



**EFFECTO DE LA POBLACION Y DISTRIBUCION ESPACIAL
DE LAS PLANTAS SOBRE EL RENDIMIENTO
DE FRIJOL ORINOCO ***
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

RUDDY VILLALOBOS F. **
RODOLFO AVILA L. **

RESUMEN

Se realizó un ensayo con la variedad de frijol Orinoco, en el cual se probaron tres poblaciones de plantas distribuidas en dos distancias de siembra. Se encontró que las poblaciones de 166.667 y 250.000 plantas/Ha., produjeron rendimientos significativamente mayores, que la población de 125.000 plantas/Ha. Las comparaciones entre las distribuciones espaciales de siembra demostraron que las disposiciones cuadradas o cercanas a ellas, produjeron rendimientos/planta, vainas/plantas, semillas/vaina y peso de las semillas, superiores que las disposiciones con razones de rectangularidad de 4:1 y mayores. Los análisis de correlación determinaron que el rendimiento/planta estaba correlacionado positiva y significativamente con el número de vainas por planta y semillas por planta, en las tres poblaciones estudiadas. El peso/semilla no presentó correlación con el rendimiento. Las correlaciones entre los componentes no fueron significativas. El análisis del coeficiente de trayectoria detectó un efecto directo alto del número de vainas por planta sobre el rendimiento, moderado en el caso de semillas por vaina y muy bajo para peso/semilla.

ABSTRACT

A study comparing three plant populations, each distributed according to two different planting distances, was conducted using the cowpea variety Orinoco. It was found that populations of 166.667 and 250.000 plant/Ha produced yields significantly higher than populations of 125.000 plants/Ha. Comparisons of the spacial plant distributions demonstrated that square or nearly square distributions produced yields/plant, pods/plant, seeds/pod and grain weights greater than rectangular distributions of 4:1 or greater. Correlation analyses determined that the yield/plant was significantly and positively correlated with the number of pods/plant and seeds/plant in all three populations studied. Seed weight was not correlated with yield. Correlation among the components not significant. Analysis of the path coefficient detected a high direct effect of the number of pods/plant upon yield, a moderate effect upon seeds/pod and a very low effect upon seed weight.

INTRODUCCION

El rendimiento de un cultivo puede ser expresado como el resultado de la interacción de ciertas características morfológicas conocidas como componentes del rendimiento, que generan una relación de causa-efecto.

Esta relación de causa-efecto entre los componentes y el rendimiento, condiciona el estudio de esta variable en cualquier cultivo a ser enfocado como el producto de las interrelaciones de tales características.

* Recibido para su publicación el 25-10-82

** Ing^o Agr^o M. Sc., Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Apartado 526, Maracaibo, Venezuela

Por esta razón, el estudio de los componentes del rendimiento adquiere una gran importancia, debido a que las variaciones sufridas por el rendimiento podrían ser explicadas por las interacciones de sus componentes.

Este enfoque aplicado al mejoramiento del cultivo del frijol, ha permitido estudiar la factibilidad del uso de dichos componentes para la construcción de índices de selección, con base en el hecho de haberse encontrado que estos componentes tienen una heredabilidad similar o mayor a la del rendimiento, lo cual produciría avances genéticos más rápidos que los obtenidos utilizando únicamente el rendimiento.

Sobre la base de que la población de plantas y la distribución espacial de ellas en el terreno, afectan el rendimiento de las plantas cultivadas, se hace necesario también estudiar el efecto que tienen, sobre los componentes del rendimiento; por ello se planificó la realización de este trabajo, usando diferentes poblaciones de plantas y distribuciones espaciales de siembra, con la finalidad de evaluar los siguientes objetivos:

- a) Estudiar el efecto de la población de plantas y de la distribución espacial de la siembra, sobre el rendimiento y sus componentes, en la variedad de frijol Orinoco.
- b) Determinar las correlaciones entre el rendimiento y sus componentes y entre los componentes entre sí.

REVISION BIBLIOGRAFICA

MACK y HATCH (8), trabajando en caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), encontraron que el rendimiento del cultivo fué mayor en una disposición espacial cuadrada, que cuando la misma densidad de población fué arreglada a 30, 60 ó 90 cm entre las hileras.

JANORIA y ALI (6), encontraron en ensayos con 26 variedades de frijol que el rendimiento por planta estaba correlacionado positivamente con el número de vainas por planta, semillas por vaina, peso de 100 semillas y número de días a 50 por ciento de floración. El análisis de regresión parcial mostró que la influencia del número de vainas por planta sobre el rendimiento fué similar a la del peso de 100 semillas y al número de semillas por vaina, y era mayor que los días transcurridos para lograr un 50 por ciento de floración. El número de vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas, son responsables del 83 por ciento de la variación en el rendimiento y el número de vainas por planta y peso de 100 semillas, del 64 por ciento.

SINGH y MEHNDIRATTA (11), en trabajos con 40 líneas y variedades de frijol, utilizando el análisis de los coeficientes de trayectoria, encontraron que el número de vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas, tienen un efecto directo apreciable sobre el rendimiento. El análisis de regresión múltiple, determinó que estos tres componentes fueron lo más importantes y contribuyeron en un 68 por ciento a la variación en el rendimiento.

OJEHOMON y BAMIDURO (9), reportaron en el frijol que la producción de materia seca, flores, frutos y peso de la semilla por planta, disminuyen con incremento en las poblaciones de plantas, mientras que el rendimiento en semilla por unidad de superficie aumentó. Las variedades utilizadas que tenían crecimiento erecto tenían una mayor producción cuando se sembraban en disposición rectangular a razón de 2:1, mientras que las semi-erectas tuvieron la mayor producción a espaciamientos cuadrados.

HAIZEL (5), encontró que a altas densidades de plantas, una variedad de frijol produjo menor número de vainas. El tamaño de las semillas aumentó significativamente con una disposición cuadrada que con disposición rectangular.

ARYEETEY y LAING (1), trabajando con 22 variedades de frijol, encontraron una correlación consistente y positiva entre el número de vainas por planta y el rendimiento por planta. La correlación del rendimiento con la longitud de las vainas fué negativa, pero fué positiva para los otros componentes. Los coeficientes de heredabilidad variaron desde 19.8 por ciento para vainas por planta hasta 60.3 por ciento para la longitud de las vainas.

BAPNA y JOSHI (2), trabajando con progenies de cruzamiento de variedades, encontraron que vainas y semillas por planta, semillas por vaina, peso de 100 semillas y días de floración y maduración, presentaron estimados de heredabilidad alta, obteniéndose estimaciones altas de avance genético en semillas por planta y peso de 100 semillas.

BLISS *et al* (3), trabajando con 11 cultivares de líneas puras, reportaron una correlación positiva alta del rendimiento con peso de 50 semillas y una correlación negativa con el contenido de metionina. Las estimaciones de heredabilidad fueron altas para peso de 50 semillas y medianas para semillas por vaina y contenido de metionina.

PATEL (10), en trabajos con variedades de este cultivo, consiguió una correlación positiva y significativa entre el rendimiento y número de vainas por planta, semillas por vaina, altura de las plantas, longitud de las vainas y peso de 100 semillas. El número de vainas y peso de 100 semillas fueron los más importantes en la determinación del rendimiento.

KHERADNAM y NIKNEJAD (7) observaron que todos los caracteres, número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso de 100 semillas, mostraron correlación positiva con el

rendimiento. Los valores del coeficiente de correlación (r), con el rendimiento fueron 0.82, 0.54 y 0.33 para vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas, respectivamente.

Las estimaciones de heredabilidad fueron de 75, 64, 47, 44, 35 y 15 por ciento respectivamente para el peso de 100 semillas, semillas por vaina, racimos por planta, vainas por planta, rendimiento por planta y número de ramas por planta.

Se concluye expresando que para el mejoramiento genético del rendimiento, el número de vainas por planta y el número de semillas por vaina, tienen un valor selectivo igual al rendimiento por planta, mientras que el peso de 100 semillas y el número de vainas por planta, tienen menor valor selectivo y el número de ramas por planta no tiene valor de selección.

MATERIALES Y METODOS

MATERIALES

El trabajo fué realizado en el Campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, ubicada en el Distrito Maracaibo, Estado Zulia, a 15 Km al Sur de la ciudad de Maracaibo.

La precipitación promedio anual está en el orden de los 600-800 mm, distribuidos en una forma bimodal. La vegetación es xerófila; la temperatura promedio anual es de 29°C.

La variedad en estudio fué la Orinoco que se sembró durante el segundo ciclo de siembra (Octubre - Diciembre) de 1975. Esta variedad es de crecimiento erecto con un ciclo aproximado de 65 días.

Para controlar las malezas, se aplicó en forma pre-emergente el herbicida Lazo, a razón de 3 litros/Ha y para suplir a la Planta de P (fósforo), se hizo una aplicación uniforme en el ensayo de 150 Kg de Superfosfato triple/Ha, en el momento de la siembra.

METODOS

A. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizaron tres densidades de población (250.000, 166.667 y 125.000 plantas por Ha), cada población fué arreglada en dos distancias de siembra, con una distancia entre las plantas en el hilo de siembra de 10 y 20 cm, y se varió la distancia entre hileras para obtener la población deseada.

Las disposiciones espaciales de las plantas se construyeron de tal manera que cada población presentaba una disposición de siembra con razones de rectangularidad (distancia entre hileras: distancia entre plantas) diferentes, que de acuerdo a experimentos hechos anteriormente, son distancias de siembra que se encuentran dentro de las recomendadas para el cultivo.

En la Tabla 1 se presentan los tratamientos utilizados en el ensayo, los cuales fueron arreglados en un diseño de parcelas divididas en bloques al azar con cinco repeticiones, colocando las poblaciones en las parcelas principales y las distribuciones espaciales de siembra como una clasificación jerarquizada en las parcelas secundarias.

TABLA 1. Poblaciones de Plantas y Distancias de Siembra Utilizadas

Población Ha. (plantas /Ha)	Distancia de siembra (cm x cm)	Razón de Rectangularidad
250.000	20 x 20	1 : 1
	40 x 10	4 : 1
166.667	30 x 20	1.5 : 1
	60 x 10	6 : 1
125.000	40 x 20	2 : 1
	80 x 10	8 : 1

La unidad experimental fué una parcela que constaba de seis hilos de siembra con cuatro efectivos para la cosecha; el largo del hilo fue de nueve metros, de los cuales se cosecharon ocho metros.

MODELO MATEMATICO

De acuerdo al diseño experimental utilizado, el modelo matemático que expresa la relación de cada observación para los resultados del experimento, sería de la siguiente manera:

$$Y_{ij}(k/i) = \mu + \beta_j + \tau_i + \gamma_{ij} + (\delta/\tau)_{k/i} + \epsilon_j(k/i)$$

donde $Y_{ij}(k/i)$ es una observación cualquiera, a saber:

observación correspondiente a la k -ésima distribución de siembra dentro de la i -ésima población del j -ésimo bloque;

- μ = Media general
- β_j = Efecto del j -ésimo bloque, donde $j = 1, \dots, b$
- τ_i = Efecto de la i -ésima población, donde $i = 1, 2, \dots, p$
- γ_{ij} = Error experimental para parcelas principales.
- $(\delta/\tau)_{k/i}$ = Efecto de la k -ésima distribución espacial de siembra dentro de la i -ésima población, donde: $k = 1, 2, \dots, d$
- $\epsilon_j(k/i)$ = Error experimental para las parcelas secundarias, formado por la interacción $|(\delta/\tau)_{k/i} \times \beta_j|$

B. CARACTERES ESTUDIADOS

Los caracteres estudiados fueron:

1. Rendimiento de semilla por parcela: expresado en g/m^2 .
2. Los caracteres morfológicos (componentes del rendimiento):
Número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso de las semillas. Estos caracteres fueron obtenidos, junto con el rendimiento por planta usando 10 plantas tomadas al azar de cada parcela.

C. ANALISIS APLICADOS

Para estudiar el efecto de la población y la distribución espacial de siembra sobre el rendimiento y sus componentes, se hicieron los siguientes análisis:

1. ANALISIS DE LA VARIANZA
 - 1.1. Realizado para el rendimiento de semilla por parcela, con la finalidad de determinar el efecto de las poblaciones y de la distribución espacial sobre el rendimiento en semilla.
 - 1.2. Análisis de la varianza para el rendimiento por planta y cada uno de los tres componentes del rendimiento.

El análisis fue realizado tomando los promedios de los componentes y del rendimiento/planta de las 10 plantas tomadas al azar de cada parcela. Mediante este análisis se puede determinar el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento/planta y sus componentes.

Cuando se detectó significación en el análisis de la varianza para poblaciones, se utilizó la prueba de Tukey para determinar la significación entre las medias.

Cuando la significación fué detectada para las distribuciones espaciales dentro de las poblaciones, se utilizó la prueba de la Mínima Diferencia Significativa (M.D.S.) para la significación entre las medias.

Se utilizó esta prueba por tratarse de comparaciones previamente establecidas, es decir, antes de realizar el experimento.

2. ANALISIS DE CORRELACION

Para establecer las relaciones entre las diversas características, se calculó el coeficiente de correlación lineal simple entre el rendimiento y sus componentes y entre los componentes. Estos coeficientes fueron calculados utilizando los caracteres obtenidos de las plantas tomadas al azar de cada parcela.

Las medidas de correlación se obtuvieron para cada población y distribución espacial por separado.

Mediante este análisis se puede determinar la relación que existe entre el rendimiento y las características, y la influencia que los tratamientos tienen en las relaciones ya referidas.

Análisis del Coeficiente de Trayectoria (Path coefficient)

Con el fin de facilitar el análisis y la interpretación de los coeficientes de correlación, se usó el método de los coeficientes de trayectoria, desarrollado por Dewey y Lu (4) y Wright (12).

La correlación simple o total entre dos características, mide tanto la relación directa entre ambas como los efectos indirectos a través de otra variable. La correlación parcial mide solamente el efecto directo.

Para una interpretación más correcta de las múltiples relaciones entre varias características, es necesario separar ambos tipos de efectos. Un método apropiado para tal fin, es el de los coeficientes de trayectoria, que fué específicamente utilizado en el trabajo para encontrar las relaciones entre el rendimiento y las restantes variables.

Dewey y Lu (4), en el desarrollo de su trabajo dicen: "Un coeficiente de trayectoria es un coeficiente de regresión parcial estandarizado, que mide la influencia directa de una variable sobre otra y permite la división del coeficiente de correlación en componentes directos e indirectos. El uso del método requiere de una situación de causa-efecto entre las variables". Es obvio, asumir que en el trabajo existe una relación de causa efecto entre los componentes y el rendimiento.

El modelo del diagrama de trayectoria del trabajo se presenta en la Figura 1. En esta figura (X_4) representa el rendimiento por planta, que es la variable dependiente y (X_1), (X_2) y (X_3), representan los componentes, a saber, número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso/semillas, respectivamente.

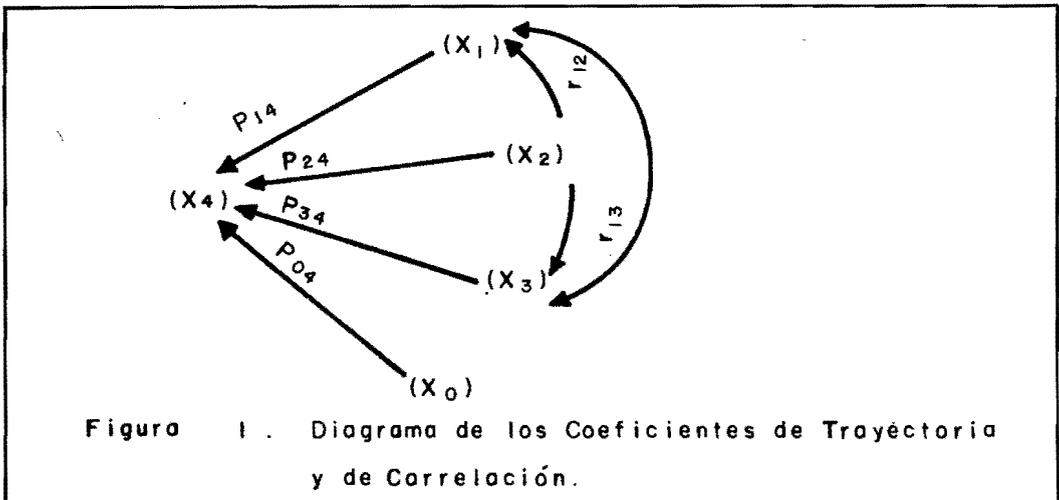


Figura 1. Diagrama de los Coeficientes de Trayectoria y de Correlación.

En el diagrama las líneas que van hasta (X_4) en un solo sentido (P_{j4}), representan los coeficientes de trayectoria, que hacen referencia al efecto directo de los componentes sobre el rendimiento. Las líneas con doble sentido (r_{ij}), son los coeficientes de correlación lineal simple.

La variable X_0 contiene el efecto de otros factores no especificados en el diagrama, tales como errores en el muestreo, influencia de otras variables no incluídas, etc. Dado que se supone que en el diagrama aparecen los componentes más influyentes, la contribución no explicable, incluída en (X_0), será de poca importancia si el modelo fijado es el más apropiado.

En el Anexo 1 se presenta la base teórica del desarrollo para la obtención de los coeficientes de trayectoria y la descomposición del coeficiente de correlación en los efectos directos e indirectos sobre el rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de la Varianza para la variable rendimiento por parcela

En la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis de la varianza para el rendimiento por parcela, donde se obtuvo que las poblaciones de plantas no difieren significativamente ($\alpha = 0.05$) en cuanto al rendimiento en semilla, lo que pudiera ser debido a un enmascaramiento por un error experimental para las parcelas principales un poco alto (C.V. = 20.24 por ciento), ya que cuando se realizaron las siguientes comparaciones ortogonales:

TABLA 2. Análisis de Varianza para Rendimiento por Parcela.

Fuentes de Variación	G. de L.	C.M.	F.
Repeticiones	4		
Poblaciones	2	842.274	4.021 n.s.
Poblaciones altas vs. Poblaciones bajas	1	1376.36	6.57*
Entre poblaciones altas	1	308.19	1.47 n.s.
Poblaciones x repeticiones	8	209.422	
Distribución/población	3	1776.206	12.268**
Distribución/población x repetición	12	146.469	

* Indica significación al nivel $\alpha = 0.05$ | C.V. (parcela principal) = 20.24 por ciento

** Indica significación al nivel $\alpha = 0.01$ | C.V. (parcela secundaria) = 16.92 por ciento

Comparación 1: Rendimiento de las dos poblaciones altas (166.667 y 250.000 plantas /Ha) contra el rendimiento promedio obtenido con la población menor.

Comparación 2: Entre las dos poblaciones altas.

Se obtuvo que el promedio del rendimiento obtenido con las poblaciones más densas, difería significativamente ($\alpha = 0.05$) del rendimiento promedio de la población menor, demostrando la existencia de diferencias significativas entre ellas. La comparación 2 entre las poblaciones altas demostró que entre ellas no existían diferencias significativas de rendimiento.

En la Tabla 3 donde se presentan los rendimientos promedios para las poblaciones, se observa que los rendimientos obtenidos aumentan en relación directa con las poblaciones estudiadas, obteniéndose entonces, como resultado de este análisis, que dentro del rango de poblaciones estudiadas, el rendimiento de esta variedad aumentaría significativamente entre 125.000 y 166.667 plantas/Ha, para luego seguir aumentando hasta llegar a la población más densa, pero, sin detectarse significación para los aumentos obtenidos entre las dos poblaciones altas.

Tabla 3. Rendimientos Promedios para Poblaciones (g/m²),

Población (plantas/Ha)	Rendimientos Promedios
250.000	80.225
166.667	72.374
125.000	61.931

De la misma Tabla 2 se observa que existen diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.01$), entre las distribuciones espaciales de siembra. En la Tabla 4 donde se presentan los resultados de la prueba de la mínima diferencia significativa, para los rendimientos promedios de las distribuciones espaciales, se obtiene que en cada una de las comparaciones dentro de cada población, siempre se obtuvo un rendimiento significativamente mayor cuando la razón de rectangularidad disminuía (las plantas se arreglaban en una disposición equidistante o cercana a ella), que cuando la razón fué 4:1 y mayor; esta significación se obtuvo para todas las distribuciones a favor de la distancia de 20 cm entre las plantas, en comparación con la distancia de 10 cm.

TABLA 4. Rendimientos Promedios para Distribuciones/Poblaciones (g/m²),

Distribución/ población (cm x cm)	Razón de rectangularidad	Rendimientos promedios
20 x 20	1 : 1	88.874**
40 x 10	4 : 1	71.576
30 x 20	1.5 : 1	91.364**
60 x 10	6 : 1	53.384
40 x 20	2 : 1	71.802**
80 x 10	8 : 1	52.060

** Prueba de M.D.S. indica significación al nivel $\alpha = 0.01$ en comparación con la otra distribución dentro de la misma población.

De la misma Tabla 4 se concluye que los mayores rendimientos se obtuvieron cuando la razón de rectangularidad fué de 1 : 1 y 1.5 : 1, lo que conlleva a pensar que la mejor razón de rectangularidad para esta variedad y que proporciona los mayores rendimientos, estaría alrededor de la siembra equidistante de las plantas o razón de 1.5:1.

Análisis de la Varianza para la variable número de vainas/planta.

En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis de la varianza para el carácter número de vainas/planta, donde se observa que las poblaciones difieren significativamente ($\alpha = 0.05$), en cuanto a este carácter, mientras que las distribuciones espaciales no presentan diferencias significativas para dicha variable. Esto indica que las diferencias que se observan en la variedad en cuanto al número de vainas por planta, son debidas a efectos de la población de plantas y no a la forma como se dispusieron en el terreno.

TABLA 5. Análisis de Varianza para Número de Vainas/Planta.

Fuentes de Variación	G. de L.	S.C.	C.M.	F
Repeticiones	4	22.38	5.60	6.59*
Poblaciones	2	29.33	14.67	17.26**
E (a)	8	6.81	0.85	
Distribuciones/poblaciones	3	0.95	0.32	0.19 n.s.
Error (b)	12	20.39	1.70	
Total	29	79.46		

* Indica significación al nivel $\alpha = 0.05$; ** Indica significación al nivel $\alpha = 0.01$

De la Tabla 6 donde se muestran los promedios del rendimiento por planta y de los tres componentes para las poblaciones de plantas, se puede observar que la relación entre el número de vainas por planta y la población es inversa, aumentando el componente cuando se disminuye la población. Este comportamiento del cultivo es explicable ya que cuando la población de plantas disminuye, también lo hace la competencia entre ellas, lo que ocasiona que hayan mayores disponibilidades de factores de producción para la planta y por lo tanto, se obtendrían mayores valores de este componente.

TABLA 6. Promedios del Rendimiento/Planta y de los Componentes para Poblaciones.

Población (Plantas/Ha)	Rendimiento (g/planta) *	Número de vainas/planta *	Número de semillas/vaina *	Peso/semilla (g)
250.000	5.991 a	5.59 a	7.87 a	0.137 a
166.667	8.364 ab	6.88 ab	8.51 b	0.141 a
125.000	9.418 b	8.01 b	8.67 b	0.143 a

* Prueba de significación de Tukey. Los valores señalados con la misma letra no son significativamente diferentes a los otros al nivel $\alpha = 0.05$

De esta misma Tabla 6, se observó que la prueba de Tukey para las medias de las poblaciones, determinó que la diferencia detectada en el análisis de la varianza es debida a un mayor número de vainas/planta de la población de 125.000 plantas/Ha, en comparación con la población mayor de 250.000 plantas/Ha. La población intermedia de 166.667 plantas/Ha, se comportó como una población igual a las otras en cuanto a este carácter.

En la Tabla 7 se presentan los promedios de los tres componentes para las distribuciones de siembra, donde se obtiene que aún cuando las distribuciones no difieren significativamente en cuanto al número de vainas/planta, siempre la disposición espacial que tenía razón de rectangularidad cercana a la disposición cuadrada, tenía un número de vainas por planta mayor que su correspondiente disposición con una razón de 4:1 y mayor.

TABLA 7. Promedios del Rendimiento/Planta y de los Componentes para Distribución/Poblaciones.

Distribución población (cm x cm)	Razón de Rectangularidad	Rendimiento (g/planta)	Número de vainas/planta	Número de semillas/vaina	Peso/semillas (g)
20 x 20	1 : 1	6.166	5.64	0.145*	8.0
40 x 10	4 : 1	5.816	5.54	0.137	7.7
30 x 20	1.5 : 1	8.510	7.08	0.141*	8.09
60 x 10	6 : 1	8.313	6.68	0.138	8.5
40 x 20	2 : 1	9.966	8.12	0.145*	9.1
80 x 10	8 : 1	8.870	7.90	0.142*	8.0

* Prueba de M.D.S. indica significación al nivel $\alpha = 0.05$, en comparación con la otra distribución dentro de la misma población.

Análisis de la Varianza para la variable número de semillas por vaina

En la Tabla 8 se presentan los resultados correspondientes al análisis de la varianza para el carácter número de semillas/vaina. De esta tabla se observa que las poblaciones de plantas presentan diferencias significativas ($\alpha = 0.01$), en cuanto a esta variable, mientras que las distribuciones espaciales no difieren significativamente en este carácter.

TABLA 8. Análisis de la Varianza para Número de Semillas/Vaina.

Fuentes de Variación	G. de L.	S.C.	C.M.	F.
Repeticiones	4	1.87	0.47	3.78 n.s.
Poblaciones	2	3.58	1.79	14.46 **
E (a)	8	0.99	0.12	
Distribuciones/poblaciones	3	3.86	1.29	1.69 n.s.
E (b)	12	9.16	0.76	
Total	29	19.46		

Las pruebas de significación de las medias de las poblaciones para el número de semillas por vaina se presentan en la Tabla 6, donde se demuestra que el número de semillas/vaina obtenido utilizando poblaciones de 166.667 y 125.000 plantas/Ha, es significativamente mayor que el promedio de esta variable para la población de 250.000 plantas/Ha.

De acuerdo a los resultados obtenidos para este carácter, se obtiene una relación similar inversa con la población, que la relación obtenida para el número de vainas/planta.

De la Tabla 7 se observa, que aún cuando las distribuciones espaciales no difieren significativamente en el número de semillas por vaina, siempre es mayor este carácter a razones de rectangularidades cercanas a la disposición cuadrada, relación que fue obtenida también para el número de vainas/planta y las distribuciones espaciales.

Análisis de la Varianza para la variable peso/semilla.

En la Tabla 9 se muestran los resultados del análisis de la varianza para el peso/semilla, se obtiene que las poblaciones no difieren significativamente en cuanto a este componente, mientras que las distribuciones espaciales sí difieren significativamente dentro de cada población ($\alpha = 0.01$); así de la Tabla 7 se obtiene mediante la prueba de M.D.S. que todas las distribuciones de siembra cuya distancia entre las plantas en el hilo de siembra fue de 20 cm tuvieron un peso/semilla significativamente mayor que su correspondiente distribución dentro de cada población, con una distancia entre las plantas de 10 cm es decir, se produjo un peso/semilla mayor cuando la razón tendía hacia la disposición cuadrada.

TABLA 9. Análisis de la Varianza para Peso/Semilla.

Fuentes de Variación	G. de L.	S.C.	C.M.	F.
Repeticiones	4	0.00013	0.0000325	0.27 n.s.
Poblaciones	2	0.00018	0.0000920	0.76 n.s.
E (a)	8	0.00096	0.0001200	
Distribuciones/poblaciones	3	0.00030	0.0001000	41.52 **
E (b)	12	0.00029	0.0000024	
Total	29	0.00161		

** Indica significación al nivel $\alpha = 0.01$

Análisis de la Varianza para la variable rendimiento/planta.

En la Tabla 10, se presentan los resultados del análisis de la varianza para el rendimiento por planta, donde se obtuvo que las poblaciones difieren significativamente ($\alpha = 0.01$), en cuanto a este carácter, obteniéndose mediante la prueba de Tukey (Tabla 6) una relación exactamente igual que la encontrada entre vainas por planta y poblaciones.

TABLA 10. Análisis de Varianza para Rendimiento/Planta.

Fuentes de Variación	G. de L.	S.C.	C.M.	F.
Repeticiones	4	46.847	11.7118	4.3276 *
Poblaciones	2	61.261	30.6305	11.318 **
E (a)	8	21.6503	2.7063	
Distribución/población	3	3.6747	1.2249	0.311
E (b)	12	47.2594	33.9383	
Total	39	180.6924		

* Indica significación al nivel $\alpha = 0.05$; ** Indica significación al nivel $\alpha = 0.01$

De la misma Tabla 10 se observa que las distribuciones espaciales no difieren significativamente en cuanto a este carácter, observándose en la Tabla 7 que siempre el rendimiento/planta es mayor, cuando las plantas se disponían en forma equidistante o cercana a la disposición cuadrada.

De los resultados de estos análisis de varianza, se puede demostrar la relación de causa-efecto, entre los componentes y el rendimiento por planta, ya que para las poblaciones existen diferencias significativas en cuanto al número de vainas/planta y número de semillas/vaina, lo que provoca las diferencias significativas detectadas entre las poblaciones en sus rendimientos/planta.

En cuanto a las distribuciones espaciales se determinó que no existieron diferencias entre ellas en cuanto al rendimiento/planta, lo cual puede ser explicado debido a que no se detectaron diferencias entre las distribuciones para el número de vainas/planta y semillas/vaina.

Ahora bien, del análisis también se demuestra el efecto de las poblaciones por unidad de superficie, ya que las poblaciones más densas teniendo rendimientos/planta y componentes menores que la población menor estudiada, producen mayores rendimientos por unidad de superficie que la población menor, por efecto de una población de plantas que no presentó problemas críticos de competencia entre ellas. Además, el número de plantas fue el factor que provocó la detección de diferencias entre las distribuciones espaciales en cuanto al rendimiento/parcela ya que a nivel de rendimientos/planta, las distribuciones no diferían en este carácter.

Análisis de Correlación entre el rendimiento/planta y sus componentes para Poblaciones.

Los coeficientes de correlación calculados pueden verse en la Tabla 11. El rendimiento/planta presenta una correlación altamente significativa y positiva con los componentes número de vainas/planta y número de semillas/vaina para las tres poblaciones estudiadas, con un valor más alto del coeficiente para el número de vainas/planta; mientras que el carácter peso/semilla no está correlacionado con el rendimiento/planta en ninguna de las tres poblaciones estudiadas.

TABLA 11. Coeficientes de Correlación entre el Rendimiento y sus Componentes y entre los Componentes para Poblaciones .

C A R A C T E R	POBLACION (plantas/Ha)		
	250.000	166.667	125.000
Rendimiento con:			
Número de vainas/planta	0.7786**	0.8712**	0.8645**
Número de semillas/vaina	0.5436**	0.4066**	0.5275**
Peso/semilla	0.0055	- 0.0402	2.2077
Número de vainas/planta con:			
Número de semillas/vaina	0.0129	0.0887	0.1536
Peso/semilla	-0.1056	-0.2103	-0.1036
Número de semillas/vaina con:			
Peso/semilla	-0.2142	-0.0106	0.1625

** Indica significación al nivel $\alpha = 0.01$; $r_{0.05} = 0.250$; $r_{0.01} = 0.325$

Análisis de Correlación entre el rendimiento/planta y sus componentes para las distribuciones espaciales de siembra.

En la Tabla 12 se presentan los coeficientes de correlación calculados. De este análisis se obtiene una correlación de igual magnitud que para las poblaciones entre el rendimiento/planta y el número de vainas/planta para las distribuciones espaciales de siembra.

TABLA 12. Coeficientes de Correlación entre el rendimiento y sus Componentes y entre los Componentes para Distribuciones/Poblaciones.

Distribuciones espaciales (cm x cm)

C A R A C T E R	20 x 20	40 x 10	30 x 20	60 x 10	40 x 20	80 x 10
Rendimiento con:						
Número de vainas/planta	0.8282*	0.7940*	0.8774**	0.9055**	0.8751**	0.8758**
Número de semillas/vaina	0.6942**	0.3458	0.3267	0.5264**	0.5201**	0.5246**
Peso/semilla	-0.0564	0.1065	-0.1817	0.2106	0.1324	0.3434
Número de vainas/planta con:						
Número de semilla/vaina	0.3376	-0.2422	0.0636	0.1730	0.1822	0.1513
Peso/semilla	-0.1361	-0.0604	-0.2846	0.0279	-0.1640	0.0390
Número de semillas vaina con:						
Peso/semilla	-0.3392	0.0096	0.1073	0.1994	0.0544	0.3077

** Indica significación al nivel $\alpha = 0.01$; $r_{0,05} = 0,349$

Con respecto al número de semillas/vaina se observa que de los seis coeficientes de correlación calculados, existe una correlación positiva y altamente significativa con el rendimiento/planta solamente en cuatro distribuciones espaciales, no existiendo correlación entre el rendimiento/planta y este carácter para las distribuciones 40 x 10 y 30 x 20 (cm x cm).

El peso/semilla al igual que para poblaciones, tampoco estaba correlacionado con el rendimiento/planta en ninguna de las distribuciones espaciales.

Análisis de Correlación entre los componentes para poblaciones y distribuciones espaciales de siembra.

En las Tablas 11 y 12 se presentan los coeficientes de correlación calculados, donde se observa que entre los componentes no existe correlación en ninguna de las tres poblaciones estudiadas, obteniéndose la misma información para las distribuciones espaciales, o sea, la no existencia de correlación entre los componentes.

De aquí se desprende que los efectos de los componentes sobre el rendimiento, son independientes al no existir correlación entre ellos. De esta manera y mediante los análisis de correlación se demuestra, que de los caracteres estudiados el componente principal es el número de vainas/planta, ya que presenta una alta correlación con el rendimiento/planta para cualquier población y para cualquier distribución espacial de siembra, probadas en el trabajo para esta variedad.

El carácter número de semillas/vaina presenta también una relación con el rendimiento/planta, pero en un grado menor que el número de vainas/planta, ya que en dos distribuciones espaciales no presentó asociación con el rendimiento/planta.

De estas relaciones se podría pensar en la utilización de estos dos componentes como base, para construir índices de selección para lograr un mejoramiento genético de esta variedad.

Análisis de los coeficientes de trayectoria

En la Tabla 13 se presentan los resultados de los análisis de los coeficientes de trayectoria para las poblaciones, donde se muestran los efectos directos e indirectos de los componentes sobre el rendimiento.

En cuanto a las distribuciones espaciales se determinó que no existieron diferencias entre ellas en cuanto al rendimiento/planta, lo cual puede ser explicado debido a que no se detectaron diferencias entre las distribuciones para el número de vainas/planta y semillas/vaina.

Ahora bien, del análisis también se demuestra el efecto de las poblaciones por unidad de superficie, ya que las poblaciones más densas teniendo rendimientos/planta y componentes menores que la población menor estudiada, producen mayores rendimientos por unidad de superficie que la población menor, por efecto de una población de plantas que no presentó problemas críticos de competencia entre ellas. Además, el número de plantas fue el factor que provocó la detección de diferencias entre las distribuciones espaciales en cuanto al rendimiento/parcela ya que a nivel de rendimientos/planta, las distribuciones no diferían en este carácter.

Análisis de Correlación entre el rendimiento/planta y sus componentes para Poblaciones.

Los coeficientes de correlación calculados pueden verse en la Tabla 11. El rendimiento/planta presenta una correlación altamente significativa y positiva con los componentes número de vainas/planta y número de semillas/vaina para las tres poblaciones estudiadas, con un valor más alto del coeficiente para el número de vainas/planta; mientras que el carácter peso/semilla no está correlacionado con el rendimiento/planta en ninguna de las tres poblaciones estudiadas.

TABLA 11. Coeficientes de Correlación entre el Rendimiento y sus Componentes y entre los Componentes para Poblaciones .

C A R A C T E R	POBLACION (plantas/Ha)		
	250.000	166.667	125.000
Rendimiento con:			
Número de vainas/planta	0.7786**	0.8712**	0.8645**
Número de semillas/vaina	0.5436**	0.4066**	0.5275**
Peso/semilla	0.0055	- 0.0402	2.2077
Número de vainas/planta con:			
Número de semillas/vaina	0.0129	0.0887	0.1536
Peso/semilla	-0.1056	-0.2103	-0.1036
Número de semillas/vaina con:			
Peso/semilla	-0.2142	-0.0106	0.1625

** Indica significación al nivel $\alpha = 0.01$; $r_{0.05} = 0.250$; $r_{0.01} = 0.325$

Análisis de Correlación entre el rendimiento/planta y sus componentes para las distribuciones espaciales de siembra.

En la Tabla 12 se presentan los coeficientes de correlación calculados. De este análisis se obtiene una correlación de igual magnitud que para las poblaciones entre el rendimiento/planta y el número de vainas/planta para las distribuciones espaciales de siembra.

TABLA 12. Coeficientes de Correlación entre el rendimiento y sus Componentes y entre los Componentes para Distribuciones/Poblaciones.

Distribuciones espaciales (cm x cm)

C A R A C T E R	20 x 20	40 x 10	30 x 20	60 x 10	40 x 20	80 x 10
Rendimiento con:						
Número de vainas/planta	0.8282*	0.7940*	0.8774**	0.9055**	0.8751**	0.8758**
Número de semillas/vaina	0.6942**	0.3458	0.3267	0.5264**	0.5201**	0.5246**
Peso/semilla	-0.0564	0.1065	-0.1817	0.2106	0.1324	0.3434
Número de vainas/planta con:						
Número de semilla/vaina	0.3376	-0.2422	0.0636	0.1730	0.1822	0.1513
Peso/semilla	-0.1361	-0.0604	-0.2846	0.0279	-0.1640	0.0390
Número de semillas vaina con:						
Peso/semilla	-0.3392	0.0096	0.1073	0.1994	0.0544	0.3077

** Indica significación al nivel $\alpha = 0.01$; $r_{0,05} = 0,349$

Con respecto al número de semillas/vaina se observa que de los seis coeficientes de correlación calculados, existe una correlación positiva y altamente significativa con el rendimiento/planta solamente en cuatro distribuciones espaciales, no existiendo correlación entre el rendimiento/planta y este carácter para las distribuciones 40 x 10 y 30 x 20 (cm x cm).

El peso/semilla al igual que para poblaciones, tampoco estaba correlacionado con el rendimiento/planta en ninguna de las distribuciones espaciales.

Análisis de Correlación entre los componentes para poblaciones y distribuciones espaciales de siembra.

En las Tablas 11 y 12 se presentan los coeficientes de correlación calculados, donde se observa que entre los componentes no existe correlación en ninguna de las tres poblaciones estudiadas, obteniéndose la misma información para las distribuciones espaciales, o sea, la no existencia de correlación entre los componentes.

De aquí se desprende que los efectos de los componentes sobre el rendimiento, son independientes al no existir correlación entre ellos. De esta manera y mediante los análisis de correlación se demuestra, que de los caracteres estudiados el componente principal es el número de vainas/planta, ya que presenta una alta correlación con el rendimiento/planta para cualquier población y para cualquier distribución espacial de siembra, probadas en el trabajo para esta variedad.

El carácter número de semillas/vaina presenta también una relación con el rendimiento/planta, pero en un grado menor que el número de vainas/planta, ya que en dos distribuciones espaciales no presentó asociación con el rendimiento/planta.

De estas relaciones se podría pensar en la utilización de estos dos componentes como base, para construir índices de selección para lograr un mejoramiento genético de esta variedad.

Análisis de los coeficientes de trayectoria

En la Tabla 13 se presentan los resultados de los análisis de los coeficientes de trayectoria para las poblaciones, donde se muestran los efectos directos e indirectos de los componentes sobre el rendimiento.

TABLA 13. Análisis del Coeficiente de Trayectoria mostrando los Efectos Directos e Indirectos de los Componentes sobre el Rendimiento para Poblaciones.

COMPONENTES		POBLACIONES (Plantas/Ha)		
		250.000	166.667	125.000
Número de vainas/planta	r14	0.7786	0.8712	0.8645
Efecto directo	P14	0.7936	0.8727	0.8334
Efecto indirecto vía X2	(r12 P24)	0.0075	0.0293	0.0555
Efecto indirecto vía X3	(r13 P34)	-0.0225	-0.0309	-0.0244
Total		0.7786	0.8712	0.8645
Número de semillas/vaina	r24	0.5436	0.4066	0.5275
Efecto directo	P24	0.5791	0.3307	0.3612
Efecto indirecto vía X1	(r12 P14)	0.0102	0.0774	0.1281
Efecto indirecto vía X3	(r23 P34)	-0.0457	-0.0016	0.0382
Total		0.5436	0.4066	0.5275
Peso/semilla	r34	0.0055	-0.0402	0.2077
Efecto directo	P34	0.2133	0.1468	0.2353
Efecto indirecto vía X1	(r13 P14)	-0.0838	-0.1835	-0.0863
Efecto indirecto vía X2	(r23 P24)	-0.1240	-0.0035	0.0587
Total		0.0055	-0.0402	0.2077
Residual	P_{X_4}	0.2571	0.3333	0.0401

Como resultado del análisis se obtiene que el número de vainas/planta tiene un efecto directo apreciable y similar a la correlación total con el rendimiento para las tres poblaciones, demostrando esta similitud entre el coeficiente de trayectoria y el coeficiente de correlación, que los efectos indirectos de este componente sobre el rendimiento a través de los otros, no son de gran importancia, ratificando el hecho de poder utilizar a este componente como base para construir índices de selección.

De la Tabla 13 se observa, que en esta variedad el efecto indirecto de este componente a través del número de semillas/vaina es positivo para las tres poblaciones, lo cual aumenta su importancia, mientras que el efecto indirecto a través del peso/semillas es negativo, pero muy pequeño como para ser considerado de importancia.

Con respecto al número de semillas/vaina el efecto directo es menor que el del número de vainas/planta y solamente varía muy poco en relación al coeficiente de correlación para la población más alta; mientras que para las otras dos poblaciones, existen diferencias entre el coeficiente de trayectoria y el coeficiente de correlación pero, esta diferencia podría serle de mucha utilidad al fitomejorador, ya que se manifiesta por un efecto indirecto apreciable a través del número de vainas/planta, positivo sobre el rendimiento el cual va haciéndose más apreciable cuando se va disminuyendo la población.

El efecto indirecto de este carácter a través del peso promedio de las semillas va disminuyendo en la medida en que la población también disminuye, partiendo de valores negativos pequeños en la población mayor hasta convertirse en positivo para la población menor.

En relación al peso promedio de las semillas, el efecto directo sobre el rendimiento es pequeño y varía mucho en relación al coeficiente de correlación para las dos poblaciones mayores; los efectos indirectos vía los otros dos componentes también van disminuyendo en la medida en que la población disminuye.

Por último observándose el valor que tiene los efectos residuales directos sobre el rendimien-

to para las tres poblaciones, se nota que el menor valor se presenta para la población menor (0.0401), demostrándose que el modelo fijado funcionaría mejor en esta variedad para esta población que para el resto de las poblaciones estudiadas.

El análisis anterior no indica que el modelo no funciona para las otras poblaciones, ya que se demostró que el número de vainas/planta y el número de semillas/vaina tuvieron efectos directos apreciables y fueron estables en cuanto a sus contribuciones sobre el rendimiento y a las correlaciones con él, en todo caso los factores residuales estarían afectando al peso/semilla que sería un carácter no muy confiable, como para ser incluido en un programa como base para construir índices de selección.

Queda demostrada la factibilidad que tienen los componentes número de vaina/planta y número de semillas/vaina, como criterios para construir índices de selección en el mejoramiento genético de esta variedad y se demuestra que la separación y evaluación de los efectos directos e indirectos de los componentes y un mejor estudio del modelo, es posible en la medida en que el trabajo de selección se realice a poblaciones de plantas alrededor de 125.000 plantas/Hectárea.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 - El número de vainas por planta y el número de semillas por vaina estaban correlacionadas positivamente con el rendimiento por planta de esta variedad, mientras que el peso de las semillas no lo estaba.
- 2 - Los componentes arriba citados son lo más importantes en la expresión del rendimiento, con efectos directos apreciables sobre él.
- 3 - El número de vainas por planta y el número de semillas por vaina, podrían ser utilizados como indicadores para construir índices de selección en el mejoramiento genético de esta variedad.
- 4 - La distribución espacial de siembra equidistante o cercana a la disposición cuadrada, produjeron en esta variedad rendimiento en semilla, número de vainas por planta, número de semillas por vaina y rendimiento por planta, superiores que cuando se sembró a razones de rectangularidades de 4:1 y mayor. Esta relación se presentó cuando las plantas se sembraban a 20 cm entre ellas (distribución equidistante o cercana a ella), la cual fue superior en los caracteres mencionados que la distancia de 10 cm entre las plantas.
- 5 - Las poblaciones de 250.000 y 166.667 plantas/Ha produjeron en esta variedad rendimientos en semilla significativamente superiores que la población de 125.000 plantas/Ha.

Recomendaciones

- 1 - Se recomienda la utilización del análisis de los coeficientes de trayectoria en aquellos trabajos que utilizan dentro de su metodología, el análisis de correlación.
- 2 - Se recomienda la repetición de este trabajo tanto para las variedades de este cultivo, como para otras leguminosas de semillas, con especial énfasis en el estudio de las distribuciones equidistante de las plantas y en la factibilidad de la adopción de este sistema de siembra en la disposición de las plantas en las parcelas de selección.

LITERATURA CITADA

1. ARYEETAY, A.N.; LAING, E. Inheritance of the yield components and their correlations with yield in cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Euphytica*, 22 (2): 386-392., 1973.
2. BAPNA, C.S.; JOSHI, S.N. A study on variability following hibridization in *Vigna sinensis* (L.) Savi. *Madras Agricultural Journal*, 60 (9/12): 1369-1372. 1973 (en *Plant Breeding Abstracts*, 45(6): 399., 1975).
3. BLISS, F. A.; BARKER, L.N.; FRANCKOWIAK, J.D.; HALL, T. C. Genetic and environmental variation of seed yield, yield components, and seed protein quantity and quality for cowpea. *Crop Science*, 13 (6): 656-660., 1973.

4. DEWEY, D. R.; LU, K. H. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agronomy Journal*. 51: 515-518., 1959.
5. HAIZEL, K. A. The effects of plant density on the growth, development and grain yield of two varieties of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Journal of Agricultural Science*. 5(3): 163-171., 1972.
6. JANORIA, M. P.; ALI, M.A. Correlation and regression studies in cowpeas. *JNKVV (Research Journal)*, 4 (1/2): 15-19. 1970. (en *Plant Breeding Abstracts*, 42:784., 1972).
7. KHERADNAM, M.; NIKNEJAD, M. Heritability estimates and correlations of agronomic characters in cowpea, *Vigna sinensis* (L.) J. *Agricultural Science Cambridge*. 82: 207-208. 1974.
8. MACK, H. J.; HATCH, D. L. Effects of plant arrangement and population density on yield of bush snap beans. *Proceeding of American Society for Horticultural Science*. 92: 418-425., 1968.
9. OJEHOMON, O.O.; BAMIDURO, T. A. The effects of plant density and pattern of plant arrangement, on cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., using parallel row systematic, spacing design. *Nigerian Agricultural Journal*, 8 (1): 9-11. 1971. (en *Tropical Abstracts*, 28 (6): 430., 1973).
10. PATEL, O.P. Correlation studies in cowpea, *Vigna sinensis* (L.). *JNKVV Research Journal*, 7 (1): 60-61 1973. (en *Plant Breeding Abstracts*, 43 (10): 681. 1973).
11. SINGH, K. B.; MEHNDIRATTA, P. D. Path analysis and selection indices for cowpea. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 30 (2): 471-475., 1970.
12. WRIGHT, S. Path coefficients and path regression: alternative or complementary concepts. *Biometrics*, 16:189-202. 1960.