G., Bernat, L.A., Nelson, W.W. Thompson, R.L. and Thompson, J.R. 1964. Row spacing and plant population for grain sorghum in the humid north. Agron. J. 56:189-190.

Robles S. R. 1978. Producción de granos y forrajes. Editorial Limusa. México. 592 p.

Rodríguez C., F.C. 1983. Tecnología de producción en cultivo de riego (Frijol en el Noroeste de México). Libro Técnico Código 9-36-11. SARH -INIA-CIAPAN-CAE del Valle de Culiacan, México, D.F.

Saucedo R., J.M. 1985. Comparación de algunas características anatómicas, morfológicas y fisiológicas en líneas glossy y no-glossy de sorgo (Sorghum bicolor (L.) moench) para su resistencia a la sequía en estado de plántula. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Biológicas. UANL. Monterrey, N.L.

Steel, G.D.R., and J.H. Torrie. 1960. Principles and procedures of statistics. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. USA. 481 p.

- Stickler, S. Wearden and A.W. Pauli. 1961. Leaf area determination in grain sorghum. Agron. J. 53. 187-188.
- Stickler, F.C. and S. Wearden. 1965. Yield and yield components of grain sorghum as affected by row width and stand density. Agron. J. 57:564-567.
- Stickler, F.C., and M.A. Younis. 1966. Plant height as a factor affecting responses of sorghum to row width and density. Agron. J. 58:371-373.
- Stoskopf, N.C. 1981. Understanding crop production Reston publishing company, Inc. Reston. Virginia USA. 423 p.
- Subramanian, V.B., and D. G.Rao. 1988. Yields components of dryland sorghum at different plant densities in dry seasons. Sorghum and millets Abs. 13:4
- Subramanian, V.B., and D.G. Rao. 1988. Basis of grain yield compensation in dryland sorghum at low density. Sorghum and millets. Abcs. 13:5.
- Teuscher, H. y R. Adler. 1965. El suelo y su fertilidad. Trad. Rodolfo Vera. Primera Edición. Compañía Editorial Continental, S.A. México, D.F. 282 p.
- Tocagni, H. 1979. El sorgo. Editorial Albatros, S.R.L. Buenos Aires, Argentina. 137 p.

- Valdés, C. 1982. Sorgo a diferentes distancias. El surco. No. 1.
- Vega, S., G. 1984. Programa Nacional de Investigación en Sorgo. En: Memorias de la Primera Reunión Nacional sobre el Sorgo. 22 a 26 de Octubre 1984. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N.L. pp. 65 a 72.
- Velasco M., H.A. 1983. Uso y manejo del suelo. Editorial Limusa. México, D.F. 191 p.
- Villalpando I., J.F. 1984. Regiones climáticas potenciales para el cultivo de sorgo en México. En Memoria de la Primera Reunión Nacional Sobre el Sorgo. 22 a 26 de Octubre de 1984. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N.L. pp 214 a 223.
- Villar, J.L., J. W. Maranville, and J.C. Gardner. 1989. High density sorghum production for late planting in the central great plains. J. Prod. Agric. 2:333-338.
- Wall, S.J. y M.W. Ross. 1975. Producción y usos del sorgo. Trad. Andrés O. Bottard. Primera Edición. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 399 p.
- Willey, R.W., and S.B. Heath. 1969. The quantitative relations between plant population and crop yield. Adv. Agron. 21:281-319.

Zavala A., R.A. 1985. Evaluación de cinco densidades de población en (Phaseolus vulgaris L.) variedad delicias 71. Ciclo Primavera-Verano 1985. Tesis Profesional, ITESM. Monterrey, N.L.

