CIAT
Centro Internacional de Agricultura Tropical
8112 c.2
COLECCION HISTORICA

SEMINARIOS INTERNOS

BIBLIOTECA
12 JUL 1977
4401

Serie SE-06-77

S E M I N A R I O D E L C I A T

MEJORAMIENTO GENETICO DE YUCA PARA PRODUCTIVIDAD

Kazuo Kawano

CIAT
COLECCION HISTORICA

Clasificación de cultivos por métodos de mejoramiento genético.

1. Cultivos de propagación vegetativa. Yuca, camote, papa, caña de azúcar y pastos como Brachyaria, pertenecen a este grupo. La propagación vegetativa tiene enorme ventaja en manejo de mejoramiento genético porque es posible de multiplicar cualquier tipo genético una vez que el fitomejorador lo encuentre. Usualmente los cultivos que pertenecen a este grupo son altamente heterosigotos y esta heterosigosidad se mantiene facilmente por propagación vegetativa. Siendo la heterosigosidad la característica de la planta, el fitomejorador usualmente no tiene necesidad de preocuparse por heterosis. Tales factores como la incapacidad de las plantas para reproducirse sexualmente o cros-incopatibilidad, ocasionalmente pueden ser un factor negativo de este grupo de cultivos para mejoramiento genético. En general, este grupo de cultivos se considera el más fácil en cuanto a método de mejoramiento.

2. Cultivos de propagación sexual por auto-fecundación. Arroz, trigo, frijol y soya son los representativos de este grupo. El manejo genético de estos cultivos es relativamente fácil porque las plantas se autofecundan por su cuenta. Sin embargo, el fitomejorador tiene que esperar 7 o 8 generaciones antes de que él pueda multiplicar algunos buenos materiales sin cambiar su constitución genética porque las plantas de F_1, F_2, F_3, etc. siempre segregan, reproduciendose los hijos geneticamente distintos. Sin embargo, este grupo de cultivos se considera relativamente fácil en cuanto a metodología de mejoramiento.

3. Cultivos de propagación sexual por polinización cruzada de capacidad de propagación vegetativa. Varias especies de forrajes pertenecen a este grupo. Las plantas que pertenecen a este grupo tienen tendencia de ser extremadamente susceptibles a "inbreeding depression". Porque casi cualquier forma de propagación sexual tiene tendencia hacia "inbreeding", uno de los factores criticos en manejo genético de estos cultivos es mantener suficiente nivel de heterosigosidad. Se necesita un programa separado para producción de semillas comerciales y se requiere mantener más de 2 genotipos para cada variedad recomendada. La capacidad de propagación vetativa del cultivo ayuda mucho al fitomejorador a mantener los genotipos de padres sin cambiar su constitución genética. Sin embargo, todo el esquema de trabajo es más complicado en comparación con los grupos 1 y 2.

4. Cultivos de propagación sexual por polinización cruzada sin capacidad de propagación vegetativa. Maíz es un representativo de este grupo. Los cultivos de este grupo son en general, sumamente sensitivos a "inbreding depression" por eso, las semillas comerciales tienen que ser hibri-

dos. Para producir una gran cantidad de semillas hibridas hay que mantener más de 2 genotipos como padres. Las plantas no pueden propagarse vegetativamente y son susceptibles a "inbreeding". Como consecuencia, el mantenimiento de los padres para producción de semillas hibridas es bastante trabajoso. Es decir, se necesita otro programa para mantenimiento de los padres que se usan en programas de producción de semillas hibridas. El método de mejoramiento para estos cultivos se considera el más complicado.

CLASIFICACION DE CULTIVOS POR FACTORES FISIOLOGICOS QUE AFECTAN RENDIMIENTO.

1. Pastos y forrajes. En estos cultivos, un 90% (de biomas) del total de la planta constituye el rendimiento. El fitomejorador tiene que preocuparse de un solo factor fundamental que es la producción total de la planta, aunque siempre hay otros factores importantes tales como contenido de proteína, minerales, etc.

2. Raíces y tuberosas. Yuca, camote y papa; aunque caña de azúcar no es raíz ni tuberosa, pertenece a este grupo. En estos cultivos, la producción total de la planta y distribución de este producto a la parte de rendimiento (en caso de yuca, raíz) son los dos factores fundamentales para el rendimiento. Las plantas pueden llenar el rendimiento (en caso de yuca, raíz) a largo plazo y no hay época critica para la formación del rendimiento. Usualmente la parte económica queda en la parte baja de la planta, por eso no hay peligro de perder rendimiento por volcamiento. Las plantas tienen mucha flexibilidad en la formación de rendimiento. Para el fitomejorador, este grupo de cultivos es un poco más complicado que pastos y forrajes.

3. Cereales. Arroz, trigo y maíz son los representativos de este grupo. Estos cultivos son similares al grupo de raíces y tuberosas en que la producción total y su distribución son los factores fundamentales para la formación de rendimiento. Sin embargo, hay épocas criticas para la formación de rendimiento, enfermedades e insectos o bajas temperaturas, pueden causar una pérdida completa. Por ejemplo, en arroz, las bajas temperaturas durante el período de meiosis o un ataque de Piricularia a cuellos de panojas pueden causar una pérdida completa. Además, hay una época para determinar el nivel máximo de rendimiento (época antes de floración, determinación de número total de espiguillas) y otra época después para tratar de alcanzar este nivel (época después de floración; llenado de los granos). El rendimiento queda en la parte superior de la planta, por eso, hay peligro de volcamiento cuando las plantas tratan de alcanzar un rendimiento demasiado alto. Por consecuencia de estos factores, las plantas tienen muy poca flexibilidad para la formación de rendimiento.

El fitomejorador tiene que pensar en la balanza muy delicada entre numerosos organos de la planta. Habiendo tantas épocas criticas, hay correspondiente número de enfermedades e insectos que afectan el rendimiento. Habiendo tantos factores que el fitomejorador tiene que pensar simultaneamente, se duplica la complexidad del trabajo de mejoramiento.

4. Granos leguminosos. Frijol y soya son los representantes de este grupo. El rendimiento de estos cultivos se compone de proteína y carbohidrato. Además de todos los factores de los cuales el fitomejorador de cereales tiene que preocuparse, se suma la balanza entre proteína y carbohidratos. El número de factores fisiológicos y enfermedades e insectos es

el más alto en estos cultivos. Por consiguiente, el trabajo de fitomejoramiento es más complicado en estos cultivos.

MI DEFINICION DE MEJORAMIENTO GENETICO DE CULTIVOS

"Un acto de alcanzar el nivel máximo de productividad atraves de la modificación genética de la planta y para luego defender este alto nivel de productividad de los factores negativos".

La historia de mejoramiento genético de casi cualquier cultivo de mayor importancia comienza con la modificación del tipo de planta. Cuando alcanza a cierto nivel de rendimiento, ya no se puede esperar un aumento espectacular de rendimiento y por lo tanto el énfasis de trabajo se mueve hacia la resistencia a enfermedades e insectos. Trigo, maíz y papa en EU y Europa, y arroz en Japón alcanzaron cierto nivel de rendimiento hace veinte años y la primera importancia de trabajo de fitomejoramiento en estos países pasó a resistencia a enfermedades e insectos. Trigo y arroz en tierra con riego en el trópico alcanzaron un nivel máximo de rendimiento hace diez años y el énfasis de trabajo pasó a las resistencias.

Cuanto más sean los factores fisiológicos que afectan el rendimiento, más tiempo se demora para alcanzar el nivel máximo. Según esta teoría, no deberia demorar mucho el mejoramiento de yuca para alcanzar el nivel máximo.

OBJETIVO DE MEJORAMIENTO GENETICO DE YUCA

Obtener nuevos genotipos que den el más alto rendimiento de caloría por unidad de área, por unidad de tiempo, bajo diversas condiciones ambientales.

1. Por su uso

   a. Para consumo humano.

   b. Para consumo de animales.

   c. Para producción de almidón y alcohol.

2. Por área ecológica

   a. Seleccionar genotipos que den mejor rendimiento en los trópicos bajos donde se siembra yuca corrientemente.

   b. Seleccionar genotipos para obtener una eficiente producción de calorías en las áreas savanna de oxisoles que no se utilizan en este momento.

   c. Seleccionar genotipos adaptados a las zonas de bajas temperaturas.

CARACTERISTICAS BIOLOGICAS DE LA YUCA RELACIONADAS CON EL TRABAJO DE FITOMEJORAMIENTO.

El número de chromosomas de yuca (Manihot esculenta) es 36 y la especie generalmente se considera como "allotetraploid". M. esculenta es una especie altamente heterosigota mantenida facilmente atraves de propagación vegetativa. Polinización cruzada y auto-polinización ocurren naturalmente. La proporción de polinización cruzada en una cierta población depende del hábito de floración de los genotipos y la colocación física de la población. La yuca es una especie monoecia con el estigma y las anteras colocadas separadamente en diferentes flores dentro de la misma planta. Las flores femeninas y masculinas que estan en la misma rama, nunca se abren al mismo tiempo, sin embargo, es comun que las flores femeninas y

masculinas de las diferentes ramas se abran al mismo tiempo.

No hay ningun mecanismo fisiológico o genético para impedir autofecundaciones. Sin embargo, fuerte "inbreeding depression" se presenta en la mayoría de genotipos y en la mayoría de los casos las plantas procedentes de autofecundación no sirven para nada. Esta fuerte "inbreeding depression", además de propagación vegetativa, es el principal mecanismo biológico por el cual la alta heterosigocidad de la especie se mantiene. Se encuentra con alta frecuencia macho-estéril y esto es muy efectivo en prevenir auto-polinizaciones.

VARIACION GENETICA Y SELECCION

1. Germoplasma. La yuca se originó y completo la mayoría de su diversificación en el continente latinoamericano. Esto significa que la mayor variación genética existe en este continente. En el CIAT, existe una colección de unos 2.400 cultivares de yuca que se han coleccionado de todos los sitios de latinoamerica. Algunos de estos cultivares tienen alta capacidad de rendimiento y otros tienen resistencia a cierta clase de enfermedades e insectos. Hasta ahora, hemos encontrado fuentes de resistencia a la mayoría de las enfermedades e insectos que tienen alta importancia en producción. Sin embargo, no se ha encontrado ningún cultivar en esta colección que contenga todas las características deseables para que el CIAT pueda recomendarla como una nueva variedad de yuca. Por lo tanto, para combinar varias características deseables en una nueva variedad hay necesidad de hacer miles de hibridaciones para producir nuevos genotipos y luego seleccionar.

2. Selección de padres para hibridaciones. Existe muy buena correlación entre los valores de padres y sus hijos (hibridos F_1) en tales características como indice de cosecha (Fig. 1), contenido de materia seca en la raíz (Fig. 2) y el grado de pudrición de raíz (Fig. 3). La correlación en rendimiento de raíz es un poco baja (Fig. 4) comparado con las características mencionadas anteriormente. Sin embargo, esto no causa mucho problema porque el indice de cosecha es aún más importante que el rendimiento cuando las plantas estan evaluadas en base a una planta individual o a una sola hilera en el campo en lugar de la población (ver sección más tarde). Además la resistencia a tales enfermedades como bacteriosis (CBB) y Cercospora se transmite relativamente fácil a las progenies cuando los genotipos con resistencia estan incluidos en las hibridaciones.

Estos datos sugieren que en yuca muchas de las características importantes son altamente heredables y el efecto de genes aditivos es muy significativo. La propagación vegetativa del cultivo y el modo aditivo de herencia en las características importantes sugieren que el esquema de hibridación y selección puede ser bastante sencillo. Identificación de buenos padres y eficiente "screening" de las decendencias son factores más importantes que los detalles de metodología. Practicamente el fitomejorador debe incluir cualquier genotipo que tenga alguna característica deseable en su plan de hibridaciones. Acumular genes favorables sin provocar "inbreeding depression" es casi el único punto critico sobre el cual el fitomejorador tiene que tener mucho cuidado.

Solamente cuando se sabe que las características buscadas estan controladas por un gene recesivo, todo el plan de trabajo se hace bastante complicado. Pero esto es una posibilidad muy remota en este momento.

3. Selección en plantulas ("seedling"). Las plantas que vienen directamente de semillas sexuales (plantulas) tienen apariencia muy distinta de las plantas provenientes de estacas por lo menos durante los primeros tres meses de siembra. Después de tres meses, las plantulas comienzan a tener una apariencia en la parte de arriba del suelo muy similar a las plantas sembradas con estacas, sin embargo, la colocación de raíces en las plantulas es siempre muy diferente de las plantas sembradas con estacas.

Afortunadamente, la correlación entre los datos de las plantulas y los datos de los mismos genotipos sembrados con estacas es muy alta en las características importantes tales como rendimiento de raíz, peso total de planta e indice de cosecha (Fig. 5). Esto indica claramente que la selección con plantulas es sumamente efectivo.

4. Selección en pruebas de hileras y de poblaciones. Las plantulas seleccionadas en el campo pasan inmediatamente a la prueba en hileras que consiste en una sola hilera o caballon para cada linea seleccionada ("Campo de observación" en el CIAT). Usualmente se siembran cinco plantas por caballon. Las lineas sobresalientes de esta prueba pasan a la prueba de población ("Ensayo de rendimiento" en CIAT) usualmente se siembran 30 plantas por linea genética con un mínimo de 2 replicaciones.

Los rendimientos obtenidos en la prueba de hileras son completamente diferentes de los rendimientos obtenidos en la prueba de población y no hay ninguna correlación entre estas dos pruebas (Fig. 6). Porque los datos de rendimiento que tienen valor son los datos obtenidos en condiciones de población, los datos de rendimiento en las pruebas de hileras casi no significan nada. En cambio, los valores de indice de cosecha obtenidos en la

prueba de hilera estan altamente correlacionados a los de la prueba de población (Fig. 7). En las pruebas de población, indice de cosecha esta altamente correlacionado con los rendimientos (Fig.8). En consecuencia, en pruebas de hileras, indice de cosecha es mejor indicador que el rendimiento en sí mismo, para rendimiento real (Fig. 9). Esto ocurre como consecuencia de la competencia entre genotipos; los genotipos con alto vigor y bajo indice de cosecha siempre puede dar mayor rendimiento en campo de plantulas o en prueba de hilera ocupando los espacios que pertenecen a otros genotipos. Sin embargo, estos genotipos no pueden rendir bien en condición de población.

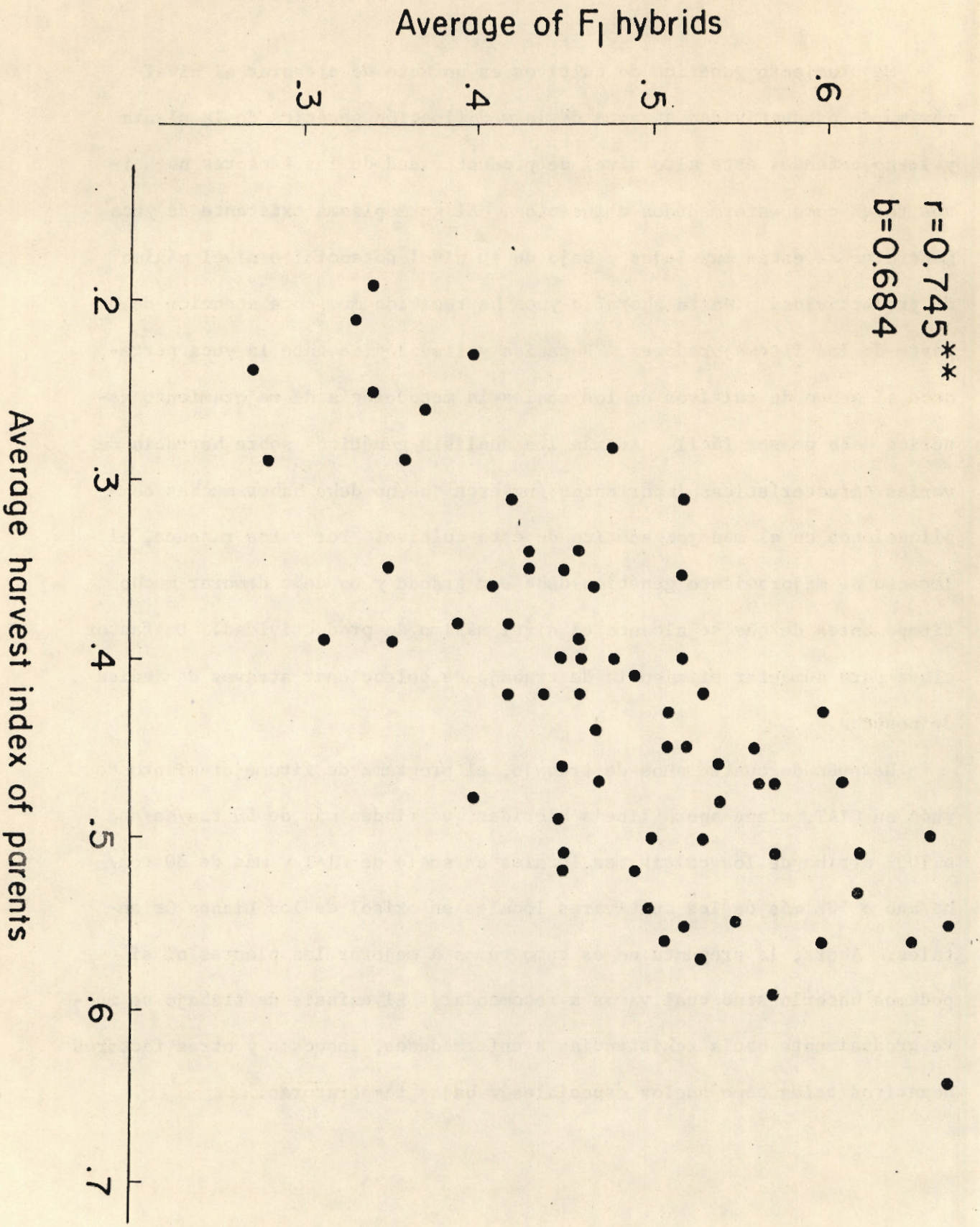
Indice de cosecha es un indicador de balanza entre producción total de la planta y su distribución a la raíz, es altamente heredable (Fig. 1) y existe enorme variación genética entre las variedades sembradas en los campos de agricultura. Indice de cosecha es la mejor característica para usar como un indicador durante la selección de padres para cruzamiento y las selecciones en campos de plantulas y de pruebas de hileras. Nuestro objetivo de selección en este momento es seleccionar las plantas que tienen más de 0.60 de indice de cosecha en los campos de plantulas y pruebas de hileras.

CONCLUSIONES

Mejoramiento genético de cultivos es un acto de alcanzar el nivel máximo de productividad atraves de la modificación genética de la planta y luego defender este alto nivel de productividad de los factores negativos tales como enfermedades e insectos. El germoplasma existente de yuca generalmente estan muy lejos y bajo de su nivel potencial o nivel máximo de productividad. Hasta ahora la yuca ha recibido muy poca atención de parte de los fitomejoradores. Botanica y fisiológicamente la yuca pertenece al grupo de cultivos en los cuales la metodología de mejoramiento genético debe de ser fácil. Además los analisis genéticos sobre herencia de varias características importantes sugieren que no debe haber muchas complicaciones en el manejo genético de este cultivo. Por estas razones, el impacto de mejoramiento genético debe ser grande y no debe demorar mucho tiempo antes de que se alcance el nivel máximo de productividad. Un factor clave para aumentar eficiencia de trabajo es seleccionar atraves de indice de cosecha.

Después de cuatro años de trabajo, el programa de fitomejoramiento de yuca en CIAT, tiene ahora lineas hibridas que rinden más de 50 ton/ha/año o 100% arriba de los cultivares locales en suelo de CIAT y más de 30 ton/ha/año o 50% más de los cultivares locales en oxisol de los Llanos Orientales. Ahora, la pregunta no es como vamos a mejorar las plantas ni sí podemos hacerlo sino cual vamos a recomendar. El enfasis de trabajo se mueve gradualmente hacia resistencias a enfermedades, insectos y otros factores negativos tales como suelos especiales y bajas temperaturas.

Fig. 1. Relación entre los padres y sus hijos en indíce de cosecha.



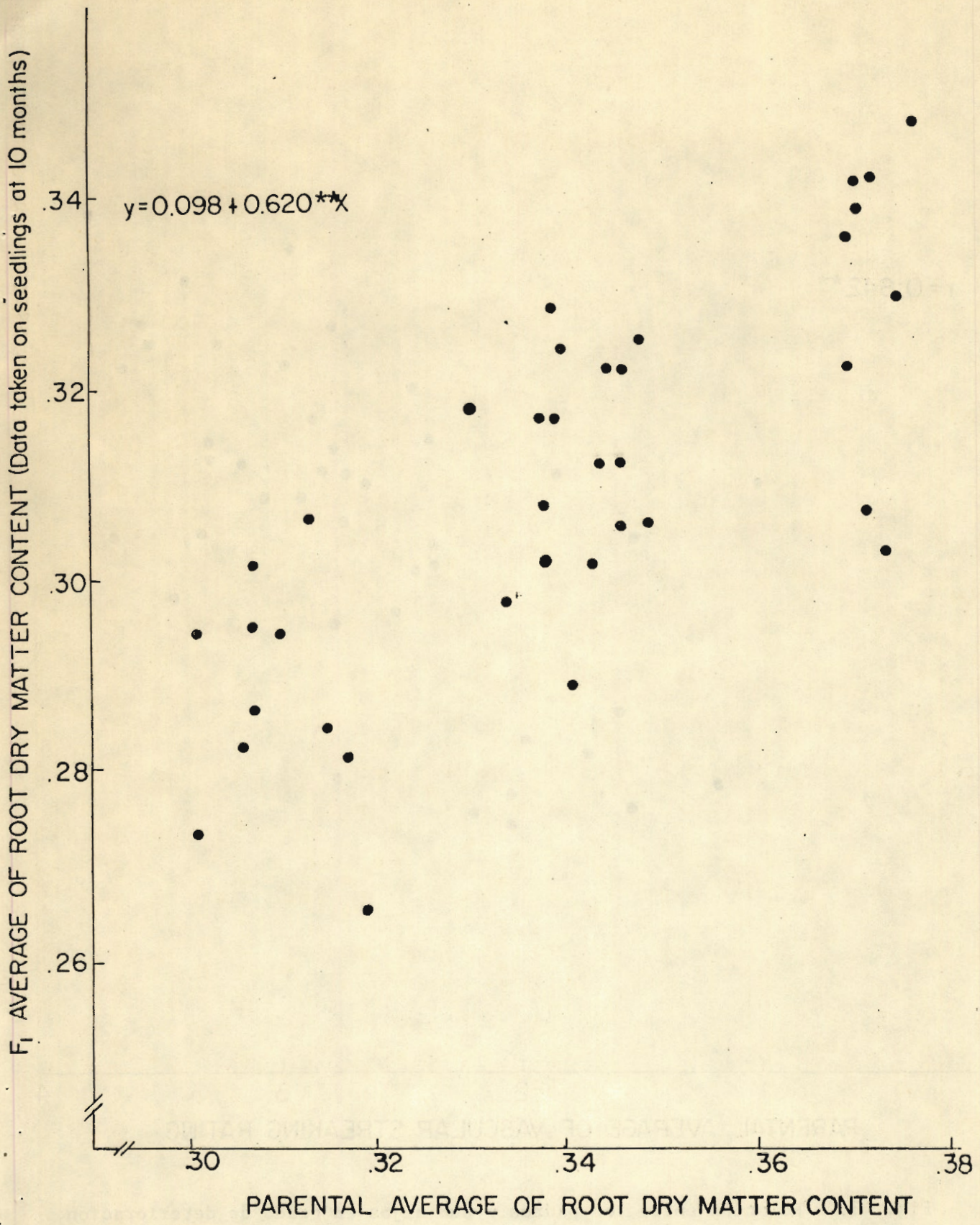


Fig. 2. Relación entre los padres y sus hijos en contenido de materia seca.

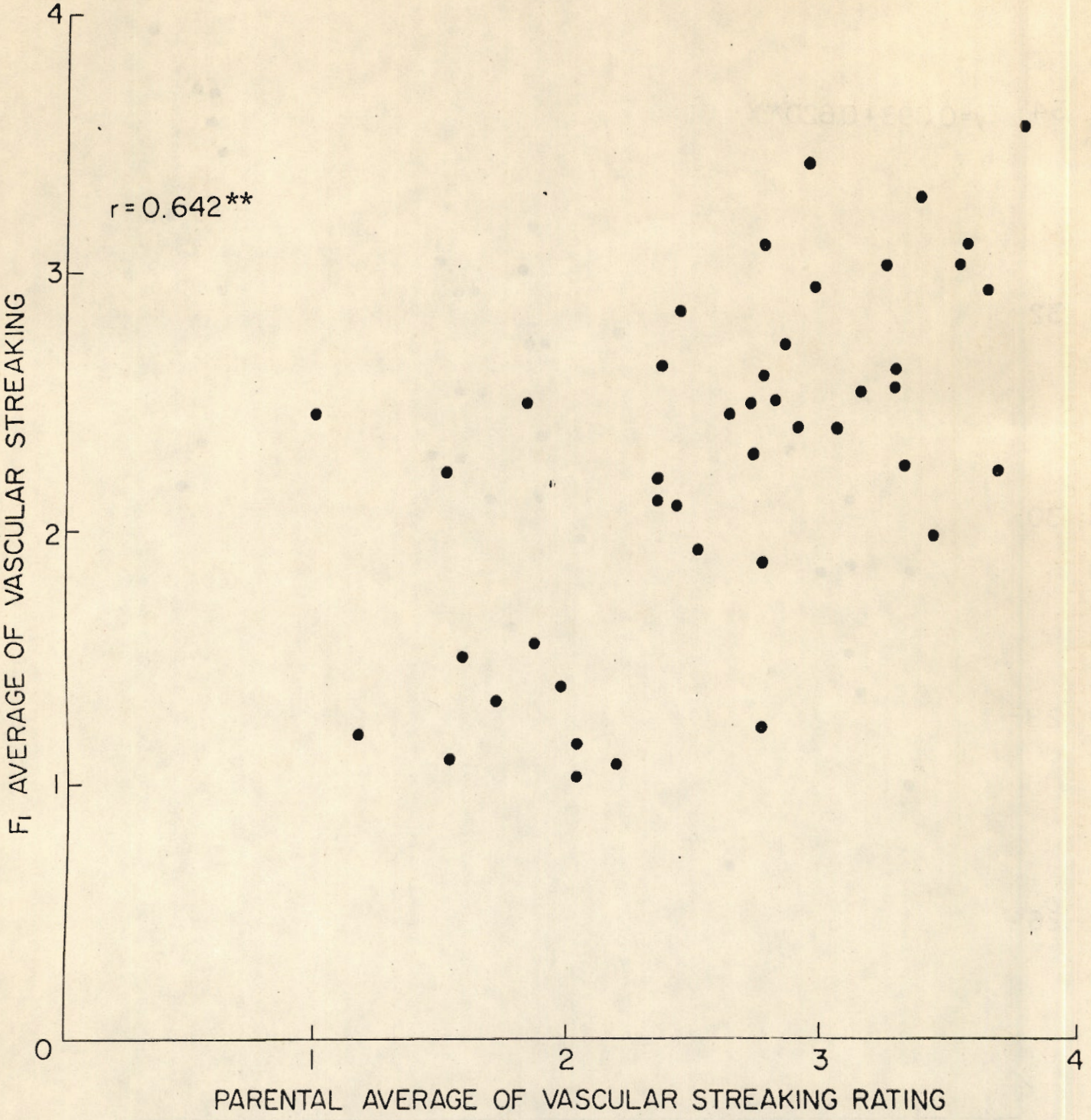


Fig. 3. Relación entre los padres y sus hijos en grado de deterioración de raíz.

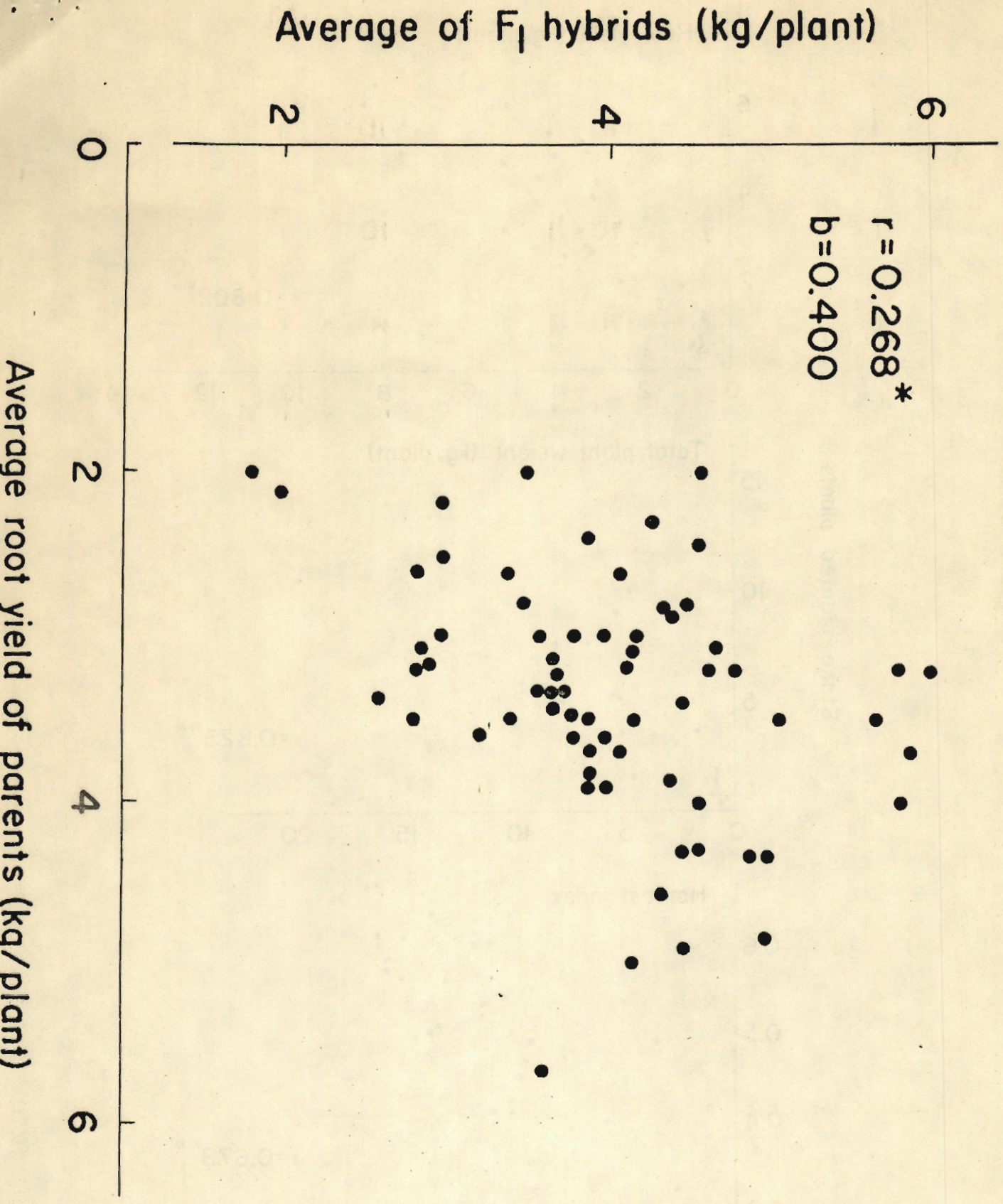


Fig. 4. Relación entre los padres y sus hijos en rendimiento de raíz (datos de prueba de hilera).

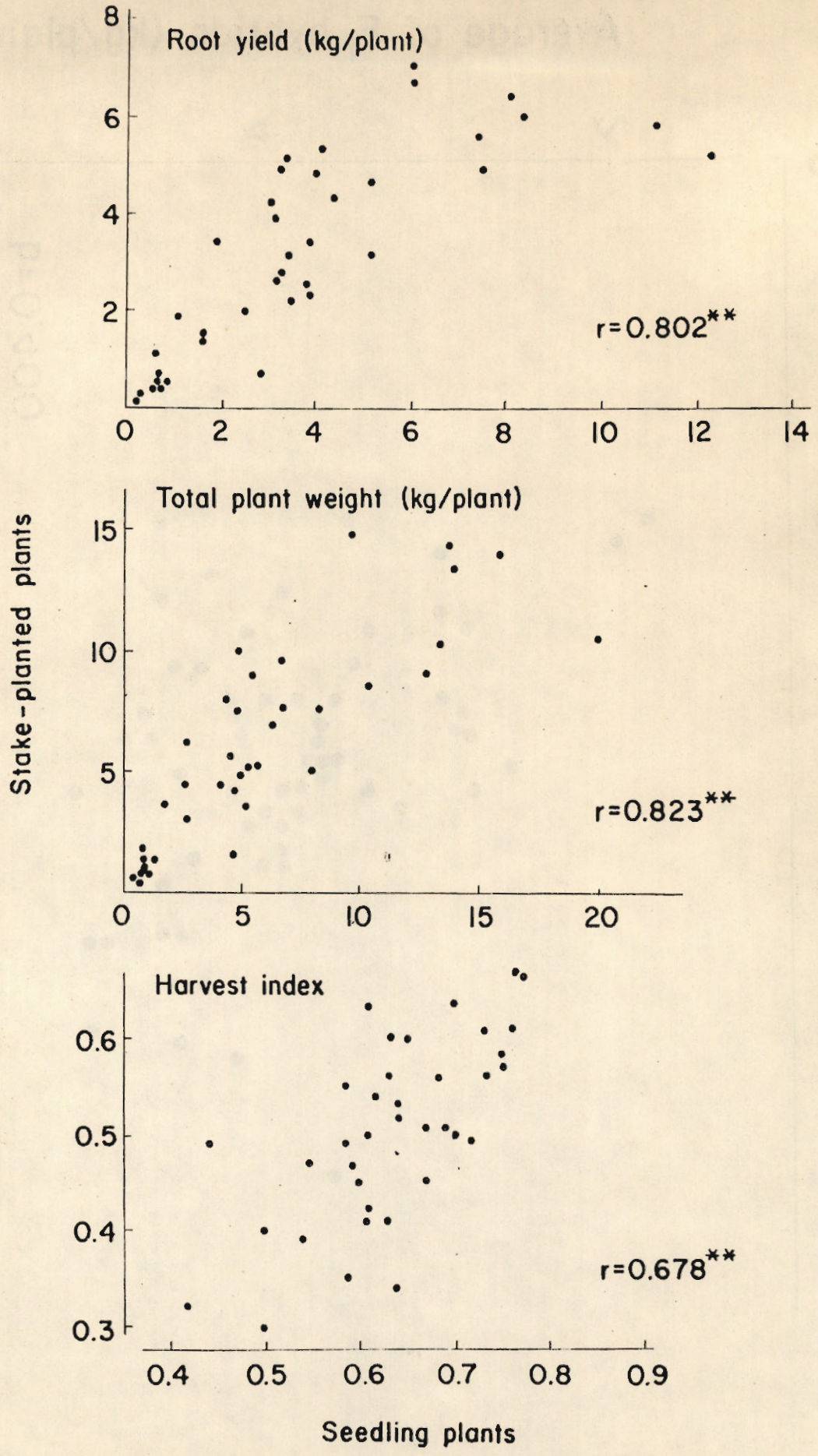


Fig. 5. Relación entre datos de "seedling" y de los mismos genotipos plantados con estacas.

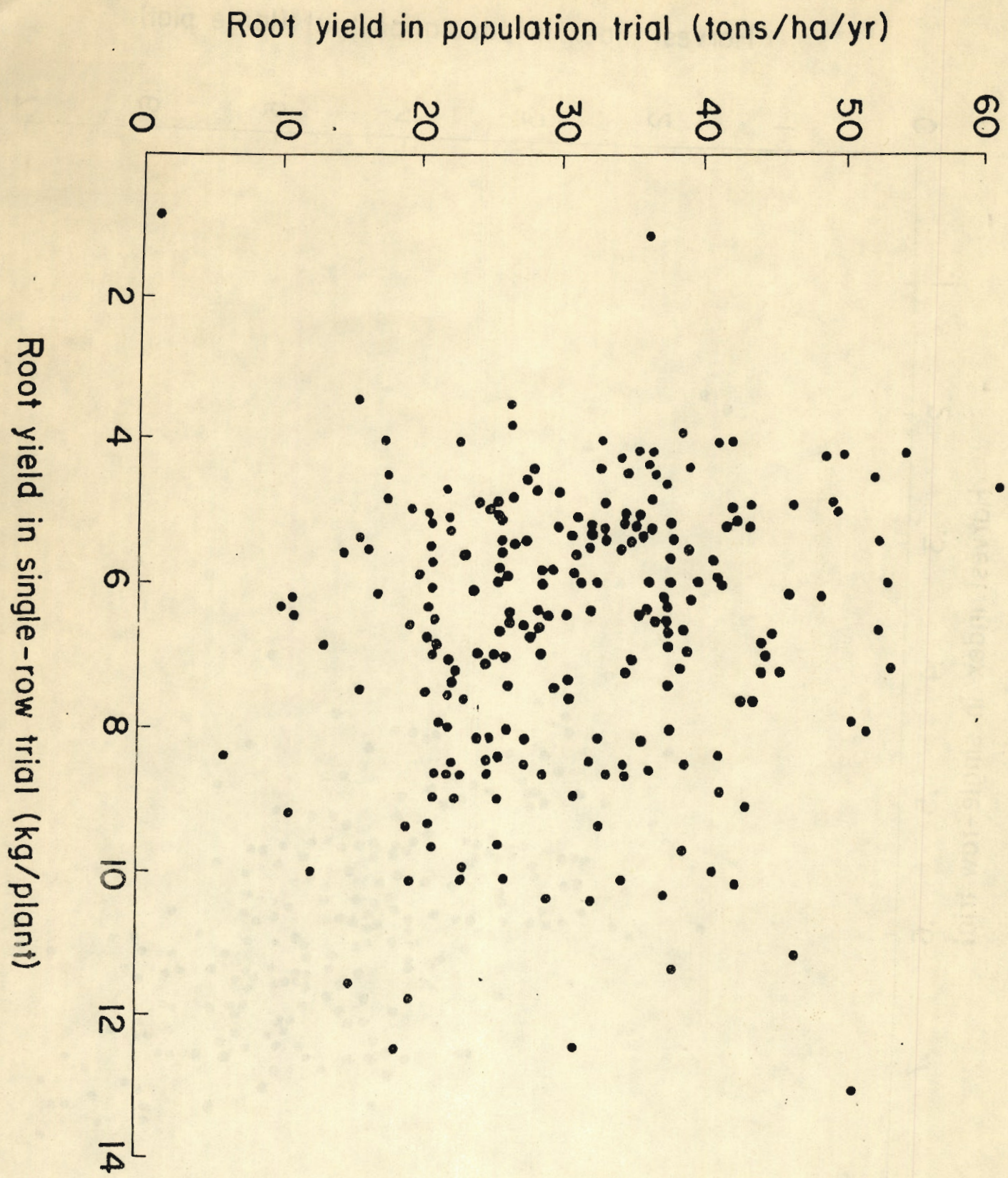


Fig. 6. Relación entre rendimiento de prueba de hilera y de población.

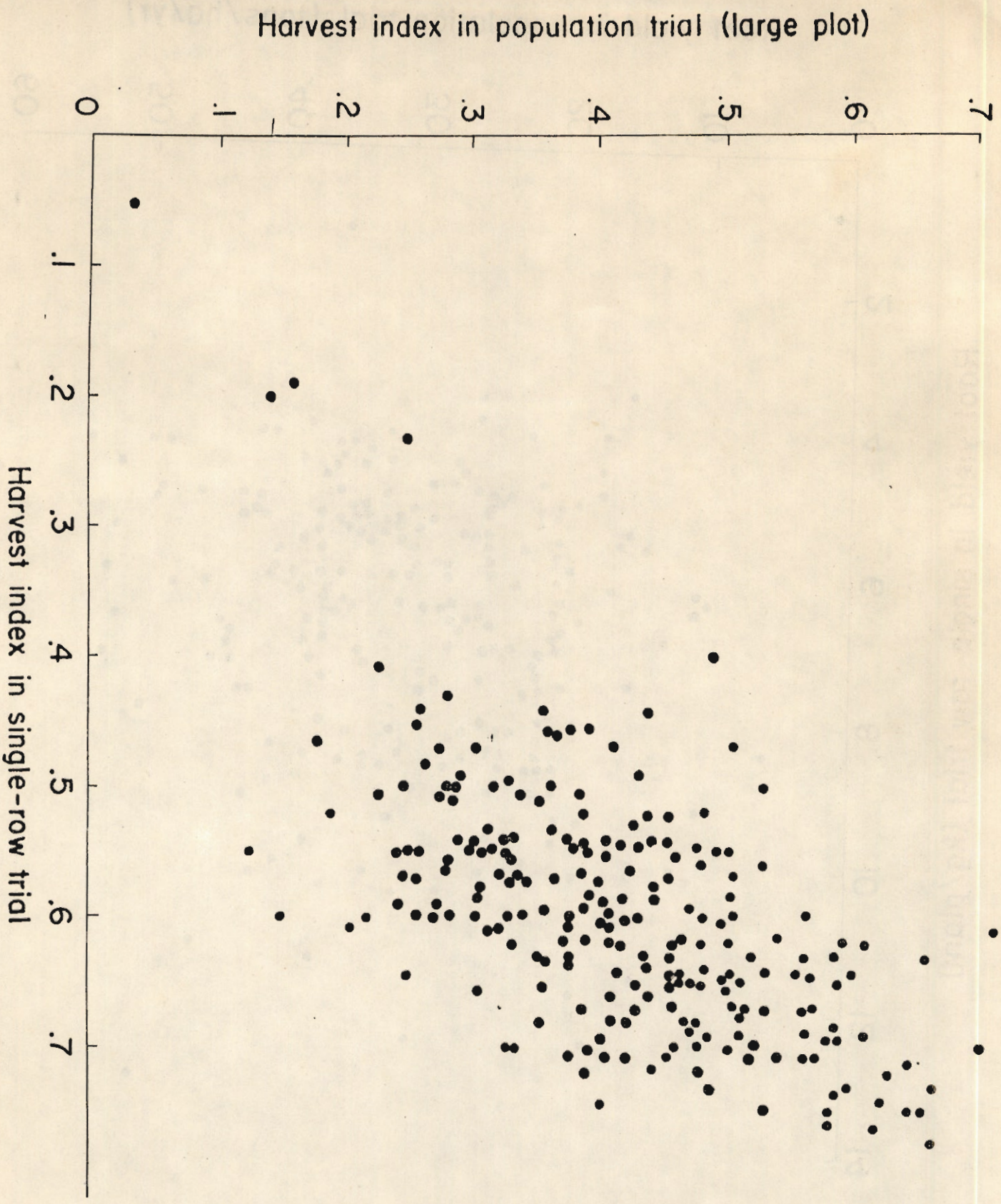


Fig. 7. Relación entre índices de cosecha de prueba de hilera y de población.

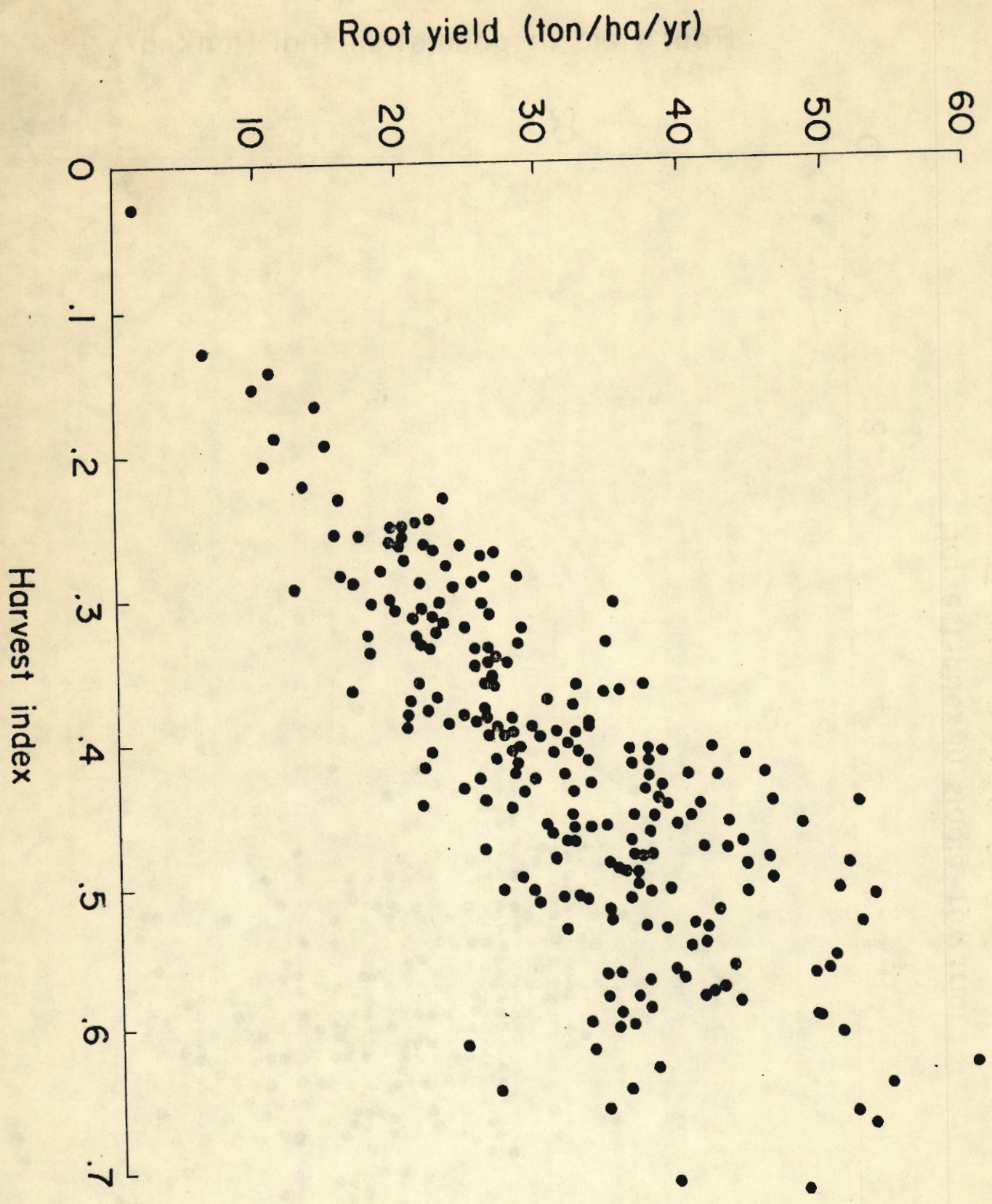


Fig. 8. Relación entre indice de cosecha y rendimiento en prueba de población.

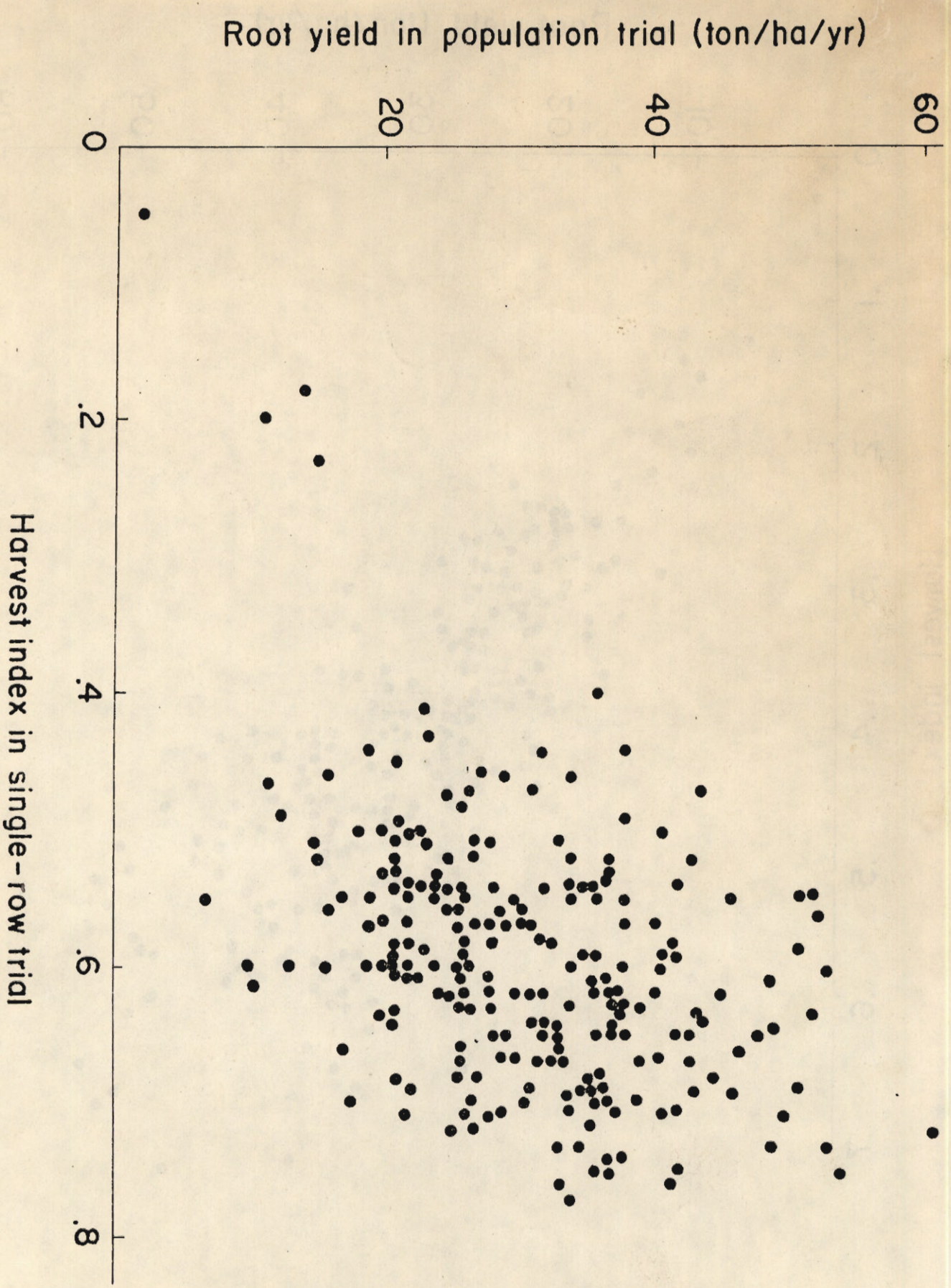


Fig. 9. Relación entre indice de cosecha enprueba de hilera y rendimiento en prueba de población.