

RESPUESTA DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L. vars. '27-R' Y
'Turrialba-4') CULTIVADO EN SOLUCION NUTRITIVA A
DIFERENTES TRATAMIENTOS DE AIREACION

Tesis de Grado de Magister Scientiae

José Furlan Júnior



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Enero, 1974

RESPUESTA DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L. vars, '27-R' Y
'Turrialba-4') CULTIVADO EN SOLUCION NUTRITIVA A
DIFERENTES TRATAMIENTOS DE AIREACION

Tesis

Sometida al Consejo de Estudios Graduados
como requisito parcial para optar al grado

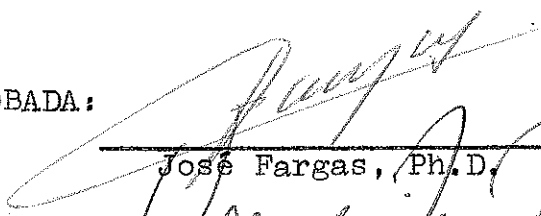
de

Magister Scientiae

en el

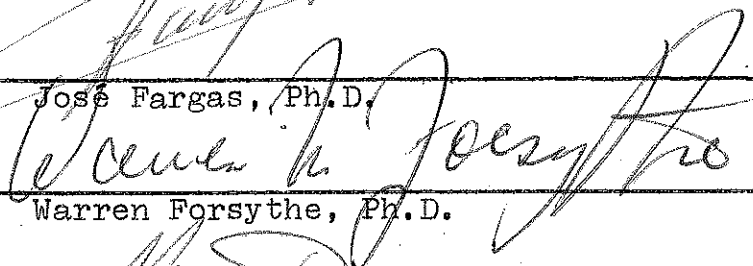
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APRÓBADA:



José Fargas, Ph.D.

Consejero



Warren Forsythe, Ph.D.

Comité



Rúfo Bazán, Ph.D.

Comité



Leslie R. Holdridge, Ph.D.

Comité

Enero, 1974

A mi madre

A Mirian y Paulinho

A mi padre

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos a su Consejero Principal Dr. José Fargas quien posibilitó la ejecución de este trabajo, y a quien pertenecen muchas de las ideas originales. A los miembros del Comité Consejero, Drs. Warren Forsythe, Rufo Bazán y Leslie R. Holdridge, por su asesoramiento y difusión de muchos conocimientos básicos. Al personal del Centro de Computación y Estadística.

Al Ministerio de Agricultura del Brasil a través del convenio MA/USAID que otorgó la beca y ayuda financiera para la ejecución de este trabajo.

A la dirección del IPEAN, por haberle brindado la oportunidad de realizar estudios posgraduados.

Al Sr. José Joaquín 'Quincho' Salazar por la ayuda prestada en los análisis de laboratorio.

Al Sr. Antonio Castro por su colaboración en el mantenimiento del material utilizado en este trabajo.

A todas las personas que de una u otra forma prestaron gentil colaboración durante la permanencia del autor en este Centro.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, Brazil, en el año de 1949.

Realizó sus estudios universitarios en la 'Universidad de Brasília', Distrito Federal, Brasil, graduándose de Ingeniero Agrónomo en el año de 1971. Está actualmente incorporado al personal técnico del Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte, Belém, Pará, Brasil.

Realizó sus estudios posgraduados en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas desde enero de 1973 a enero de 1974, mediante una beca del convenio Ministerio de Agricultura del Brasil/USAID.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Aspectos Generales	3
2.2 Factores que Afectan los Requisitos de Oxígeno por las Raíces	4
2.2.1 Temperatura	4
2.2.2 Técnicas de aireación	4
2.3 Efecto de Diferentes Niveles de Oxígeno en la Morfología y Absorción de Iones y Agua	5
3. MATERIALES Y METODOS	9
3.1 Localización del Experimento	9
3.2 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero	9
3.3 Materiales Empleados	9
3.4 Trasplantes a Recipientes Definitivos	10
3.5 Tratamientos	10
3.6 Diseño Experimental	11
3.7 Variables Físicas y Fisiológicas Analizados	12
3.7.1 Consumo de oxígeno por las raíces	12
3.7.2 Producción de biomasa y sus componentes	13
3.7.3 Area foliar	13
3.7.4 Volumen de raíces	13
3.7.5 Absorción de agua	13
3.7.6 Absorción de nutrimentos	13
3.7.6.1 Determinación de nitrógeno en la solución nutritiva	14
3.7.6.2 Determinación de fósforo en la solución nutritiva	14
3.7.6.3 Determinación de potasio, calcio y magnesio en la solución nutritiva	14
3.7.6.4 Determinación de azufre en la solución nutritiva	14
3.7.6.5 Determinación de N, P, K, Ca, Mg y S foliar	15
3.7.7 Componentes de rendimiento	15
3.8 Análisis de la Información	15
4. RESULTADOS	17
4.1 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero	17
4.2 Aspectos Generales del Cultivo	17
4.3 Consumo de Oxígeno por las Raíces	18
4.3.1 Consumo total por hora	18
4.3.2 Consumo por hora por ml de raíz	19
4.4 Efecto de los Tratamientos sobre los Componentes de Rendimiento	20
4.4.1 Rendimiento por planta	20
4.4.2 Número de vainas por planta	20
4.4.3 Peso de 100 semillas	21

4.5	Efecto de los Tratamientos sobre los Componentes de Crecimiento	22
4.5.1	Peso seco total o biomasa	22
4.5.2	Peso seco de raíces a los 50 días	23
4.5.3	Peso seco de tallos a los 50 días	24
4.5.4	Area foliar a los 50 días	24
4.6	Efecto de los Tratamientos sobre la Absorción de Nutrimientos	25
4.6.1	Nitrógeno	25
4.6.2	Fósforo	26
4.6.3	Potasio	27
4.6.4	Calcio	27
4.6.5	Magnesio	28
4.6.6	Azufre	29
4.7	Contenido de Macroelementos en Hojas	29
5.	DISCUSION	33
6.	CONCLUSIONES	40
7.	RESUMEN	42
7a.	SUMMARY	44
8.	LITERATURA CITADA	46
9.	APENDICE	49

1. INTRODUCCION

En varias regiones del mundo las leguminosas alimenticias constituyen el alimento básico en la dieta proteica de la población.

Debido a los bajos rendimientos (500-700 kg/ha) que generalmente se obtienen en el cultivo del frijol en muchas áreas del trópico húmedo latinoamericano se está presentando una gran escasez de ese grano en el mercado mundial, debiéndose por lo tanto aumentar su rendimiento y producción lo cual implica la utilización de áreas con condiciones climáticas limitantes.

Entre las zonas limitantes para el cultivo del frijol están las tropicales húmedas, donde varios países poseen una buena parte de su superficie lo cual los obliga a importar anualmente cantidades considerables de este grano.

En condiciones de excesiva humedad, el principal factor limitante del cultivo de leguminosas es la falta de aireación de los suelos, siendo probable que existan diferencias interespecíficas o intervarietales en tolerancia a la falta de oxígeno de las raíces. La falta de aireación puede ocasionar una disminución en contenido de oxígeno, así como un aumento excesivo de anhídrido carbónico llegando a niveles de toxicidad. En este trabajo la falta de aireación es sinónimo de falta de oxígeno.

La literatura sobre requisitos de oxígeno de las raíces del frijol y así como sobre el efecto que la escasez de oxígeno tiene sobre el crecimiento y rendimiento de esta leguminosa, es escasa (21).

Los objetivos del presente trabajo fueron:

1. Determinar los requisitos de oxígeno de las raíces del frijol y establecer si existen diferencias intervarietales en esta característica.

2. Evaluar el efecto de la aireación deficiente del sistema radical sobre la absorción de iones y sobre los componentes del crecimiento y rendimiento en el frijol.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Aspectos Generales

El oxígeno es necesario para que la respiración celular se realice en forma normal y como consecuencia, los productos resultantes sean utilizados en forma ininterrumpida en los demás procesos fisiológicos de la célula.

El oxígeno es requerido principalmente en la fosforilación oxidativa que se realiza en los gránulos que se encuentran junto a la membrana interna del mitocondrio. El producto principal de esta etapa de la respiración es el ATP, fuente universal de energía que utiliza la célula en todos sus procesos fisiológicos activos. Por esta razón variaciones en disponibilidad de oxígeno afectan profundamente todos los procesos fisiológicos de las plantas.

Empleando técnicas diversas varios investigadores (1, 5, 11, 16, 18, 28) han estudiado los efectos de la escasez de oxígeno en el ambiente radical sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Para lograrlo algunos han aireado el medio de cultivo con mezclas de gases obteniendo así varias concentraciones de oxígeno, otros han sometido la solución nutritiva en que crecen las plantas a diferentes regímenes de aireación y finalmente algunos han excluido el aire del suelo contenido en macetas mediante inundaciones aplicadas a diferentes intervalos de tiempo. La temperatura tiene gran influencia sobre los requisitos de oxígeno de las plantas, a través de su efecto sobre la respiración celular.

Generalmente, la aireación eficiente del ambiente radical ha demostrado ser muy beneficiosa para el crecimiento vegetativo de raíces, tallos, hojas y frutos (12).

2.2 Factores que Afectan los Requisitos de Oxígeno por las Raíces

2.2.1 Temperatura

La rata de respiración en los tejidos vegetales según Black (4) es controlada por factores como temperatura, contenido de agua, tipo y cantidad de tejido. Luxemoore y Stolzy (27) muestran resultados para maíz, donde la actividad respiratoria de las raíces aumentó con el incremento en la concentración de oxígeno en el suelo, y también con el aumento de temperatura. El coeficiente de respiración (Q_{10}) promedio fue menor de 2 y bajó con el aumento de temperatura. Cannon (8) encontró que el mejor crecimiento de raíces en varias especies fue obtenido con temperaturas comprendidas entre 30 y 35°C. Hoagland y Broyer (18) encontraron que la temperatura también afecta la absorción de sales por las raíces ya que este proceso estuvo, dentro de ciertos límites, asociado directamente con el coeficiente de temperatura.

2.2.2 Técnicas de aireación

En cuanto a la aireación de los medios de cultivo, han sido utilizadas varias técnicas y aparentemente estas influyen poco el crecimiento de las plantas. Hoagland y Broyer (18) comparando la eficiencia de técnicas de aireación para mantener una concentración apropiada de oxígeno en soluciones nutritivas indican que el mejor resultado se obtuvo con aireadores de vidrio molido, y que es importante mantener la solución aireada rápida y continuamente. Mori (28) recomienda además mantener un espacio entre la solución nutritiva y la tapa del recipiente.

Confirmando lo expuesto por Hoagland y Broyer (18), Allison y Shive (1) obtuvieron los mejores resultados para soya cultivada en solución con una buena aireación del medio y añadieron que ésta debe

llevar el oxígeno disuelto a cerca del punto de saturación. Clark y Shive (11) trabajando con tomate indican que obtuvieron 50 por ciento más de peso seco en relación a los testigos cuando usaron técnicas de aireación continua. Sin embargo Hewitt (16) informa que la aireación continua es poco usada y recomendada.

Parecen ser de importancia secundaria los métodos empleados en la técnica de aireación en lo relacionado a su efecto sobre las plantas lo cual indica que el problema se circunscribe al equilibrio entre la concentración que llega a tener el oxígeno en la solución nutritiva y su consumo por las plantas.

2.3 Efecto de Diferentes Niveles de Oxígeno en la Morfología y Absorción de Iones y Agua

Shive (33) comprobó que en soluciones no aireadas, el crecimiento de las raíces era pequeño y éstas se volvían oscuras, mientras que raíces colocadas en soluciones aireadas presentaban un color blanco-plateado. El crecimiento pobre de las raíces en soluciones no aireadas es acompañado por un crecimiento pobre de la parte aérea. En sus ensayos con soya, avena y tomate, las plantas crecieron en soluciones con concentraciones de oxígeno disuelto de 0, 4, 8 y 16 ppm. Los requisitos de oxígeno fueron determinados por el efecto de las tensiones de oxígeno sobre el rendimiento en peso seco. Para soya se encontró que el requisito máximo estuvo alrededor de 6 ppm y que por arriba de ese valor se produjo toxicidad apreciada por la deformación de las hojas jóvenes y por la disminución del promedio en peso seco. El requisito óptimo de oxígeno para avena estuvo alrededor de 8 ppm y para tomate 16 ppm. El mismo autor encontró también que un substrato saturado con oxígeno en el punto de equilibrio con el aire atmosférico está considerablemente por debajo del óptimo requerido para obtener

máximos rendimientos en algunas especies. Con relación a la absorción de nitrógeno en forma de nitrato, encontró que la misma se incrementa cuando existe una baja concentración de oxígeno y que con el nitrógeno en forma amoniacal ocurre lo inverso.

Hewitt (16) informó que la falta de aireación causa daños en las raíces de varias plantas y también deficiencia en la absorción de iones, pero no impide la absorción de agua y que la absorción de calcio, potasio y fósforo fue estimulada por el incremento de oxígeno hasta cierto límite, variable para cada especie. También este autor comentó la influencia del anhídrido carbónico en el crecimiento de las raíces, afirmando que existe proporción entre niveles de anhídrido carbónico y de oxígeno que promueve un desarrollo acentuado de las raíces, además comprobó que altas concentraciones de oxígeno disminuyen considerablemente el crecimiento en longitud de las raíces.

Hopkins et al. (20) estudiando la respuesta de crecimiento, acumulación y transporte de nutrimentos en tomate, soya y tabaco encontraron que las raíces de todas las plantas detuvieron su crecimiento cuando el oxígeno alcanzó 0,5 por ciento en la zona radical. Informaron también que parece existir una dependencia entre la disminución de oxígeno a las raíces y la acumulación de iones excepto para magnesio.

Gilbert y Shive (14) trabajando con plantitas de soya, encontraron también que el requisito óptimo de oxígeno está alrededor de 6 ppm y que arriba de ese valor se presentaron síntomas de toxicidad.

Boynton (6) mostró que la formación de nuevas raicillas en árboles de manzanas es disminuida cuando el nivel de oxígeno está por debajo de 15 por ciento y se torna menor cuando el nivel de anhídrido carbónico iguala al de oxígeno. Según Boynton, De Villieurs y

Reuther (8) un alto nivel de oxígeno es necesario no solo para mantener la vida, sino también para la formación de nuevas raicillas. Estos autores indican que el consumo de oxígeno cambia conforme las raíces crecen, y además que el crecimiento y absorción de iones es máximo a concentraciones de oxígeno por arriba del nivel crítico.

Kramer y Koslowski (24) informaron que cuando la concentración de anhídrido carbónico llega aproximadamente a la mitad de la concentración de oxígeno en el suelo o solución nutritiva, hay poca cantidad de raicillas.

Hammond, Allaway y Loomis (15) mostraron que la absorción de potasio por las raíces así como su crecimiento pueden ser reducidos por la baja concentración de oxígeno o alta concentración de anhídrido carbónico en plantas de maíz.

Willey (36) tratando plantas de tabaco con mezclas de nitrógeno, oxígeno y anhídrido carbónico encontró que gases conteniendo 1 por ciento o más de oxígeno tenían poco o ningún efecto sobre la absorción de agua y que mezclas de gases conteniendo 21 por ciento o más de anhídrido carbónico tuvieron el mismo efecto sobre la absorción de agua que los tratamientos sin gases. La deficiencia de oxígeno en el suelo parece ser la causa inicial de la disminución en absorción de agua y posterior marchitamiento de la planta de tabaco. Sin aireación se encontró una disminución en la absorción de agua de más de 50 por ciento. Zimmerman (35) trabajando con plantas de hiedra comprobó que cuando la concentración de oxígeno en la solución nutritiva era de 4 ppm el crecimiento de las raíces fue menor que con 20 ppm.

Trabajos de Pepkowitz y Shive (30) usando tomate y soya como plantas indicadoras en la absorción de fósforo, potasio y calcio, y

aplicando varios niveles de oxígeno, encontraron que la absorción fue mínima en 0 ppm y que alcanzó un punto óptimo en altas concentraciones de oxígeno. Estos resultados indican que la absorción de calcio y fósforo está en dependencia directa de la concentración del oxígeno disuélto. El potasio no fue tan influenciado por los niveles de oxígeno, contrario a lo demostrado por Hammond, Allaway y Loomis (15).

Pepkowitz y Shive (30) encontraron también que en días despejados y secos hay gran actividad metabólica en las plantas de tomate y soya, acelerándose la absorción de iones, especialmente calcio y fósforo, teniendo poca influencia sobre la absorción de potasio.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del experimento

El presente trabajo se realizó en el invernadero y en el laboratorio de Ecofisiología del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación (CTEI) Turrialba, Costa Rica, situado a 602 m s.n.m. a 9^o53' latitud norte y 83^o39' longitud occidental. Según el sistema de vida de Holdridge (19) está clasificada como zona ecológica de bosque húmedo tropical premontano con medias anuales de precipitación y temperatura de 2.600 mm y 22,5 C, respectivamente.

3.2. Condiciones climáticas dentro del invernadero

Con el propósito de medir las condiciones ambientales dentro del invernadero durante el período que se llevó a cabo el experimento, se utilizaron un termógrafo y un higrógrafo, ambos de registro semanal. /Para obtener el valor de la radiación diaria se utilizó un actinómetro de alcohol de lectura directa.

Las características de absorción de luz del plástico usado como techo del invernadero fueron determinadas con un espectrofotómetro Coleman modelo 6-A.

3.3. Materiales empleados

Se utilizaron semillas de las líneas puras N^o NH 51052 y N^o RH 238 de frijol de las variedades 'Turrialba-4' y '27-R' respectivamente, las que previamente fueron desinfectadas con 'clorox' al 5%, diluido 1:100 durante un minuto, y luego lavadas varias veces con agua destilada.

Las semillas fueron puestas individualmente a germinar en pedazos de papel absorbente de 18 x 18 cm cubiertos por polietileno de color negro. Luego se procedió a humedecer y enrollar

el papel colocándolo en posición vertical en recipientes con agua destilada.

3.4. Transplante a recipientes definitivos

A los nueve días de la siembra en los germinadores tubulares, las plántulas fueron trasladadas a los recipientes definitivos conteniendo 7,5 litros de solución Hoagland No 2 (17) con tensión osmótica aproximada de 0,7 bares.

Las plántulas fueron fijadas en una posición adecuada en las tapas de los recipientes utilizándose cinta adhesiva e hilos de algodón fijados en los tutores. Los recipientes fueron colocados sobre mesas de madera, a razón de 12 en cada mesa.

La aireación de la solución se hizo a través de tuberías y capilares conectados a un compresor, haciendo pasar previamente el aire por trampas de agua para su depuración.

Para la preparación de la solución nutritiva y la reposición diaria del agua gastada por la absorción de las plantas se utilizó agua de lluvia.

Para evitar la fermentación de la solución nutritiva por falta de aireación se adicionó a cada recipiente 1,000 u.i. de Dicrysticina y 5 mg de Sulfatiazol por litro.

3.5. Tratamientos

Los tratamientos consistieron en someter a las plantas de frijol a diferentes niveles de aireación. Esos tratamientos fueron aplicados en forma intermitente y en períodos determinados de la vida de la planta.

Los tratamientos y su época de aplicación fueron los siguientes:

Símbolo	Descripción del tratamiento	Estado vegetativo correspondiente
T0	Testigo Aireación continua	Todo el ciclo de vida
T1	Aireación intermitente 48 hs aireado y 24 hs sin aireación	" " " " "
T2	Aireación intermitente 48 hs aireado y 48 hs sin aireación	" " " " "
T3	Aireación continua con interrupción de 72 hs a los 25 días	Inicio de crecimiento acelerado
T4	Aireación continua con una interrupción de 120 hs a los 30 días	Estado acelerado de crecimiento e inicio de floración
T5	Aireación continua con una interrupción de 120 hs a los 45 días	Inicio de formación y desarrollo de frutos

3.6. Diseño experimental

El diseño experimental usado fue el de irrestrictamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales, constituidas por una planta cada una, fueron setenta y dos, de las cuales veinte y cuatro correspondieron a tratamientos intermitentes y cuarenta y ocho a tratamientos individuales.

La evaluación de la respuesta a la falta de aireación fue hecha con base en resultados de cuatro unidades experimentales de cada tratamiento y variedad, para analizar el consumo de nutrientes, porcentaje de macroelementos en las hojas, componentes de rendimiento y crecimiento.

3.7. Variables físicas y fisiológicas analizadas

3.7.1. Consumo de oxígeno por las raíces

La evaluación de la velocidad de consumo de oxígeno por las raíces se determinó en cada tratamiento y variedad aproximadamente cada 15 días excepto la quinta y última determinación que se hizo 5 días después de la cuarta.

El consumo total de O_2 fue determinado por períodos de tres horas en plantas de cada variedad y tratamiento, expresándolo finalmente como $mgO_2/h/planta$. Al mismo tiempo se determinó el volumen de raíces, con la finalidad de que el consumo fuera también expresado en $mgO_2/h/ml$ de raíz.

Los análisis se realizaron después de los períodos de aireación en los tratamientos intermitentes y dos días después de finalizado el período sin aireación en los demás tratamientos.

El consumo de O_2 disuelto en agua fue determinado por polarografía con un medidor de oxígeno Yellow Springs Instrument (YSI) modelo 51 A, colocando el elemento sensor directamente en la solución nutritiva en que crecían las plantas. No se tomaron precauciones para excluir el aire de la superficie de la solución nutritiva ya que previamente se determinó que los valores de O_2 consumido no variaban al reemplazar el aire por nitrógeno en recipientes herméticamente cerrados, al menos durante las tres primeras horas luego de detener la aireación de las soluciones nutritivas.

Las ideas para realizar estas determinaciones se obtuvieron de los trabajos de Blanpied(5).

3.7.2. Producción de biomasa y sus componentes

La biomasa producida o peso seco de la planta entera, se obtuvo de la suma de sus componentes, hojas, tallos, frutos y raíces, que individualmente fueron puestos a secar en estufa a 70°C hasta peso constante.

3.7.3. Area foliar

Para determinar el área foliar se utilizó la función logarítmica establecida por Ascencio (2) para la variedad de frijol 'Turrialba-4', y para la variedad '27-R' se utilizó la función logarítmica determinada por Chavez (10). Los autores obtuvieron valores para $R^2 = 0,98$, que garantiza una excelente confiabilidad del ajuste. La determinación de área foliar fue hecha a los cincuenta días cuando las plantas alcanzan su máxima área foliar.

3.7.4. Volumen de raíces

La determinación del volumen radical se hizo empleando el aparato descrito por Jiménez (23), modificado por Loaiza (26) que se basa en el principio de desplazamiento de volúmenes. Después de cada determinación del consumo de oxígeno se midió el volumen de raíces.

3.7.5. Absorción de agua

El consumo de agua por la planta se determinó por el volumen que fue necesario reponer cada dos días a los recipientes con solución nutritiva para alcanzar el nivel original de 7,5 litros. La pérdida de agua por evaporación se controló mediante recipientes sin plantas que fueron aireados en igual forma que los demás.

3.7.6. Absorción de nutrimentos

Los cambios de solución nutritiva se efectuaron cada 15 días. En cada uno de ellos se tomaron alícuotas de aproximadamente

100 ml de la solución usada y fresca. de los recipientes de tres plantas. Las alícuotas fueron posteriormente analizadas en su contenido de N, P, K, Ca, Mg y S calculándose por diferencia la cantidad de estos elementos consumida quincenalmente.

Los métodos utilizados para la determinación de los nutrientes fueron:

3.7.6.1 Determinación de nitrógeno en la solución nutritiva

El nitrógeno total se determinó por el método micro-Kjeldhal, usando destiladores del tipo propuesto por Müller (29).

3.7.6.2 Determinación de fósforo en la solución nutritiva

En la determinación de fósforo se usó el método colorimétrico de Fiske y Subarrow modificado (3), utilizándose ácido clorhídrico en vez de ácido sulfúrico como acidificante. Las lecturas se efectuaron en un colorímetro Coleman modelo 6-A con una longitud de onda de 525 nanómetros.

3.7.6.3 Determinación de potasio, calcio y magnesio en la solución nutritiva

La determinación de estos elementos fue realizada con un espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer 303, realizadas sobre diluciones de las muestras de solución nutritiva y confrontadas contra una curva patrón de cada elemento.

3.7.6.4 Determinación de azufre en la solución nutritiva

El azufre se determinó por turbidimetría utilizando el método de la AOAC (3), que se basa en la formación de un precipitado insoluble de sulfato de bario estabilizado con una solución de goma arábiga al 0,5 por ciento. La lectura se hizo en el mismo aparato empleado para el fósforo, pero a una longitud de onda de 425 nm.

3.7.6.5 Determinación de N, P, K, Ca, Mg, y S foliar

Las muestras de hojas en que se las determinó el contenido de los macroelementos, se tomaron a los cincuenta días, después de la obtención de los pesos secos correspondientes. Las muestras fueron pasadas a través de un molino Willey con malla N^o 40. El polvo resultante fue conservado en frascos individuales hasta el momento de efectuar la digestión previa al análisis.

Para el análisis del nitrógeno la digestión se realizó con ácido sulfúrico, mientras que para los otros elementos se utilizó una mezcla nítrico-perclórica en proporción de 5:1.

3.7.7 Componentes de rendimiento

A los setenta y dos días después de la siembra, las plantas fueron cortadas a nivel del cuello, evitando así la posible rebrotación, fenómeno que ocurre bajo condiciones de hidroponía.

Los componentes del rendimiento analizados en cada tratamiento fueron:

- a) número de frutos por planta
- b) número de semillas por planta
- c) número de semillas por fruto
- d) peso total de semillas por planta
- e) peso de 100 semillas.

El peso de las semillas fue corregido a un 12 por ciento de humedad, para lo cual se secaron muestras de semillas obtenidas al azar de cada planta, hasta peso constante.

3.8. Análisis de la información

Con el fin de investigar los efectos de tratamientos (T), variedad (V) y la interacción de éstos se analizaron los componentes del rendimiento y crecimiento, absorción de iones y consumo

de oxígeno realizando un análisis de variancia para cada variable y se interpretaron los datos por la prueba de Duncan al nivel de 0,05 (34).

El modelo de análisis de variancia aplicado fue:

$$Y_{ijk} = u + T_i + V_j + (TV)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

donde

- Y_{ijk} = variable de respuesta
 u = media general
 T_i = efecto del tratamiento " i "
 V_j = variedad " j "
 $(TV)_{ij}$ = interacción del tratamiento " i " con la variedad " j "
 ϵ_{ijk} = error experimental del tratamiento " i ", la variedad " j " y la observación " k "

Se utilizó la prueba de Duncan en la comparación de promedios por tratamientos de las variables estudiadas.

Se utilizó una función polinomial de tercer grado para la obtención de las curvas de consumo de oxígeno.

$$Y = A + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3$$

Para la obtención de las curvas de consumo de nutrimentos se utilizó una función cuadrática.

$$Y = A + B_1X + B_2X^2$$

4. RESULTADOS

4.1 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero

En la Figura 1 del Apéndice se indican las condiciones climáticas que predominaron durante el período en que se realizó el experimento, las cuales pueden ser aceptadas como adecuadas para el cultivo.

Las características ópticas del plástico usado como techo en el invernadero no son las ideales, pero permiten una luminosidad adecuada.

Nanómetro	400	450	500	550	600	650	700
%Transmisión	73,5	81,5	84,5	87,0	87,5	88,0	89

4.2 Aspectos Generales del Cultivo

El crecimiento de las plantas de frijol de la variedad '27-R' fue más vigoroso al principio que el de la variedad 'Turrialba-4' y además floreció primero.

Las plantas de las dos variedades, con excepción del tratamiento T₂, mostraron buena conformación hasta los treinta días de edad. Las diferencias entre tratamientos y variedades empezó a ser notable a los treinta y cinco días aproximadamente con disminuciones de las partes radical y aérea principalmente en la variedad '27-R'.

Se notó tendencia al enturbiamiento de la solución nutritiva en los tratamientos T₃, T₄ y T₅ cuando se suprimía la aireación, pero al reiniciarla se aclaraba.

El pH mostró una tendencia constante a subir (7,0-7,5) especialmente en los tratamientos T₁ y T₂.

Se hicieron dos aplicaciones de 'Karathane' al 0,1% contra mildiú y dos de 'Galecron 50 EC' al 0,1% contra ácaros.

4.3 Consumo de Oxígeno por las Raíces

Observando las plantas testigo en ambas variedades (Cuadros 1 y 2 del Apéndice) se nota que la variedad 'Turrialba-4' fue más exigente en consumo de O_2 que la '27-R'. Esta diferencia no fue significativa al compararse variedades pero sí existe entre tratamientos (Cuadros 3 y 4 del Apéndice).

4.3.1 Consumo total por hora

Las diferencias evaluadas estadísticamente por la prueba de Duncan en forma desglosada por variedades, tratamientos y edades, están representadas en los Cuadros 1 y 2 del Apéndice en los cuales aparecen también las diferencias en porcentajes relativos entre el testigo y los demás tratamientos.

En el Cuadro 1 del Apéndice son mostrados los valores encontrados para consumo total de oxígeno por la variedad '27-R' donde se nota una disminución en consumo de oxígeno de 75% a los 71 días de edad bajo efecto de tratamiento T_2 así como un incremento de 73,6% a los 51 días de edad en plantas sometidas al tratamiento T_5 . Comparándose los tratamientos intermitentes T_1 y T_2 con los individuales T_3 , T_4 y T_5 se observa que en general los primeros produjeron efectos negativos más marcados sobre las plantas en ambas variedades.

Para la variedad 'Turrialba-4' también el tratamiento que produjo mayor efecto negativo fue T_2 con una disminución en consumo de 81,8% a los 71 días de edad (Cuadro 2) así como también las plantas bajo efecto del tratamiento T_5 mostraron incrementar su consumo total de O_2 en 49,7% a los 51 días de edad.

4.3.2 Consumo por hora por ml de raíz

A los 15 días los tratamientos T_1 y T_2 produjeron una notable disminución en el consumo de O_2 por hora por ml de raíz en ambas variedades, pero a los 33 días se notó un incremento de este consumo (Cuadros 6 y 7).

En cuanto al consumo de O_2 por hora por ml de raíz, la variedad '27-R' presentó grandes variaciones entre tratamientos. El tratamiento T_1 produjo una disminución de 64,2% a los 15 días de edad, por otra parte el tratamiento T_2 indujo un aumento en esta variable de 84,7% sobre el testigo a los 51 días de edad. Ambos valores citados fueron diferentes estadísticamente a los valores correspondientes de los testigos.

Los tratamientos T_4 y T_5 después de aplicados aumentaron temporalmente el consumo de O_2 en forma significativa, disminuyendo posteriormente en relación con las plantas testigos.

En el Cuadro 7 se presenta la misma información pero para la variedad 'Turrialba-4', en el cual se nota que los tratamientos produjeron mayores variaciones en consumo de O_2 por hora por ml de raíz que en la variedad anterior. También en este caso los tratamientos T_1 y T_2 produjeron una disminución inicial de consumo a los 15 días elevándose posteriormente a los valores superiores a los del testigo. En relación a los tratamientos individuales, sólo el T_5 produjo, como con la variedad anterior, un aumento en consumo de oxígeno después de aplicado el tratamiento.

4.4 Efecto de los Tratamientos sobre los Componentes de Rendimiento

4.4.1 Rendimiento por planta

De acuerdo con los datos observados en los Cuadros 8 y 9, se puede decir que las plantas de ambas fueron afectadas significativamente en sus rendimientos por los tratamientos aplicados. El análisis de la variancia mostró diferencia entre variedades (Cuadro 5).

La prueba de significancia de Duncan (Cuadros 8 y 9) muestra para la variedad '27-R' que las plantas sometidas al tratamiento T_2 fueron las más perjudicadas, reduciendo su rendimiento en un 56,3%. El máximo rendimiento por planta que se obtuvo para esta variedad fue de 79,8 g con las plantas testigos.

En plantas de la variedad 'Turrialba-4' también el tratamiento T_2 redujo los rendimientos con una disminución en relación al testigo de 53,7%. Para esta variedad el tratamiento T_5 llevó las plantas a un mayor rendimiento con un promedio de 87,4 g por planta, aunque este valor no fue diferente del 83,9 g obtenido de los testigos.

4.4.2 Número de vainas por planta

Con base en la información de los Cuadros 8 y 9 a los 50 días de edad ya se pudo observar una diferencia entre los tratamientos aplicados para ambas variedades en esa característica, habiendo entre los testigos de las dos variedades una diferencia en porcentaje relativa de 65,2 por ciento.

El tratamiento T_2 mostró tener mayores influencias sobre el número de vainas.

Con relación al testigo, en la variedad '27-R', el tratamiento T_2 presentaba una disminución en la formación de frutos de 68,4%,

mientras que el tratamiento T_3 indujo la formación de 1,7% de frutos, aunque este valor y el obtenido del tratamiento T_5 no fueron diferentes de los del testigo, en cuanto que los demás si lo fueron. El porcentaje de abscisión de frutos provocado por los tratamientos en general fue grande, con excepción del valor obtenido en el tratamiento T_2 . El tratamiento T_3 provocó un porcentaje de abscisión de 62%.

En la variedad 'Turrialba-4' hubo una disminución considerable en la producción de frutos provocados por los tratamientos, donde se notó un efecto más marcado en las plantas que recibieron el tratamiento T_2 con una disminución del 50% con relación al testigo. Todos los demás valores fueron diferentes del testigo.

El mayor porcentaje de abscisión encontrado en esta variedad ocurrió en plantas testigo con una abscisión de 45,9%.

También se notó, para ambas variedades, que los mayores porcentajes de abscisión ocurrieron en plantas que presentaban mayor producción a los 50 días con excepción del valor obtenido con plantas bajo efecto del tratamiento T_2 , para la variedad '27-R'.

Con relación al número final de vainas el único valor diferente significativamente fue causado por el tratamiento T_2 en la variedad '27-R', en cuanto que en la variedad 'Turrialba-4' hubo una mayor variación, siendo el valor del testigo significativamente diferente de los demás, mientras que en la variedad '27-R', los valores de los tratamientos T_1 , T_3 , T_4 y T_5 fueron significativamente iguales.

4.4.3 Peso de 100 semillas

El peso de 100 semillas fue afectado por los tratamientos en ambas variedades (Cuadros 8 y 9).

Con relación a los testigos se observó que la variedad '27-R' presenta mayor peso de semillas.

En la variedad '27-R' los tratamientos T_2 y T_3 indujeron disminuciones en esta variable de 21,4 y 3,5% respectivamente, aunque este último valor no fue significativamente diferente del testigo. Los valores encontrados para los tratamientos T_0 , T_1 y T_4 , a pesar de ser numéricamente diferentes son iguales estadísticamente. El tratamiento T_5 produjo un aumento con relación al testigo de 9,4% en esta característica.

En la variedad 'Turrialba-4' se notó que los tratamientos afectaron positivamente esta variable, con excepción del valor correspondiente al tratamiento T_3 . Los valores de los tratamientos T_0 , T_1 , T_2 y T_5 fueron significativamente iguales y los dos valores de los tratamientos intermitentes fueron también iguales al valor encontrado en las plantas bajo efecto del tratamiento T_4 .

El menor valor para peso de 100 semillas se obtuvo en plantas que recibieron el tratamiento T_3 , con una disminución en el porcentaje relativo con relación al testigo de 18,1%.

4.5 Efecto de los Tratamientos sobre los Componentes de Crecimiento

4.5.1 Peso seco total o biomasa

En los Cuadros 10 y 11 se agrupan los datos de esta variable para las variedades '27-R' y 'Turrialba-4' respectivamente.

En ambas variedades se notó que los tratamientos produjeron un efecto negativo sobre la biomasa y que la variedad 'Turrialba-4' produjo más biomasa bajo efecto de los varios tratamientos.

La variedad '27-R' presentó mayores variaciones en relación al testigo que la variedad 'Turrialba-4'.

En la variedad '27-R' el tratamiento T_2 produjo una disminución en esta variable de 67,5% en relación al testigo y fue significativamente diferente de los valores obtenidos en los demás tratamientos. Entre los valores encontrados para los tratamientos T_1 , T_3 y T_5 no hubo diferencia significativa, aunque sean numéricamente diferentes.

También en la variedad 'Turrialba-4' el mayor efecto negativo fue producido por el tratamiento T_2 que indujo una disminución en relación al testigo de 59,2%. Todos los valores encontrados para los demás tratamientos fueron significativamente diferentes del testigo y los tratamientos que menos afectaron las plantas fueron el T_3 y T_5 que a pesar de ser numéricamente diferentes, estadísticamente fueron iguales.

4.5.2 Peso seco de raíces a los 50 días

Al observar los datos de los Cuadros 10 y 11 se nota que en ambas variedades los tratamientos produjeron un efecto negativo en esta variable. En el Cuadro 12 se muestra que hubo diferencias entre variedades.

En la variedad '27-R' todos los valores encontrados fueron significativamente diferentes del testigo y el tratamiento que produjo mayor efecto fue el T_2 con una disminución de 79,7% en relación al testigo.

Los valores encontrados para las plantas bajo efecto de los tratamientos T_1 , T_3 , T_4 y T_5 fueron significativamente iguales.

Para la variedad 'Turrialba-4' la mayor disminución en esta variable también se observó en las plantas bajo efecto del tratamiento T_2 con una disminución en relación al testigo de 73,3% en cuanto que el valor encontrado para las plantas que recibieron

el tratamiento T_5 fue significativamente igual al testigo, aunque numéricamente diferente. Se notó que esta variable fue más afectada por los tratamientos intermitentes.

4.5.3 Peso seco de tallos a los 50 días

En los Cuadros 10 y 11 se agrupan los valores promedios de esta variable para ambas variedades. En ellos se observa para las dos variedades el efecto negativo causado por los tratamientos.

En la variedad '27-R', las plantas bajo efecto del tratamiento T_2 sufrieron una disminución en esta variable de 78,0% cuando comparadas con el valor testigo.

Las plantas testigos presentaron valor superior y significativamente diferente de los demás.

En cuanto a la variedad 'Turrialba-4' los valores encontrados para las plantas bajo efecto de los tratamientos T_3 y T_5 , aunque numéricamente diferentes del valor testigo, estadísticamente son iguales.

La mayor disminución en peso seco de los tallos ocurrió en las plantas que recibieron el tratamiento T_2 , con una bajada en porcentaje relativo de 64,8% en relación al valor testigo.

Se observó que los efectos de los tratamientos intermitentes fueron más acentuados.

4.5.4 Area foliar a los 50 días

Esta variable fue afectada negativamente por los tratamientos en ambas variedades, con excepción del valor observado en plantas bajo efecto del tratamiento T_3 (Cuadros 10 y 11). En estos mismos cuadros se nota que la variedad trepadora 'Turrialba-4' presenta mayor área foliar que la variedad arbustiva '27-R'. El análisis

de la variancia mostró diferencia entre tratamientos (Cuadro 13).

En la variedad '27-R' las plantas que más se afectaron fueron las sometidas al tratamiento T_2 con una disminución en porcentaje relativo de 74,4% en relación al testigo, en cuanto que el tratamiento T_3 indujo las plantas bajo su efecto a un pequeño aumento en relación al testigo, pero no significativamente diferente, así como el valor encontrado para las plantas que recibieron el tratamiento T_5 que también no fueron estadísticamente diferentes del valor testigo.

Para la variedad 'Turrialba-4' el efecto de los tratamientos se mostró más acentuado en plantas sometidas al tratamiento T_2 con una disminución en porcentaje relativo de 69,2% cuando comparadas con el testigo. En esta variedad todos los tratamientos produjeron valores significativamente diferentes del valor testigo con excepción del valor encontrado para T_4 , aunque menor numéricamente. El tratamiento T_3 indujo las plantas bajo su efecto a un aumento significativo en relación al testigo.

4.6 Efecto de los Tratamientos sobre la Absorción de Nutrientos

4.6.1 Nitrógeno

En cuanto a esta variable el análisis de la variancia no mostró diferencia significativa entre variedades, mientras lo fue para tratamientos (Cuadro 15).

Comparándose los valores testigos se observa que la variedad 'Turrialba-4' consume más ese elemento que la variedad "27-R" (Cuadros 21 y 22).

En la variedad '27-R' se nota que los tratamientos produjeron una disminución en relación al consumo total por el testigo, con

excepción del valor observado para las plantas sometidas al tratamiento T_5 , que aumentaron su consumo total en 18,7% comparado al consumo testigo. Las plantas bajo efecto de tratamientos intermitentes fueron más afectadas negativamente en esta variable.

Los efectos de los tratamientos en la variedad 'Turrialba-4' indujeron las plantas de los tratamientos T_1 , T_4 y T_5 a un mayor consumo total de nitrógeno, aunque el valor encontrado para el tratamiento T_4 no fue significativamente diferente del valor testigo. El mayor efecto negativo fue observado en las plantas sometidas al tratamiento T_2 con una disminución en porcentaje relativo de 24,1% en relación al testigo.

4.6.2 Fósforo

El análisis de la variancia para esta variable no mostró diferencia significativa para tratamientos y variedades como muestra el Cuadro 16, aunque la variedad 'Turrialba-4' consumió más que la variedad '27-R', como muestran los Cuadros 21 y 22.

En la variedad '27-R' el tratamiento que indujo a un mayor consumo fue el T_5 produciendo un aumento en porcentaje relativo cuando comparado con el valor testigo de 47,5%. Los demás valores aunque numéricamente diferentes no lo fueron estadísticamente del valor testigo.

Para la variedad 'Turrialba-4' los valores encontrados para los tratamientos T_1 , T_3 y T_4 fueron estadísticamente iguales al testigo, aunque inferiores numéricamente.

El tratamiento T_2 produjo en las plantas bajo su efecto una disminución en consumo de 18,2%, mientras que las plantas sometidas al tratamiento T_5 consumieron 7,2% más que el testigo relativamente.

4.6.3 Potasio

En el Cuadro 17 aparece el análisis de variancia para esta variable donde se muestra no haber diferencia significativa entre tratamientos así como también para variedades. Observándose los valores testigos de los Cuadros 21 y 22 se nota que la variedad 'Turrialba-4' es mayor consumidora de este elemento.

Para la variedad '27-R' los tratamientos produjeron un efecto negativo en el consumo de potasio. El tratamiento de mayor efecto fue el T_2 con una disminución en porcentaje relativo cuando comparado con el valor testigo de 52,0%. Todos los valores encontrados para los varios tratamientos fueron estadísticamente diferentes del valor testigo.

En la variedad 'Turrialba-4' también el efecto del tratamiento T_2 fue más marcante con una disminución de 56,3% en porcentaje relativo en relación al testigo. Los tratamientos T_1 , T_4 y T_5 llevaron las plantas bajo sus efectos a un mayor consumo que las testigo, aunque estadísticamente el valor del tratamiento T_1 fue igual al valor testigo.

4.6.4 Calcio

A través del Cuadro 18 se observa no haber diferencia significativa entre variedades, pero habiendo entre tratamientos.

Comparándose los valores testigos en ambas variedades, se nota aquí también que la variedad 'Turrialba-4' consume más este elemento que la variedad '27-R'.

En la variedad '27-R' se observa que los tratamientos indujeron las plantas a una disminución en el consumo de calcio, aunque el valor encontrado bajo efecto del tratamiento T_5 no fue estadísticamente diferente del valor testigo (Cuadro 21).

El valor encontrado bajo efecto del tratamiento T_2 fue el más significativo con una disminución de 45,8% en porcentaje relativo cuando comparado con el valor testigo.

Contrariamente a la variedad '27-R', las plantas de la variedad 'Turrialba-4' presentaron un incremento en relación al testigo bajo efecto de los diversos tratamientos con excepción de las plantas sometidas al tratamiento T_2 que mostraron una bajada en consumo en relación al valor testigo de 30,1%. Los demás valores aunque numéricamente diferentes, estadísticamente fueron iguales al testigo (Cuadro 22).

4.6.5 Magnesio

Para esta variable el análisis de la variancia indicó no haber diferencia significativa entre tratamientos así como para variedades (Cuadro 19). También aquí la variedad 'Turrialba-4' presentó un mayor consumo total.

En plantas de la variedad '27-R' los tratamientos produjeron un efecto negativo en el consumo de este elemento siendo que el tratamiento T_2 indujo las plantas bajo su efecto a una disminución en consumo de 39,7% en relación al testigo, mientras que el efecto producido por el tratamiento T_5 no fue estadísticamente diferente del valor testigo (Cuadro 21).

En la variedad 'Turrialba-4' con excepción de los tratamientos T_2 y T_3 los demás produjeron un efecto positivo en el consumo de este elemento, mientras que el valor encontrado para el tratamiento T_1 fue estadísticamente igual al valor testigo.

El tratamiento de mayor efecto fue el T_2 con una disminución en porcentaje relativo de 58,0% en relación al testigo (Cuadro 22).

4.6.6 Azufre

Para este elemento el análisis de la variancia como se aprecia en el Cuadro 20 no mostró diferencia significativa tanto para tratamientos como para variedades.

Para este elemento la variedad 'Turrialba-4' fue también mayor consumidora, comparándose los valores testigos, y en ambas los tratamientos produjeron efectos negativos en el consumo (Cuadros 21 y 22).

En la variedad '27-R' el mayor efecto negativo fue encontrado bajo efecto del tratamiento T_1 con una disminución cuando comparado con el valor testigo de 60,7%.

También para la variedad 'Turrialba-4' los valores obtenidos para las plantas bajo efecto de los varios tratamientos fueron estadísticamente diferentes del valor testigo. El tratamiento que más afectó las plantas en consumo de azufre fue el T_2 causando una disminución en porcentaje relativo de 73,4% en relación al valor testigo.

4.7 Contenido de Macroelementos en Hojas

En el Cuadro 14 está indicado el análisis de variancia conjunto para las dos variedades estudiadas, mostrando haber diferencia significativa entre tratamientos y variedades, así como la interacción entre ellos.

Comparándose los valores encontrados para las plantas testigo de ambas variedades, se nota que en general la variedad '27-R' posee mayor porcentaje de elementos en las hojas que la variedad 'Turrialba-4' con excepción de azufre que es menor y magnesio que es igual (Cuadros 23 y 24).

En la variedad '27-R' el mayor contenido de nitrógeno fue encontrado en plantas sometidas al tratamiento T_4 .

Aunque numéricamente diferentes los valores encontrados para las plantas bajo efecto de los tratamientos T_1 y T_3 fueron estadísticamente iguales al valor testigo.

El tratamiento T_2 fue el que produjo un mayor efecto negativo con una disminución en el contenido foliar de nitrógeno en plantas bajo su efecto de 15,2% cuando comparado con el valor testigo.

Para fósforo la tendencia fue la misma que para nitrógeno, siendo el valor encontrado para las plantas bajo efecto del tratamiento T_4 superiores en 40,0% al valor obtenido de las plantas testigos. Los valores para las plantas sometidas a los tratamientos T_1 y T_5 fueron iguales entre sí numéricamente y estadísticamente iguales al valor testigo. El tratamiento que indujo a un mayor efecto negativo fue el T_2 .

El contenido foliar de potasio fue afectado significativamente en esta variedad solamente en las plantas bajo efecto de los tratamientos T_3 y T_4 , donde disminuyeron su contenido foliar en relación al testigo en 25,3 y 22,7% respectivamente. El tratamiento T_5 fue que indujo las plantas bajo su efecto a aumentar su contenido foliar en relación al valor testigo en 17,5%.

Para calcio los valores encontrados para los tratamientos T_3 y T_5 fueron iguales estadísticamente al valor testigo como también lo fue numéricamente el valor de las plantas sometidas al tratamiento T_3 . Los demás tratamientos causaron una disminución en el contenido foliar de calcio, siendo más afectadas las plantas bajo efecto del tratamiento T_2 con una disminución en porcentaje relativo de 46,4% en relación al valor testigo. El único tratamiento que

produjo un aumento en contenido foliar de calcio fue el T₅ que superó el valor testigo en porcentaje relativo en 12,2%.

El contenido foliar de magnesio fue afectado negativamente por los tratamientos con excepción de los tratamientos T₁ que fue igual al testigo y el T₅ donde las plantas bajo su efecto mostraron valor superior al testigo en 15,7%. El tratamiento que produjo en las plantas un mayor efecto negativo fue el T₂.

En cuanto al contenido foliar de azufre, los tratamientos T₂, T₃ y T₅ tuvieron el mismo efecto que el testigo, así como el tratamiento T₁ que mostró en las plantas bajo su efecto solamente diferencia numérica positiva siendo igual estadísticamente al valor testigo. Las plantas sometidas al tratamiento T₄ aumentaron su contenido foliar de azufre en relación al testigo en 15,3%.

En el Cuadro 24 están representados los valores para el contenido foliar de macroelementos en la variedad 'Turrialba-4'.

Para el contenido de nitrógeno los tratamientos tuvieron un efecto positivo con excepción del tratamiento T₂ que indujo las plantas bajo su efecto a disminuir su contenido foliar de nitrógeno en 12,1% cuando comparado con el valor testigo. El mayor contenido de nitrógeno fue obtenido en plantas sometidas al tratamiento T₄.

El contenido de fósforo fue afectado positivamente por los tratamientos T₃ y T₄, siendo este último el que indujo las plantas a aumentar su valor en 17,0% en relación al testigo. Los valores obtenidos de las plantas bajo efecto de los tratamientos T₁ y T₅ fueron estadísticamente iguales al valor testigo y las plantas sometidas al tratamiento T₂ fueron las que presentaron el menor contenido foliar de fósforo con una disminución en porcentaje relativo de 26,8% cuando comparado con el valor testigo.

En cuanto a potasio los tratamientos que produjeron efectos negativos fueron el T_4 y T_5 con disminuciones de 15,7 y 21,4% en relación al valor testigo, respectivamente. El tratamiento de mayor efecto positivo fue el T_3 donde las plantas bajo su efecto aumentaron su contenido en relación al valor testigo en 37,8%.

El contenido foliar de calcio fue afectado negativamente solamente en las plantas sometidas al tratamiento T_2 , aunque este valor no fue significativamente diferente del valor testigo. El tratamiento que produjo el mayor aumento en contenido foliar de calcio fue el T_4 , bajo el cual las plantas mostraron un aumento de 40,7% en relación al testigo.

Para el contenido foliar de magnesio los tratamientos que afectaron negativamente las plantas fueron el T_2 y T_5 aunque significativamente sean iguales al valor testigo. El tratamiento que indujo las plantas a un mayor contenido foliar de magnesio fue el T_3 con un aumento en porcentaje relativo de 36,8% cuando comparado con el valor testigo.

Para el contenido foliar de azufre solamente se observó diferencia significativa en plantas sometidas al tratamiento T_2 que disminuyeron su contenido foliar en azufre en 6,6% cuando comparado con el valor testigo. Los demás tratamientos produjeron efectos significativamente iguales al testigo, aunque numéricamente fueron diferentes, con excepción del tratamiento T_5 , bajo el cual las plantas mostraron el mismo valor numérico que el valor testigo.

5. DISCUSION

Las respuestas obtenidas de las dos variedades de frijol estudiadas no mostraron diferencias significativas en cuanto al consumo de O_2 por las raíces tanto en consumo total por hora como en consumo por ml de raíz. La interpretación de la respuesta del frijol sometido en varias épocas de su ciclo a condiciones anaeróbicas, estimándola como función de los tratamientos y época, determina que la falta de aireación de las raíces es más perjudicial cuando ocurre por períodos cortos e intermitentes de falta y presencia de aire. Bajo esas condiciones parece no haber tiempo de recuperación de las raíces, para que puedan realizar el proceso fisiológico de la respiración normalmente.

Al principio del ciclo de vida de las plantas ese proceso parece no ser afectado debido al pequeño volumen de raíces, aunque la velocidad de consumo de O_2 sea alta. Después de treinta días bajo esas condiciones prácticamente ya la capacidad y eficiencia que naturalmente posee la planta de frijol para utilizar y transformar los recursos de que dispone para su propio desarrollo vegetativo y productivo sufre una disminución irrecuperable, quedando la planta incapacitada para recuperar su potencialidad original.

Sin embargo, la tolerancia a la falta de aireación es mayor cuando las plantas están cerca de la mitad o poco más de su ciclo de vida, pues aparentemente los rendimientos son poco afectados, llegando a valores considerables, pudiéndose suponer que a estas edades las plantas poseen una mayor capacidad de recuperación, que le permite no sufrir alteraciones notables en su metabolismo.

El efecto negativo de la falta de aireación, disminuyendo el crecimiento, rendimiento y desarrollo vegetativo de las plantas ha sido informado por varios autores (15, 16, 20, 33).

La reducción de 90,0% en los rendimientos en plantas de la variedad '27-R' encontrados por Forsythe y Pinchinat (13) fue confirmada por los resultados encontrados en este trabajo que fue de 56,3% y supuestamente indica que en el suelo debe haber otros factores que actúan negativamente cuando falta la aireación.

Las curvas de consumo de O_2 (Figs. 2 a 13) muestran la misma tendencia, o sea que el mayor consumo ocurre entre los 30-50 días de edad, período ese de mayor actividad fisiológica. Al final del ciclo se nota una tendencia a elevar nuevamente su valor, período en que los frutos ya están fisiológicamente maduros y el embrión formado, que según parece comienza a respirar.

El desarrollo de la parte aérea fue afectado negativamente así como el sistema radical, resultado este que comprueba los encontrados por Shive (33). También el sistema radical fue fuertemente afectado por la falta de aireación, reduciendo su volumen y peso seco, resultado similar fue encontrado por Hewitt (16).

Los períodos que más afectan al desarrollo foliar no solo dependen de la época sino que lo más importante es el tiempo sin aireación en que se quedan las raíces así como la concentración a que llega el anhídrido carbónico (32).

Sin excepción, las plantas que recibieron períodos anaeróbicos inducidos mostraron desde el inicio del ciclo que durante períodos de falta de aireación disminuyen la absorción de agua y así que la aireación era repuesta volvían a aumentar su consumo, observación esa que contradice los resultados de Hewitt (16) que encontró que

la falta de aireación en el sistema radical no impide la absorción de agua, impidiendo solamente la absorción de iones. Por otra parte, el resultado de este estudio, confirma Russell (32) que indica que la absorción de agua requiere un buen aporte de oxígeno, porque si las células no son activas no pueden mantener sus membranas en el estado de semi-permeabilidad requerido por la vida, es decir, que la absorción de agua requiere energía, energía sea fortalecida en el proceso respiratorio.

Los resultados de absorción de macroelementos muestran que el N, K y Ca fueron absorbidos en cantidades relativamente altas por las dos variedades estudiadas, aunque para todos los macroelementos los mayores consumos fueron encontrados en la variedad 'Turrialba-4'.

Con respecto a la absorción de N se notó que entre las plantas que recibieron períodos anaeróbicos en su sistema radical casi no hubo diferencias en consumo, hecho ese, que según Shive (33) es lo que normalmente ocurre, pues encontró que la absorción de nitrógeno en forma de nitratos es incrementada cuando existe una baja concentración de oxígeno. Como el nitrógeno usado en solución nutritiva del presente estudio es casi en su totalidad colocado en forma de nitrato el resultado encontrado aquí se podría considerar confiable.

Para este elemento las curvas de consumo (Figs. 15 a 20) mostraron la misma tendencia creciente, donde inicialmente hubo un aumento continuo en consumo hasta llegar alrededor de los 30-40 días de edad, época en la cual la absorción es aparentemente máxima y se estabiliza por corto período de tiempo, para en seguida comenzar a decrecer. Se observó que bajo los efectos de los varios tratamientos las plantas de la variedad 'Turrialba-4' mostraron un mayor consumo de este elemento.

Para fósforo se observó haber una diferencia en cuanto a absorción de este elemento, visto que las variedades estudiadas mostraron diferentes tipos de respuesta, habiendo un efecto negativo para las plantas de la variedad 'Turrialba-4' en cuanto que para la variedad '27-R' los valores de la absorción se mostraron erráticos.

Las curvas de consumo para este elemento (Figs. 21 a 26) mostraron la misma tendencia, pero variando para cada variedad la época de máxima absorción. En la variedad '27-R' el aumento inicial del consumo hasta alcanzar su pico máximo alrededor de los 33 días de edad no fue tan acentuado como la disminución en la absorción que presentó una caída más marcada. La excepción en esta variedad fue encontrada en las plantas sometidas al tratamiento T_5 que presentaron un consumo inicial más acentuado que las demás plantas, alcanzando su pico máximo entre los 40-45 días de edad, donde se estabilizó para comenzar a decrecer. En cuanto a la variedad 'Turrialba-4' el consumo inicial fue más pronunciado y la máxima absorción ocurrió en torno de los 45 días de edad, comenzando a decrecer lentamente. Aquí también se encontró un mayor consumo por parte de la variedad 'Turrialba-4'.

Potasio fue el elemento que las plantas de ambas variedades tomaron en mayor cantidad, notándose aquí también un mayor consumo de la variedad 'Turrialba-4' que mostró resultados de una manera no esperada, pues hubo diferentes respuestas bajo efecto de los varios tratamientos anaeróbicos, en cuanto que para la variedad '27-R' los tratamientos produjeron los efectos esperados y encontrados, en la literatura, citados por Jacobson (22) que informa que debe haber un mayor consumo de O_2 para que haya una mayor toma de potasio, pues aumentándose la concentración de anhídrido carbónico hay una

paralización de los movimientos citoplasmáticos disminuyendo la absorción de potasio.

En las Figuras 27 a 32 están representadas las curvas de consumo de este elemento para ambas variedades, notándose que en la variedad '27-R' que el aumento inicial en consumo fue diferente entre las plantas sometidas a los tratamientos intermitentes e individuales, siendo que estos últimos indujeron las plantas a un mayor consumo inicial. La máxima absorción por las plantas bajo los efectos de los tratamientos entre los 30-35 días de edad, decreciendo en seguida, mientras que las plantas sometidas a los tratamientos individuales la máxima absorción ocurrió entre 35-45 días de edad, comenzando entonces la bajada en consumo.

Para la variedad 'Turrialba-4' el consumo inicial por las plantas bajo los varios tratamientos presentó una tendencia acentuada en elevarse rápidamente, alcanzando los picos máximos de absorción entre los 35-45 días de edad, bajando en seguida hasta el final del ciclo de vida.

Entonces, con respecto al período de máxima absorción aparente de nutrimentos se encontró que los mayores aumentos en consumo ocurren durante la época de formación y desarrollo de los frutos, período ese que coincide con los picos máximos de consumo de O_2 ya que el proceso de absorción es activo requiriendo por lo tanto energía, cedida en el proceso de la respiración. Esto concuerda plenamente con Russel (32) quien indica que la absorción de nutrimentos constituye una parte del proceso de la respiración de las células radiculares, las cuales únicamente pueden funcionar normalmente en un suelo que esté adecuadamente aireado, cesando sus funciones antes que sean físicamente lesionadas por condiciones desfavorables, aunque pueda

haber excepciones, donde plantas permiten la difusión del O_2 de la atmósfera hasta las células absorbentes a través de células especiales que existen en sus tallos y raíces, fenómeno ese no conocido en frijol (21).

La capacidad de producción de biomasa total parece estar en proporción a la cantidad absorbida de nutrimentos, visto que la variedad trepadora 'Turrialba-4' muestra mayores producciones tanto en componentes de rendimiento como en componentes de crecimiento que la variedad arbustiva '27-R', lo que indica también no haber solamente diferencias en consumo de iones entre especies, sino también entre variedades de una misma especie, resultado este que comprueba los encontrados por Chávez (10).

Otro efecto negativo esperado para plantas bajo condiciones anaeróbicas fue encontrado en la variedad '27-R' para calcio, en cuanto que para la variedad 'Turrialba-4' esas condiciones en general produjeron efectos positivos, nuevamente comprobando la diferencia inter-varietal y el mayor consumo por parte de esta última variedad parece ser debido a su mayor desarrollo de la parte aérea, pues se sabe que el calcio es un elemento que se acumula en las paredes celulares.

En cuanto al consumo de Mg y S se notó que a partir de la mitad del ciclo algunos tratamientos indujeron las plantas a una excreción de estos elementos en ambas variedades. Según Russel (32) recientes trabajos analíticos, particularmente con elementos trazadores radiactivos, han demostrado que existe de hecho un continuo cambio entre los iones nutritivos del suelo y los de la raíz, aunque no se conocen los factores que rigen este cambio. Carvajal y colaboradores (9) trabajando con plantas de café encontraron que la absorción

puede ser negativa o positiva, excepto para fosfato y NH_4^+ , iones los cuales mostraron prácticamente una absorción positiva y que la rata de absorción de nutrimentos por las plantas aparece diferente para cada nutrimento durante un cierto período o ciclo. También Rodríguez et al (31) indican que las plantas experimentan cambios súbitos en la velocidad de absorción de nutrimentos, asociados con alteraciones metabólicas naturales y que en plantas de cacao la excreción de Mg ocurrió durante la maduración. Los resultados encontrados por esos investigadores comprueban el intercambio iónico entre las raíces y el medio en que se encuentran. Por las observaciones hechas en el sistema radical durante el período de vida de las plantas, parece haber contribuido a esa excreción la muerte de parte del sistema radical, ocasionando una liberación de iones.

En cuanto al contenido de macroelementos encontrados en hojas se observó que las plantas de la variedad 'Turrialba-4' presentan un mayor porcentaje foliar de macroelementos bajo los diferentes tratamientos, aunque los testigos mostraron valores menores para esta variedad, lo que indica una otra diferencia inter-varietal.

Determinándose los índices fisiológicos en cuanto a la eficiencia en uso de la radiación total por las dos variedades estudiadas, se comprueba que la variedad 'Turrialba-4' utiliza mejor ese factor, mismo bajo iguales períodos anaeróbicos en que se sometió la variedad '27-R'. Como se observó, las plantas de variedad '27-R' fueron más afectadas negativamente en los componentes de crecimiento y rendimiento lo que la hizo presentar mayores índices de cosecha K que la variedad 'Turrialba-4'. Aunque haya ocurrido ese aumento la variedad 'Turrialba-4' como presentó mayores rendimientos, se podría considerar como la indicada para regiones húmedas.

6. CONCLUSIONES

1. Existe un período dentro del ciclo de vida del frijol donde el consumo de O_2 es máximo, correspondiendo a la época de inicio de floración y desarrollo de frutos. En esa época períodos intermitentes de falta y presencia de aire que no permiten una recuperación fisiológica de las raíces, en general, producen una notable reducción de la actividad de formación de las diferentes partes de la planta.
2. Los efectos de la falta de aireación en determinados períodos específicos del ciclo de vida de la planta parece no tener mucha influencia, puesto que las plantas mostraron una alta capacidad de recuperar su actividad y alcanzar un gran desarrollo.
3. La producción de biomasa y sus componentes fue más afectada por los períodos anaeróbicos en la variedad '27-R' que en la variedad 'Turrialba-4', donde se observó que el ciclo de vida de las plantas en ambas variedades se acortó o se alargó dependiendo del período de aplicación del tratamiento. Períodos intermitentes causaron una disminución en ciclo de vida en cuanto que períodos anaeróbicos durante una determinada época alargaron el ciclo.
4. La falta de aireación en el sistema radical causó grande variación en el peso de semillas, principal componente de rendimiento siendo que la falta de aireación en determinado período y duración, comprendido entre los 30-50 días favoreció en ambas variedades un aumento en peso en comparación con el testigo.
5. La absorción de macroelementos es máxima cuando el consumo de O_2 es máximo, período ese comprendido entre los 30-50 días, época de mayor actividad fisiológica de plantas.

6. Las plantas de frijol poseen capacidad para tolerar ciertos períodos anaeróbicos, habiendo diferencia en comportamiento entre variedades, siendo que la variedad '27-R' en general fue más afectada negativamente que la variedad 'Turrialba-4' en casi todas las variables estudiadas, por tanto, siendo la variedad 'Turrialba-4' más resistente a la falta de aireación y mejor adaptada a zonas planas afectadas por falta de aireación en el suelo.
7. El presente trabajo, en base a los resultados encontrados, apoya la teoría de la diferencia inter-varietal, así como la importancia de los sistemas de drenaje en estas zonas y comprueba que puede, ese método desde que bien perfeccionado y trabajándose con menor número de plantas ser utilizado para obtener respuesta en tolerancia a la falta de aireación, así como su adaptación a zonas que presentan ese fenómeno.
8. Por observaciones hechas, se observó que la velocidad de consumo de O_2 es grande y el problema debe ser estudiado también tomándose en cuenta niveles de O_2 .

7. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica, con objeto de determinar diferencias inter-varietales en consumo de oxígeno en diferentes épocas del ciclo de vida y evaluar los efectos de la falta de aireación sobre la absorción de iones y sobre los componentes de rendimiento (pesos de grano o rendimiento, número de vainas a los 50 días y final y peso de 100 semillas) y crecimiento (peso seco total y a los 50 días, peso seco de tallos, peso seco de raíces y área foliar).

Plantas de variedades '27-R' y 'Turrialba-4' fueron cultivadas bajo condiciones de invernadero en solución Hoagland no. 2 y sometidas, a cinco tratamientos de falta de aireación más el testigo. Entre los cinco tratamientos deficientes, tres fueron en períodos determinados del ciclo y dos intermitentes con falta y presencia de aire durante toda la vida de las plantas. El consumo de oxígeno por las raíces fue ubicado en curvas y determinado por un medidor de oxígeno YSI (Yellow Springs Instrument) modelo 51A. Esas medidas fueron hechas a los 15, 33, 51, 66 y 71 días de edad.

De los datos obtenidos se concluyó que entre las variedades estudiadas no hay diferencias en consumo total de oxígeno y que también no hay para consumo de oxígeno por ml de raíz. En casi todas las características que se estudiaron las plantas de frijol de la variedad '27-R' se afectaron más por los tratamientos que las de la variedad 'Turrialba-4' especialmente en los rendimientos, comprobándose a la vez que las plantas de esta última variedad, son más tolerantes a las condiciones deficientes de aireación en zonas planas, donde la difusión de oxígeno es prácticamente inexistente en áreas inundadas.

Las plantas sometidas a tratamientos de 48 h con aireación y 48 sin aireación fueron las más perjudicadas en ambas variedades.

El mayor consumo de nutrimentos ocurrió en todos los tratamientos en una misma época, comprendida entre 30-50 días que coincide con el máximo consumo de O_2 .

Entre las plantas testigo (T_0) de la variedad '27-R' y las plantas T_5 de la variedad 'Turrialba-4' hubo una diferencia en rendimiento de aproximadamente 8,5 g en favor de esta última.

En cuanto a la eficiencia en el uso de la radiación total se observó que la variedad 'Turrialba-4' utiliza mejor ese factor ambiental, a pesar de que los índices de cosecha K, en general, fueron menores para esta variedad, pero así mismo fueron superiores debido a sus rendimientos presentados bajo los diferentes tratamientos al compararse con los de la variedad '27-R'.

7a. SUMMARY

The present investigation was carried out at IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica, to study the inter-varietal differences in oxygen consumption at different stages of the growth cycle and to evaluate the effects of aeration deficiency on ion absorption and on the yield components (grain weight or yield, pod number at 50 days and at the end, and weight of 100 seeds) and growth (total and 50 days' dry weight, dry weight of stems, roots and leaf area).

Plants from the 'Turrialba-4' and '27-R' varieties were grown under greenhouse conditions in Hoagland No. 2 nutrient solution and underwent 5 aeration deficiency treatments plus the control. Of these five treatments, three were at a determined period of the cycle and two were with intermittent air deficiency and presence all during the growth cycle of the plants. Root oxygen consumption was plotted in curves and determined by an oxygen meter model 51A YSI (Yellow Springs Instrument). The measurements were made at 15, 33, 51, 66 and 71 days of age.

From the data obtained it was concluded that there was no difference in total oxygen consumption or in root per ml oxygen consumption for the studied varieties. In almost all the characteristics studied, plants from the '27-R' variety were more affected by the treatments than the 'Turrialba-4' variety, especially in yield, also proving that the plants of the latter variety appear to be more tolerant to aeration deficiency conditions in flat zones where oxygen diffusion is practically nil in flooded areas.

The plants that underwent the 48 h with, 48 h without aeration deficiency treatment were the most harmed in both varieties.

The greater nutrient consumption occurred in all treatments at the same time, which was between 30-50 days, which coincides with the maximum O₂ consumption.

There was a yield difference between the '27-R' variety control (T₀) and the 'Turrialba-4' variety treatment T₅ of approximately 8.5 g in favor of the latter.

As to efficiency in total radiation usage, it was observed that the 'Turrialba-4' variety used this environmental factor best, in spite that the harvest K indexes, in general, were lower for this variety, but even then they were superior due to the yield presented under different treatments when compared with the '27-R' variety.

8. LITERATURA CITADA

1. ALLISON, R. V. y SHIVE, J. W. Studies on the relation of aeration and continuous renewal of nutrient solution to the growth of soybeans in artificial culture. *American Journal of Botany* 10(10):554-556. 1923.
2. ASCENSIO, M. J. Análisis del crecimiento y eficiencia fotosintética del frijol (Phaseolus vulgaris L. var. 'Turrialba-4') cultivado en solución nutritiva. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972 98 p.
3. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official methods of analysis, 9th ed. Washington, D. C., 1960. 1008 p.
4. BLACK, A. C. Soil-plant relationships. New York, John Wiley, 1957. 332 p.
5. BLANPIED, G. D. Determining the respiratory climateric in apple fruits by their consumption of oxygen in water. *In* American Society for Horticultural Science, Proceedings, Maryland, 1965. v. 87, pp. 85-92.
6. BOYNTON, D. Soil atmosphere and the production of new rootlets by apple tree root system. *In* American Society for Horticultural Science, Proceedings. Geneva, New York, 1940. v. 37, pp. 19-26.
7. _____, DE VILLIERS, J. y REUTHER, W. Are the different critical oxygen concentrations for the different phases of root activity? *Science* 88(2294):569-570. 1938.
8. CANNON, W. A. On the relation of root growth and development to the temperature and aeration of the soil. *American Journal of Botany* 2(5):211-224. 1915.
9. CARVAJAL, J. F., ACEVEDO, A. y LOPEZ, C. A. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. *Turrialba* 19(1):13-20. 1969.
10. CHAVEZ, A. L. Características morfo-fisiológicas de las raíces en frijoles (Phaseolus vulgaris y Vigna sinensis). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 81 p.
11. CLARK, H. E. y SHIVE, J. W. Influence of continuous aeration upon the growth of tomato plants in solution cultures. *Soil Science* 34:37-41. 1932.
12. DURELL, W. D. The effect of aeration on growth of the tomato in nutrient solution. *Plant Physiology* 16(2):327-341. 1941.
13. FORSYTHE, W. M. y PINCHINAT, A. M. Tolerancia de la variedad de frijol '27-R' a la inundación. *Turrialba* 21(2):228-231. 1971.

14. GILBERT, S. G. y SHIVE, J. W. The significance of oxygen requirements. *Soil Science* 53:143-152. 1942.
15. HAMMOND, L. C., ALLAWAY, W. H. y LOOMIS, W. E. Effects of oxygen and carbon dioxide levels upon absorption of potassium by plants. *Plant Physiology* 30(2):155-161. 1955.
16. HEWITT, E. J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrient. Maidstone, C.A.B., 1952, cap. 10.0.0, 10.0.1, 8.1.0, 16.2.1.
17. HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. L. The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. Circular No. 347. 1950. 32 p.
18. _____ y BROYER, T. C. General nature of the process of salt accumulation by roots with description of experimental methods. *Plant Physiology* 11(3):471-507. 1936.
19. HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology. Revised ed. San Jose, Costa Rica, Tropical Science Center, 1967. 206 p.
20. HOPKINS, A. T. et al. Growth and nutrient accumulation as controlled by oxygen supply to plant roots. *Plant Physiology* 25: 193-209. 1950.
21. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA. CENTRO INTERAMERICANO DE DOCUMENTACION E INFORMACION AGRICOLA. Frijol (Phaseolus spp.). Ed. acum. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 299 p. (IICA Bibliografía no. 4).
22. JACOBSON, L. et al. Effects of various concentrations of carbon dioxide on respiration and potassium uptake in barley roots. *Physiologia Plantarum* 21(1):119-126. 1968.
23. JIMENEZ, E. et al. Un método para medir volumen radical de plantas de cacao (Theobroma cacao L.) cultivadas en hidroponia. *Turrialba* 17(1):98-101. 1967.
24. KRAMER, P. J. y KOZLOWSKI, T. T. *Physiology of trees*. New York, McGraw-Hill, 1960. pp. 187-190, 413, 504-508.
25. LEONARD, O. A. y PINCKARD, J. A. Effect of various oxygen and carbon dioxide concentrations on cotton root development. *Plant Physiology* 21:18-36. 1946.
26. LOAYZA, J. M. Respuesta de tres variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.) a tres tensiones osmóticas en soluciones nutritivas. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 57 p.

27. LUXMOORE, R. J. y STOLZY, L. H. Oxygen diffusion in the soil-plant system. V. Oxygen concentration and temperature effects on oxygen relations predicted for maize roots. *Agronomy Journal* 64(6):720-725. 1972.
28. MORI, H. Technique for growing deciduous fruit trees in water culture. *In* American Society of Horticultural Science, *Proceedings*. Geneva, New York, 1966. v. 88, pp. 253-261.
29. MÜLLER, L. Un aparato micro-Kjeldahl para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. *Turrialba* 11(1):17-25. 1961.
30. PEPKOWITZ, L. P. y SHIVE, J. W. The importance of oxygen in the nutrient substrate for plants-ion absorption. *Soil Science* 57:143-154. 1944.
31. RODRIGUEZ, R. M. *et al.* Requerimientos nutricionales del cacao durante un ciclo anual. *Cacao (Costa Rica)* 8(4):1-7. 1963.
32. RUSSELL, J. E. y RUSSELL, E. W. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Madrid, Aguilar, 1954. 770 p.
33. SHIVE, J. W. The balance of ions and oxygen tension in nutrient substrates for plants. *Soil Science* 51:445-459. 1941.
34. STELL, R.G.D. y TORRIE, J. H. Principles and procedures statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.
35. ZIMMERMAN, P. W. Oxygen requirements for roots growth of cuttings in water. *American Journal of Botany* 17(8):842-861. 1930.
36. WILLEY, C. R. Effects of short periods of anaerobic and near-anaerobic conditions on water uptake by tobacco roots. *Agronomy Journal* 62(2):224-229. 1970.

9. APENDICE

Cuadro 1. Consumo total de O_2 (mg/h/planta) por raíces de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
15	2,25a	0,75b	1,50c	2,25a	2,25a	2,25a
33	11,75a	17,45b	17,00b	5,99c	14,97d	11,75a
51	9,47a	7,00b	8,00b	11,56c	5,25d	16,45e
66	7,00a	3,70b	5,50c	4,72c	4,25c	5,47c
71	7,50a	7,50a	1,87b	8,62c	7,12a	7,12a
15	100,0	-66,6	-33,3	0,0	0,0	0,0
33	100,0	48,5	44,6	-49,0	27,4	0,0
51	100,0	-26,1	-15,5	22,0	-44,6	73,6
66	100,0	-47,1	-21,4	-32,5	-39,2	-21,7
71	100,0	0,0	-75,0	15,0	-5,0	-5,0

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por la misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 2. Consumo total de O_2 (mg/h/planta) por raíces de frijol, var. 'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos.

Edades	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
15	2,25a	0,75b	1,50c	2,25a	2,25a	2,25a
33	16,20a	19,50b	19,27b	9,00c	16,50a	16,20a
51	16,72a	11,75b	8,47b	21,97c	18,00a	25,05c
66	10,50a	5,25b	6,52b	5,25b	5,25b	11,02a
71	8,25a	9,00a	1,50b	3,00c	7,12d	8,62a
15	100,0	-66,6	-33,3	0,0	0,0	0,0
33	100,0	20,3	18,9	-44,4	1,8	0,0
51	100,0	-29,7	-49,3	31,4	7,6	49,7
66	100,0	-50,0	-37,8	-50,0	-50,0	5,0
71	100,0	9,1	-81,8	-63,6	-13,6	4,5

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 3. Cuadrados medios del consumo total de oxígeno (mg/hora) en plantas de frijol variedades '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	576,856*
Variedad	1	268,460 ns
Tratamiento x Variedad	5	62,038 ns
Error	168	231,959

ns = sin diferencia significativa

* = diferencia significativa al 0,05

Cuadro 4. Cuadrados medios del consumo de oxígeno /hora/ml de raíz (mg/ml) en plantas de frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	0,375 *
Variedad	1	0,052 ns
Tratamientos x Variedad	5	0,018 ns
Error	168	0,016

ns = sin diferencia significativa

* = hay diferencia significativa al 0,05

Cuadro 5. Cuadrados medios del rendimiento en plantas de frijol variedades '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	1758,759 *
Variedades	1	4040,296 *
Tratamiento x Variedades	5	308,056 *
Error	36	48,075

* = hay diferencia significativa al 0,05

Cuadro 6. Consumo de O_2 (mg/h/ml de raíz) por raíces de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T r a t a m i e n t o s					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
15	0,1473a	0,0527b	0,1144c	0,1473a	0,1473a	0,1473a
33	0,2688a	0,4243b	0,4659b	0,1450c	0,3499d	0,2688a
51	0,0716a	0,0626a	0,1323b	0,0982b	0,0485a	0,1261b
66	0,0458a	0,0295b	0,0791c	0,0364a	0,0357a	0,0381a
71	0,0455a	0,0568a	0,0278b	0,0612a	0,0438a	0,0491a
15	100,0	-64,2	-22,3	0,0	0,0	0,0
33	100,0	57,8	73,3	-46,0	30,1	0,0
51	100,0	-12,5	84,7	37,1	-32,2	76,1
66	100,0	-35,6	72,7	-20,5	-22,0	-16,8
71	100,0	24,8	-38,9	34,5	-3,7	7,9

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 7. Consumo de O_2 (mg/h/ml de raíz) por raíces de frijol var. 'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T r a t a m i e n t o s					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
15	0,2625a	0,0982b	0,2339a	0,2625a	0,2625a	0,2625a
33	0,3272a	0,4873b	0,4952b	0,3202a	0,2672a	0,3272a
51	0,1079a	0,1106a	0,1091a	0,1120a	0,1343a	0,1516b
66	0,0429a	0,0317b	0,0733c	0,0249b	0,0303b	0,0591d
71	0,0335a	0,0526b	0,0160c	0,0136c	0,0369a	0,0452d
15	100,0	-62,6	-10,9	0,0	0,0	0,0
33	100,0	48,9	51,3	-2,1	-18,3	0,0
51	100,0	2,5	1,1	3,8	24,4	40,5
66	100,0	-26,1	70,8	-41,9	-29,3	37,7
71	100,0	57,0	-52,2	-59,4	10,1	34,9

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 8. Efecto de varios tratamientos de aireación sobre los componentes del rendimiento en frijol var. '27-R'. Se incluye valores reales, significancia*, diferencias entre porcentajes relativos y absición de frutos**

Variables	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Rendimiento (g)	79,83a	54,59b	34,46c	50,84b	53,31b	50,64b
N ^o vainas (50 días)	57 a	36 b	18 c	58 a	36 b	51 a
N ^o vainas (final)	35 a	24 b	18 c	22 b	26 b	23 b
Peso 100 semillas (g)	47,34a	48,35a	37,17b	45,67a	47,84a	51,82c
Rendimiento	100,0	-30,7	-56,3	-35,5	-32,3	-35,7
N ^o vainas (50 días)	100,0	-36,8	-68,4	1,7	-36,8	-10,5
N ^o vainas (final)	100,0	-31,4	-48,5	-37,1	-35,7	-34,3
Peso 100 semi-llas	100,0	2,1	-21,4	- 3,5	1,0	9,4
Absición de frutos	-38,6	-33,3	0,0	-62,0	-27,7	-54,9

*Prueba de Duncan. Los tratamientos con la misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad,

**N^o vainas a los 50 días - N^o vainas al finalizar el cultivo

Cuadro 9. Efecto de varios tratamientos de aireación sobre los componentes de rendimiento en frijol var. 'Turrialba-4'. Se incluyen valores reales, significancia*, diferencias entre porcentajes relativos y absición de frutos**

Variables	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Rendimiento (g)	83,96a	76,56b	38,86c	71,51b	75,45b	87,44a
N ^o vainas (50 días)	146 a	117 b	73 c	125 b	87 d	92 d
N ^o vainas (final)	79 ab	72 b	42 c	82 a	71 b	70 b
Peso 100 semillas (g)	16,45a	18,07ac	17,60ac	13,47b	19,15c	16,72a

Rendimiento	100,0	-8,9	-53,7	-14,8	-10,1	4,1
N ^o vainas (50 días)	100,0	-19,8	-50,0	-14,3	-40,4	-36,7
N ^o vainas (final)	100,0	-8,8	-46,8	3,8	-10,1	-11,4
Peso 100 semillas	100,0	9,8	7,0	-18,1	16,4	1,6

Absición de frutos	-45,9	-38,4	-42,4	-34,4	-18,4	-23,9

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por la misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

** N^o de vainas a los 50 días - N^o de vainas al finalizar el cultivo.

Cuadro 10. Efecto de varios tratamientos de aireación sobre los componentes del crecimiento en frijol var. '27-R'. Se incluyen valores reales, significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Variables	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Peso seco total (g)	160,17a	93,97bd	51,95c	102,50b	87,22d	103,87b
Peso seco raíces (g) (50 días)	16,90a	5,76b	3,43c	7,10b	6,03b	6,53b
Peso seco tallos (g) (50 días)	25,13a	14,10b	5,53c	21,20d	11,26e	20,00d
Area foliar (dm ²) (50 días)	111,30ad	74,80b	28,47c	118,67a	74,11b	106,60d

Peso seco total	100,0	-41,3	-67,5	-36,0	-45,5	-35,1
Peso seco raíces	100,0	-65,9	-79,7	-58,0	-64,3	-61,3
Peso seco tallos	100,0	-43,9	-78,0	-15,6	-55,1	-20,4
Area foliar	100,0	-32,8	-74,4	6,6	-33,4	-4,2

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 11. Efecto de varios tratamientos de aireación sobre los componentes del crecimiento en frijol var. 'Turrialba-4'. Se incluyen valores reales, significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Variables	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Peso seco total (g)	184,62a	145,57b	75,30c	164,47de	159,57e	173,17d
Peso seco raíces (g) (50 días)	15,20a	6,86bd	4,06c	8,36d	10,16b	14,90a
Peso seco tallos (g) (50 días)	32,83a	22,20b	11,56c	30,93a	26,16d	29,50ad
Area foliar (dm ²) (50 días)	171,69a	149,04b	52,76c	180,54d	167,29a	159,03e
Peso seco total	100,0	-21,1	-59,2	-10,9	-13,5	-6,2
Peso seco raíces	100,0	-54,8	-73,3	-45,0	-33,1	-1,9
Peso seco tallos	100,0	-32,3	-64,8	-5,8	-20,3	-10,1
Area foliar	100,0	-13,2	-69,2	5,1	-2,5	-7,3

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestra diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 12. Cuadrados medios del peso seco de raíces a los 50 días de edad en plantas de frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	74,709 *
Variedades	1	47,897 *
Tratamientos x Variedades	5	51,471 *
Error	24	0,994

* = hay diferencia significativa al 0,05

Cuadro 13. Cuadrados medios del área foliar a los 50 días de edad en plantas de frijol variedades '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	5062,861 *
Variedades	1	121655,422 *
Tratamientos x Variedades	5	2074,539 *
Error	24	3,178

* = diferencia significativa al 0,05

Cuadro 14. Cuadrados medios del contenido foliar de macroelementos en plantas de frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4' a los 50 días de edad

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	0,187 *
Variedades	1	0,118 *
Tratamientos x Variedades	5	0,277 *
Error	72	0,003

* = diferencia significativa al 0,05

Cuadro 15. Cuadrados medios del consumo de nitrógeno por plantas de frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	1923020,252 *
Variedad	1	1242370,752 ns
Tratamiento x Variedad	5	350548,875 ns
Error	132	729068,450

ns = sin diferencia significativa

* = diferencia significativa al 0,05

Cuadro 16. Cuadrados medios del consumo de fósforo por plantas de frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	49773,500 ns
Variedad	1	84187,437 ns
Tratamiento x Variedad	5	26172,437 ns
Error	132	112955,132

ns = sin diferencia significativa

Cuadro 17. Cuadrados medios del consumo de potasio por plantas de frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	3776136,505 ns
Variedad	1	3620457,506 ns
Tratamiento x Variedad	5	574694,501 ns
Error	132	1832322,852

ns = sin diferencia significativa

* = diferencia significativa al 0,05

Cuadro 18. Cuadrados medios del consumo de calcio por plantas de frijol variedades '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	988951,501 *
Variedad	1	650106,251 ns
Tratamientos x Variedad	5	59112,156 ns
Error	132	391821,664

ns = sin diferencia significativa

* = diferencia significativa al 0,05

Cuadro 19. Cuadrados medios del consumo de magnesio por plantas de frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	89464,640 ns
Variedad	1	152783,281 ns
Tratamientos x Variedad	5	19029,418 ns
Error	132	50517,941

ns = sin diferencia significativa

Cuadro 20. Cuadrados medios del consumo de azufre por plantas de frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4'

FV	GL	Cuadrados medios
Tratamientos	5	37628,773 ns
Variedad	1	57025,828 ns
Tratamientos x Variedad	5	16101,847 ns
Error	132	31928,681

ns = sin diferencia significativa

Cuadro 21. Consumo de macroelementos (mg) por plantas de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Elementos	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
N	3257a	2142b	2645c	3183d	3170d	4188e
P	532a	555a	465a	506a	506a	784b
K	4387a	3720b	2103c	3272d	3200d	4072e
Ca	1863a	1349b	1009c	1390b	1423b	1771a
Mg	327a	257b	197c	225bc	212c	319a
S	197a	77b	92bc	130cd	116c	156d
N	100,0	-39,2	-25,0	-9,7	-10,1	18,7
P	100,0	4,4	-12,4	-4,8	-4,8	47,5
K	100,0	-15,2	-52,0	-25,4	-27,0	-7,1
Ca	100,0	-27,5	-45,8	-25,3	-23,6	-4,9
Mg	100,0	-21,4	-39,7	-31,2	-35,0	-2,3
S	100,0	-60,7	-53,1	-34,1	-40,8	-20,7

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al 0,05 de probabilidades.

Cuadro 22. Consumo de macroelementos (mg) por plantas de frijol var. -'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Elementos	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
N	4134a	4555b	3136c	3533d	3201a	4941e
P	775a	758a	633b	752a	756a	831c
K	5050a	5302a	2207b	4642c	5603d	5563d
Ca	2005a	2103a	1401b	2021a	2283a	2217a
Mg	564a	566a	236b	500c	613d	621d
S	369a	297b	98c	326d	328d	306bd
N	100,0	9,9	-24,1	-14,5	1,8	19,5
P	100,0	-2,0	-18,2	-2,9	-2,3	7,2
K	100,0	4,9	-56,3	-8,0	10,9	10,1
Ca	100,0	4,9	-30,1	0,7	13,8	10,5
Mg	100,0	0,3	-58,0	-11,2	8,7	10,1
S	100,0	-19,4	-73,4	-11,5	-11,1	-17,1

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 23. Porcentaje de macroelementos en base a materia seca contenido en hojas de frijol var. '27-R' a los 50 días. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos.

Variables	Tratamientos					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
N	4,32a	4,29a	3,66b	4,39a	5,02c	3,93d
P	0,45a	0,43a	0,40b	0,53c	0,63d	0,43a
K	1,58a	1,70a	1,83a	1,18b	1,22b	1,86a
Ca	1,96a	1,60b	1,05c	1,96a	1,62b	2,20a
Mg	0,19a	0,19a	0,16b	0,17b	0,18b	0,22a
S	0,13a	0,14a	0,13a	0,13a	0,15b	0,13a
<hr/>						
N	100,0	-0,7	-15,2	1,6	16,2	-9,0
P	100,0	-4,4	-11,1	17,7	40,0	-4,4
K	100,0	7,6	15,8	25,3	-22,7	17,7
Ca	100,0	-18,3	-46,4	0,0	-17,3	12,2
Mg	100,0	0,0	-15,8	-10,5	-5,2	15,7
S	100,0	7,7	0,0	0,0	15,3	0,0

*Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 24. Porcentaje de macroelementos en base a materia seca contenido en hojas de frijol var. 'Turrialba-4' a los 50 días. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Variables	T r a t a m i e n t o s					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
N	4,29a	4,71b	3,77c	4,46d	5,13e	4,49d
P	0,41a	0,40a	0,30b	0,47c	0,48c	0,40a
K	1,40a	1,56b	1,74c	1,93d	1,18e	1,10e
Ca	1,13a	1,35b	1,09a	1,30b	1,59c	1,26b
Mg	0,19a	0,22b	0,18a	0,26c	0,23b	0,18a
S	0,15a	0,16a	0,14b	0,16a	0,16a	0,15a
N	100,0	9,8	-12,1	3,9	19,5	4,6
P	100,0	-2,4	-26,8	14,6	17,0	-2,4
K	100,0	11,4	24,3	37,8	-15,7	-21,4
Ca	100,0	19,4	-3,5	15,0	40,7	11,5
Mg	100,0	15,8	-5,2	36,8	21,0	-5,2
S	100,0	6,6	-6,6	6,6	6,6	0,0

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 25. Consumo de N (mg) por plantas de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos.

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	829 a	845 a	794 a	829 a	829 a	829 a
30-45	1428 a	1203 b	1190 b	1428 a	1203 b	1428 a
45-60	846 a	753 b	502 c	687 b	859 a	1243 d
60-72	423 a	423 a	158 b	238 b	277 b	687 c
Total	3527 a	2142 b	2645 c	3183 d	3170 d	4188 e

09-30	100,0	1,9	-4,2	0,0	0,0	0,0
30-45	100,0	-15,7	-16,6	0,0	-15,7	0,0
45-60	100,0	-10,9	-40,6	-18,7	1,5	46,8
60-72	100,0	0,0	-62,5	-43,7	-34,3	62,5
Total	100,0	-39,2	-25,0	-9,7	-10,1	18,7

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 26. Consumo de N (mg) por planta de frijol var. 'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	907 a	782 b	703 c	732 c	907 a	907 a
30-45	1362 a	1381 a	1176 b	1428 c	1454 c	1362 a
45-60	1362 a	1401 a	1031 b	1041 b	1041 b	1401 a
60-72	502 a	978 b	224 c	330 c	806 d	1269 e
Total	4134 a	4544 b	3136 c	3533 d	4210 a	4941 e
09-30	100,0	-13,7	-22,5	-19,2	0,0	0,0
30-45	100,0	1,4	-13,6	4,8	6,8	0,0
45-60	100,0	2,9	-24,2	-23,5	-23,5	-23,5
60-72	100,0	94,7	-55,2	-34,2	60,5	152,6
Total	100,0	9,9	-24,1	-14,5	1,8	19,5

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 27. Consumo de P (mg) por plantas de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos.

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	161 a	155 a	120 b	147 a	161 a	161 a
30-45	240 a	240 a	234 b	240 a	240 a	240 a
45-60	109 a	108 a	79 a	69 a	87 a	238 b
60-72	23 a	52 a	30 a	49 a	17 a	145 b
Total	532 a	555 a	465 a	506 a	506 a	784 b

09-30	100,0	-3,8	-25,2	-8,5	0,0	0,0
30-45	100,0	0,0	-2,1	0,0	0,0	0,0
45-60	100,0	-1,1	-27,3	-36,4	-20,2	117,3
60-72	100,0	127,1	32,6	114,1	-25,0	531,1
Total	100,0	4,4	-12,4	-4,8	-4,8	47,5

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 28. Consumo de P (mg) por plantas de frijol var. 'Turrrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	135 a	135 a	101 b	133 a	135 a	135 a
30-45	240 a	240 a	235 b	240 a	240 a	240 a
45-60	238 a	238 a	155 b	238 a	238 a	238 a
60-72	161 a	144 a	148 a	140 a	143 a	217 a
Total	775 a	758 a	633 b	752 a	756 a	831 c
09-30	100,0	0,0	-25,0	-1,3	0,0	0,0
30-45	100,0	0,0	-2,0	0,0	0,0	0,0
45-60	100,0	0,0	-34,9	0,0	0,0	0,0
60-72	100,0	-10,4	-8,1	-13,1	-11,4	34,6
Total	100,0	-2,0	-18,2	-2,9	-2,3	7,2

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestra diferencia significativa al nivel del 0,05 de probabilidades.

Cuadro 29. Consumo de K (mg) por plantas de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos.

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	932 a	1080 b	670 c	680 c	932 a	932 a
30-45	1800 a	1720 a	1037 b	1660 a	1407 c	1800 a
45-60	1212 a	622 a	190 b	737 a	830 a	815 a
60-72	442 a	297 a	205 a	195 a	30 b	525 a
Total	4387 a	3720 b	2103 c	3272 d	3200 d	4072 e

09-30	100,0	15,8	-28,1	-27,0	0,0	0,0
30-45	100,0	-4,4	-42,3	-7,7	-21,8	0,0
45-60	100,0	-48,6	-84,3	-39,2	-31,5	-32,7
60-72	100,0	-32,7	-53,6	-55,9	-93,2	18,6
Total	100,0	-15,2	-52,0	-25,4	-27,0	-7,1

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 30. Consumo de K (mg) por plantas de frijol var. 'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	1002 a	985 a	532 b	827 c	1002 a	1002 a
30-45	1815 a	1815 a	1080 b	1815 a	1677 a	1815 a
45-60	1785 a	1762 a	585 b	1785 a	1503 c	1762 a
60-72	447 a	740 ad	10 b	215 b	1420 c	980 d
Total	5050 a	5302 a	2207 b	4642 c	5603 d	5563 d
09-30	100,0	-1,7	-46,8	-17,4	0,0	0,0
30-45	100,0	0,0	-40,5	0,0	-7,5	0,0
45-60	100,0	-1,3	-67,2	0,0	-15,7	-1,2
60-72	100,0	65,3	-97,7	-51,9	217,3	119,0
Total	100,0	4,9	-56,3	-8,0	10,9	10,1

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 31. Consumo de Ca (mg) por plantas de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	192 ac	222 a	177 c	128 d	192 ac	192 ac
30-45	772 a	587 bd	369 c	642 b	525 d	772 a
45-60	689 a	419 b	389 c	559 a	619 a	587 a
60-72	210 a	121 a	72 a	60 b	86 a	219 a
Total	1863 a	1349 b	1009 c	1390 b	1423 b	1771 a

09-30	100,0	15,3	-7,8	-33,2	0,0	0,0
30-45	100,0	-23,9	-52,1	-16,7	-31,9	0,0
45-60	100,0	-39,2	-43,4	-18,8	-10,1	-14,8
60-72	100,0	-42,3	-65,4	-71,4	-58,8	4,5
Total	100,0	-27,5	-45,8	-25,3	-23,6	-4,9

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 32. Consumo de Ca (mg) por plantas de frijol var. 'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	197 a	169 ac	111 b	143 c	197 a	197 a
30-45	867 a	731 b	451 c	887 a	731 b	867 a
45-60	784 ae	848 a	507 b	850 c	965 d	682 e
60-72	157 a	354 b	332 b	140 a	389 b	470 cb
Total	2005 a	2103 a	1401 b	2021 a	2283 a	2217 a
09-30	100,0	-14,2	-43,6	-27,0	0,0	0,0
30-45	100,0	-15,6	-48,0	2,2	-15,6	0,0
45-60	100,0	8,2	-35,2	8,4	24,0	-12,9
60-72	100,0	125,8	111,4	-10,8	149,0	186,9
Total	100,0	4,9	-30,1	0,7	13,8	10,5

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por la misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 33. Consumo de Mg (mg) por plantas de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	19 a	51 b	48 b	15 a	19 a	19 a
30-45	232 a	158 bd	96 c	182 b	132 d	232 a
45-60	84 a	42 a	21 b	29 a	69 a	45 a
60-72	-9 a	5 a	31 a	-1 a	-8 a	22 a
Total	237 a	257 b	197 c	225 bc	212 c	319 a

09-30	100,0	161,5	148,7	-23,0	0,0	0,0
30-45	100,0	-32,0	-58,7	-21,7	-43,2	0,0
45-60	100,0	-49,4	-75,0	-65,4	-17,8	-46,4
60-72	100,0	161,1	450,0	89,0	11,1	350,0
Total	100,0	-21,4	-39,7	-31,2	-35,0	-2,3

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencias al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 34. Consumo de Mg (mg) por plantas de frijol var. 'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	48 a	56 b	29 c	31 c	48 a	48 a
30-45	256 a	255 a	119 b	256 c	205 d	256 a
45-60	276 a	177 b	72 c	267 ae	238 d	262 e
60-72	-17 a	76 b	15 c	-54 a	121 d	54 bc
Total	564 a	566 a	236 b	500 c	613 d	621 d
09-30	100,0	16,5	-39,1	-35,0	0,0	0,0
30-45	100,0	-0,3	-53,4	0,0	-19,8	0,0
45-60	100,0	-35,7	-73,9	-3,2	-13,6	-5,0
60-72	100,0	550,0	191,1	-217,6	811,7	417,6
Total	100,0	0,3	-58,0	-11,2	8,7	10,0

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por la misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 35. Consumo de S (mg) por plantas de frijol var. '27-R' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	9 a	0 a	10 a	10 a	9 a	9 a
30-45	123 a	50 b	26 c	75 b	60 b	123 a
45-60	35 a	-1 a	7 a	11 a	30 a	-5 a
60-72	28 a	28 a	48 a	33 a	17 a	28 a
Total	197 a	77 b	92 bc	130 cd	116 c	156 d

09-30	100,0	-100,0	6,7	6,7	0,0	0,0
30-45	100,0	-59,1	-78,8	-39,4	-51,5	0,0
45-60	100,0	-105,2	-78,9	-68,4	-15,8	-114,5
60-72	100,0	0,0	69,5	17,4	-39,1	0,0
Total	100,0	-60,7	-53,1	-34,1	-40,8	-20,7

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por una misma letra no muestran diferencia significativa al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 36. Consumo de S (mg) por plantas de frijol var. 'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación. Se incluyen significancia* y diferencias entre porcentajes relativos

Edades	T R A T A M I E N T O S					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
09-30	0 a	18 b	0 a	0 a	0 a	0 a
30-45	216 a	137 b	58 c	214 a	139 b	216 a
45-60	155 ab	118 b	-1 c	200 a	117 b	116 b
60-72	-2 a	22 a	41 a	-87 a	71 b	-26 a
Total	369 a	297 b	98 c	326 d	328 d	306 bd
09-30	100,0	1875,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30-45	100,0	-36,4	-72,8	-0,8	-35,5	0,0
45-60	100,0	-23,7	-101,2	28,5	-24,5	-25,3
60-72	100,0	1000,0	1750,0	-3400,0	2950,0	-17,1
Total	100,0	-19,4	-73,4	-11,5	-11,1	-17,1

* Prueba de Duncan. Los tratamientos indicados por la misma letra no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

Cuadro 37. Eficiencia en el uso de la radiación total recibida durante el ciclo de vida ($11.110 \text{ cal x cm}^{-2}$) por el frijol vars. '27-R' y 'Turrialba-4' bajo diferentes tratamientos de aireación

		Variedad '27-R'					
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
<u>Biomasa/planta</u>							
<u>Radiación total ciclo</u>	(g/cal)x10 ²	1,44	0,85	0,47	0,92	0,79	0,93
<u>Peso frijoles/planta</u>							
<u>Radiación total ciclo</u>	(g/cal)x10 ²	0,72	0,49	0,31	0,46	0,48	0,46
<u>Biomasa/planta</u>							
<u>Días ciclo vida</u>	g/día	2,22	1,30	0,72	1,42	1,21	1,44
<u>Peso frijoles/planta</u>							
<u>Días ciclo vida</u>	g/día	1,11	0,75	0,48	0,71	0,74	0,70
K = $\frac{\text{Peso frijoles}}{\text{Biomasa}}$	g/g	0,50	0,58	0,66	0,50	0,61	0,49
		Variedad 'Turrialba-4'					
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
<u>Biomasa/planta</u>							
<u>Radiación total ciclo</u>	(g/cal)x10 ²	1,66	1,31	0,68	1,48	1,44	1,56
<u>Peso frijoles/planta</u>							
<u>Radiación total ciclo</u>	(g/cal)x10 ²	0,76	0,69	0,35	0,64	0,68	0,79
<u>Biomasa/planta</u>							
<u>Días ciclo vida</u>	g/día	2,56	2,02	1,04	2,28	2,21	2,40
<u>Peso frijoles/planta</u>							
<u>Días ciclo vida</u>	g/día	1,16	1,06	0,53	0,99	1,04	1,21
K = $\frac{\text{Peso frijoles}}{\text{Biomasa}}$	g/g	0,45	0,53	0,52	0,43	0,47	0,50

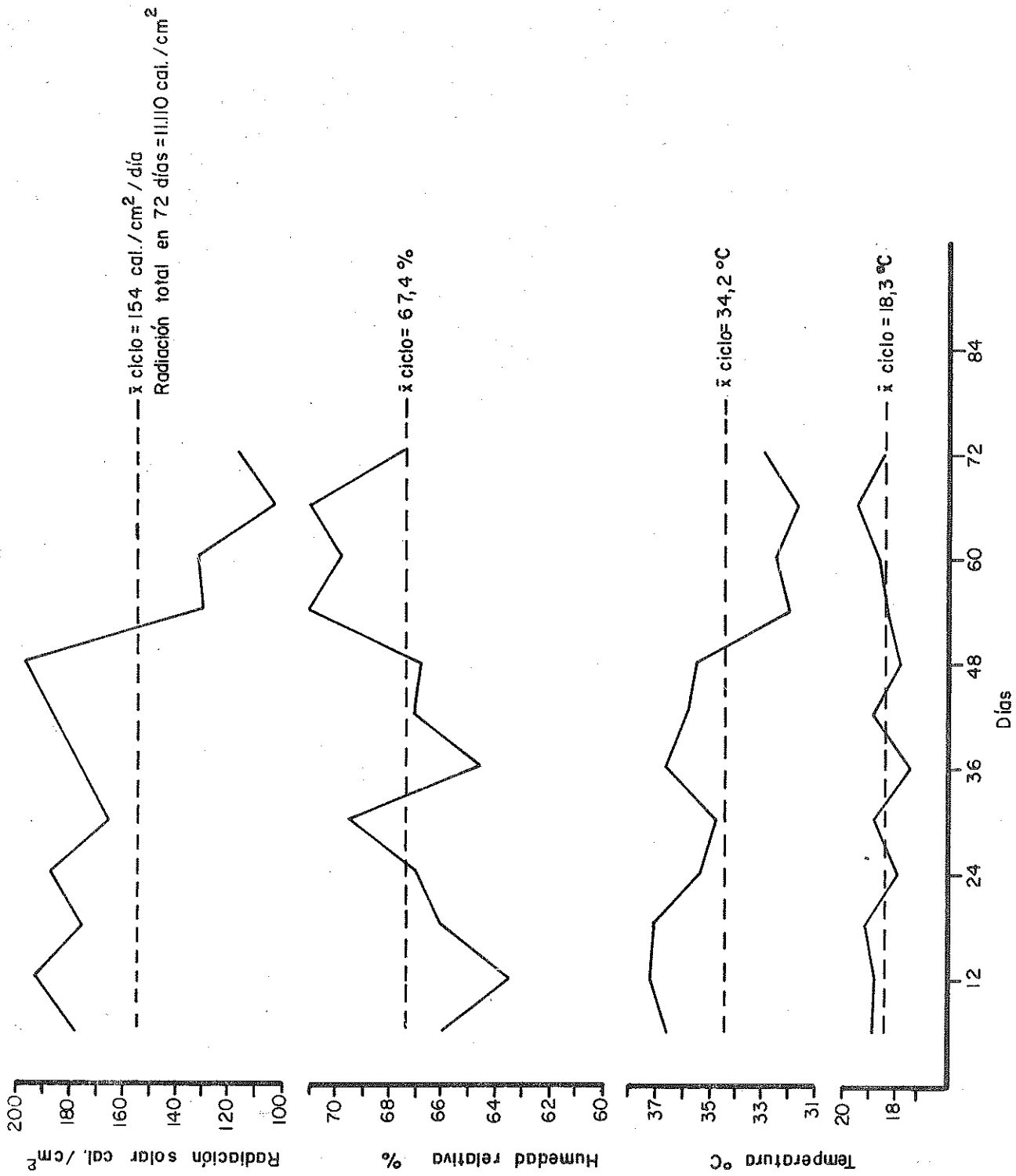


Fig. 1 Promedios de temperatura, humedad relativa y radiación solar durante el experimento (Valores promedios de 6 días)

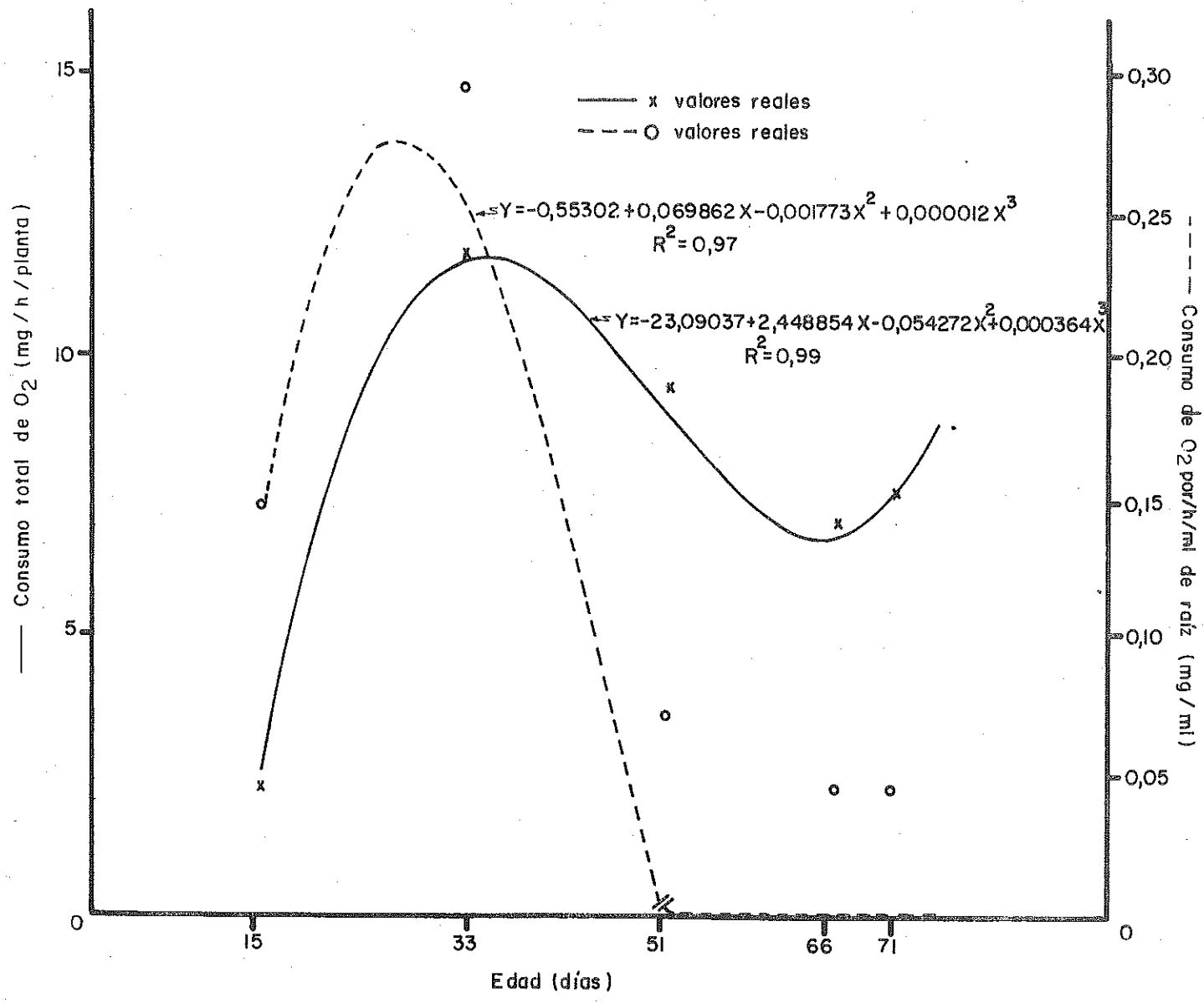


Fig. 2 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad 27-R. Tratamiento To

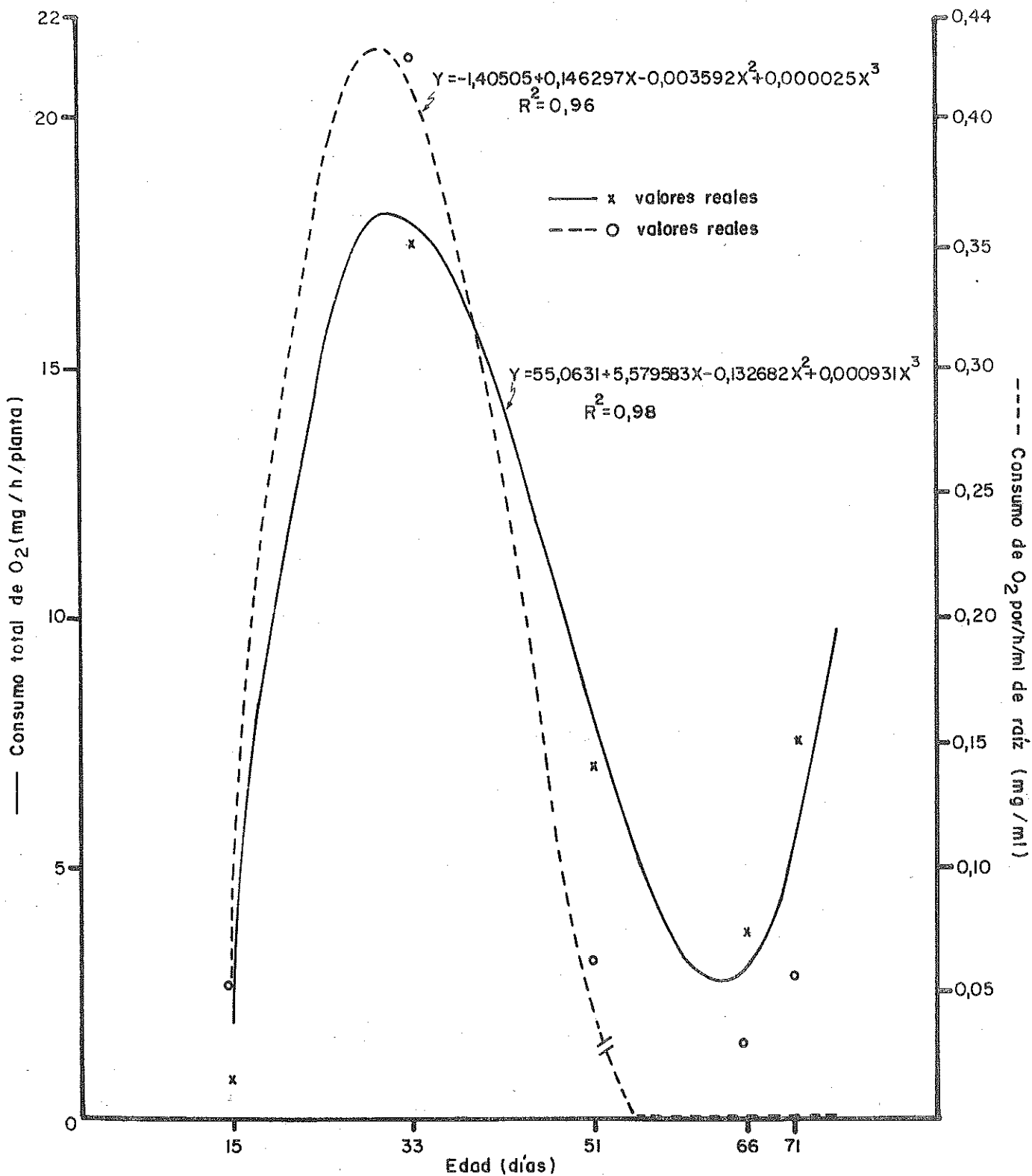


Fig. 3 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad 27-R. Tratamiento T1

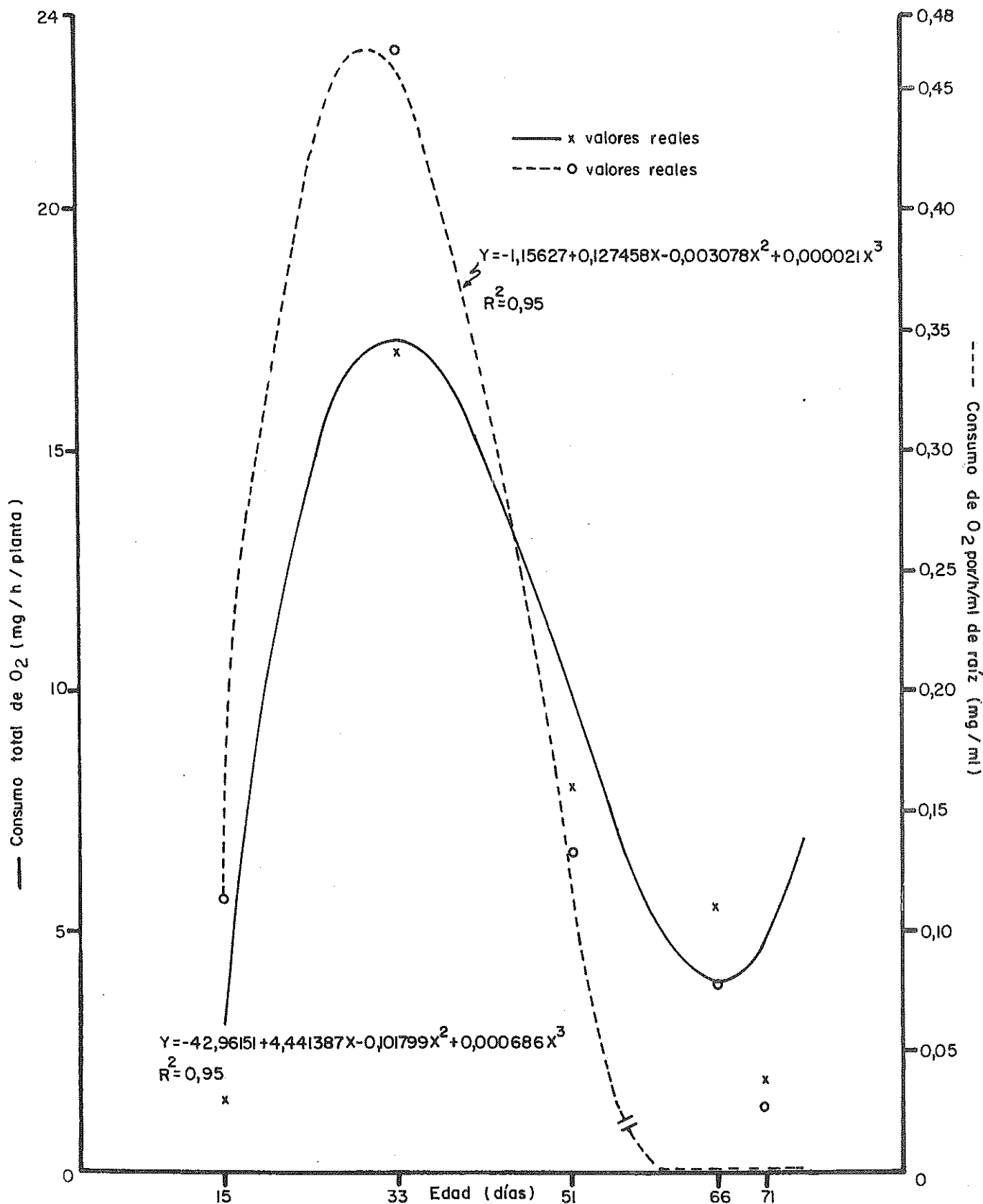


Fig. 4 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad 27-R. Tratamiento T2

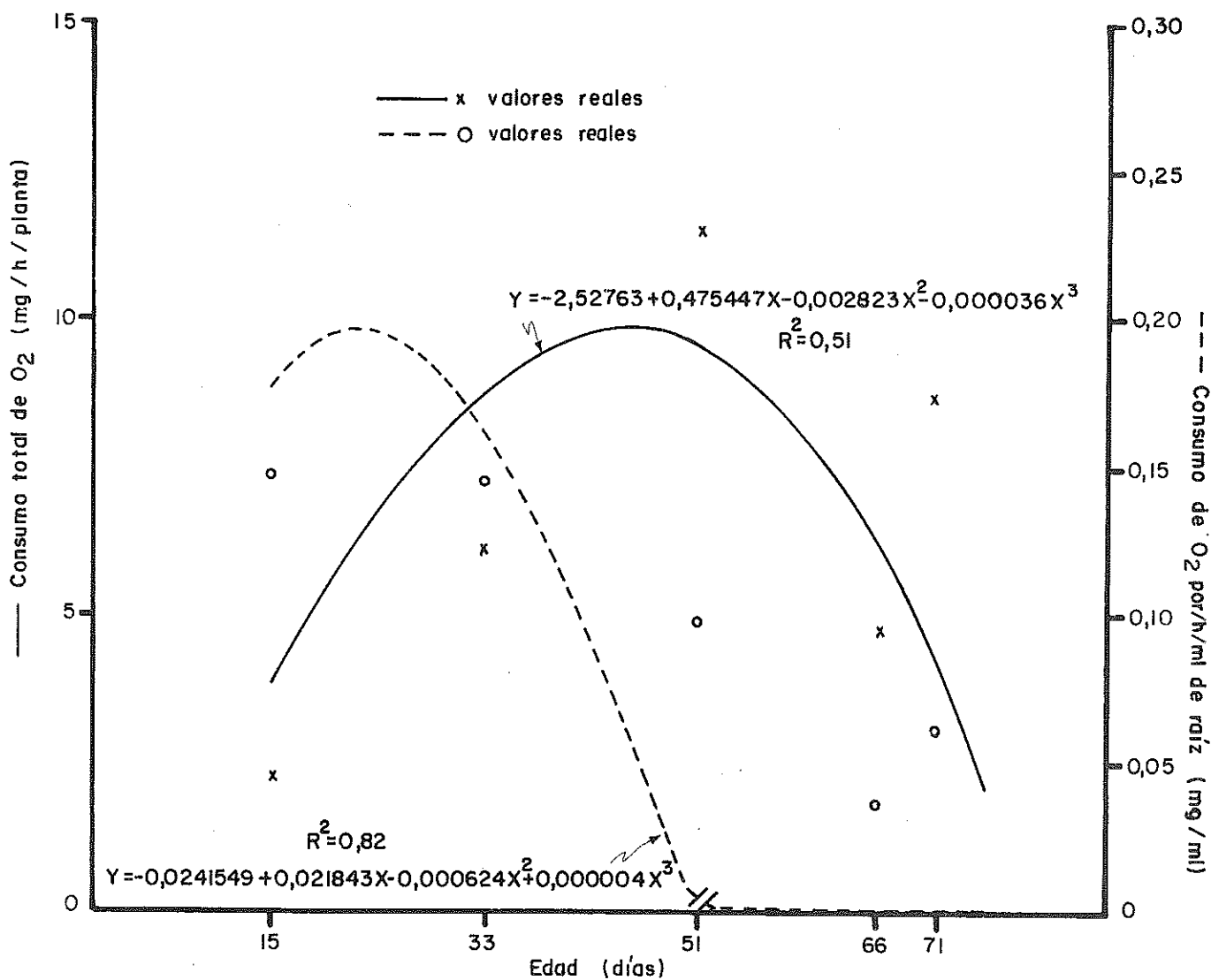


Fig. 5 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por y por ml de raíces. Variedad 27-R. Tratamiento T₃

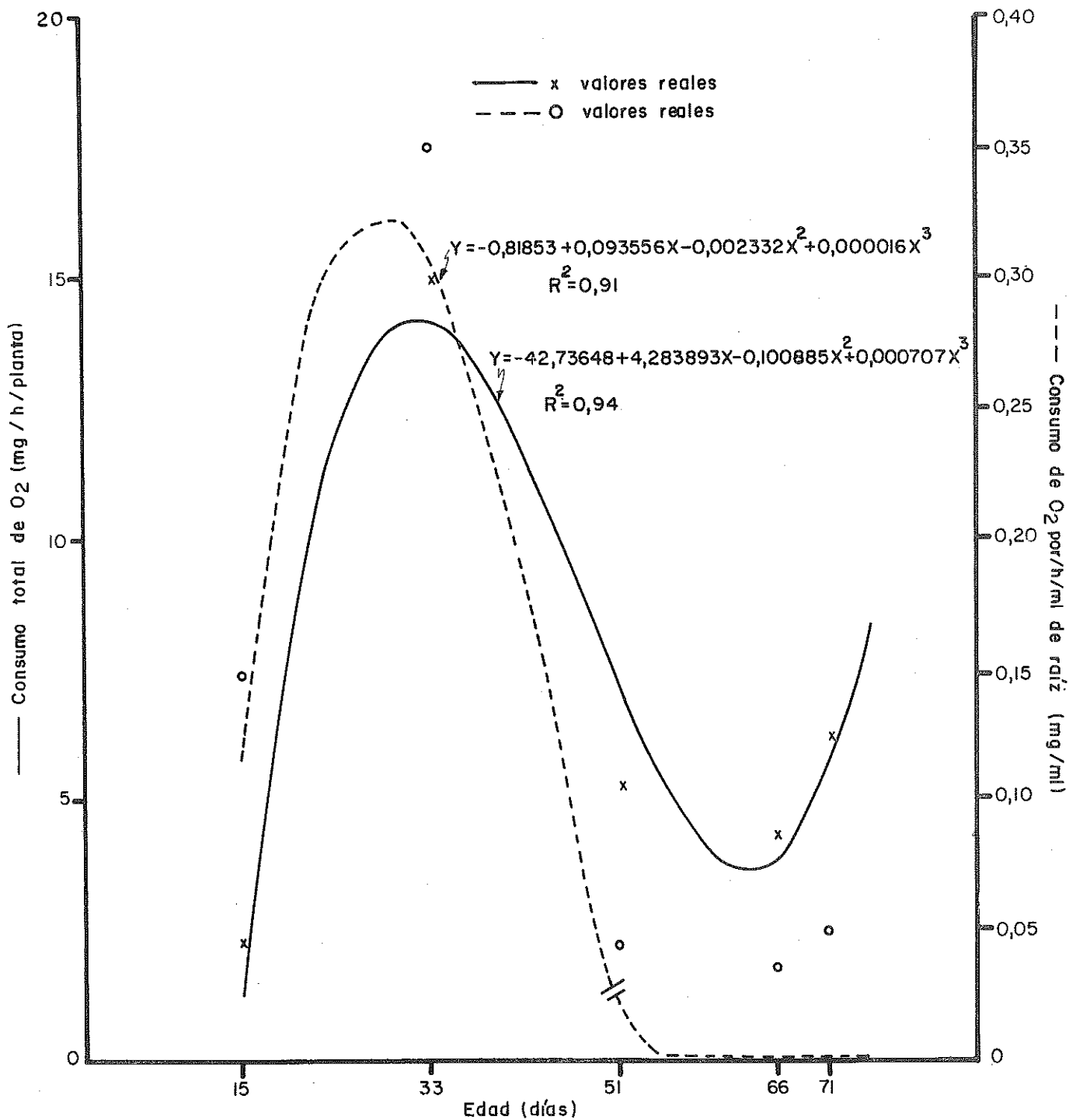


Fig.6 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad 27-R. Tratamiento T4

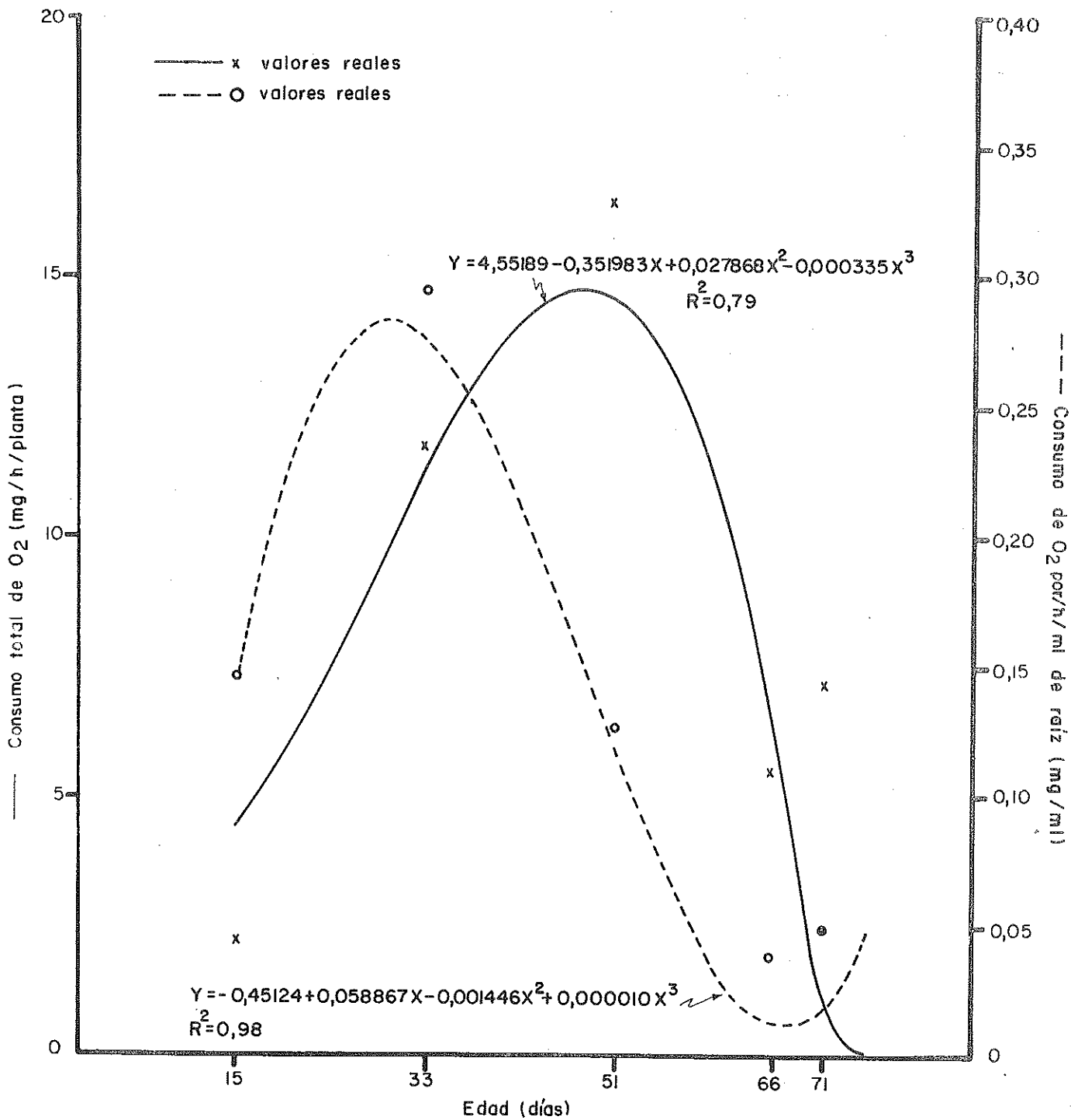


Fig. 7 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad 27-R. Tratamiento T5

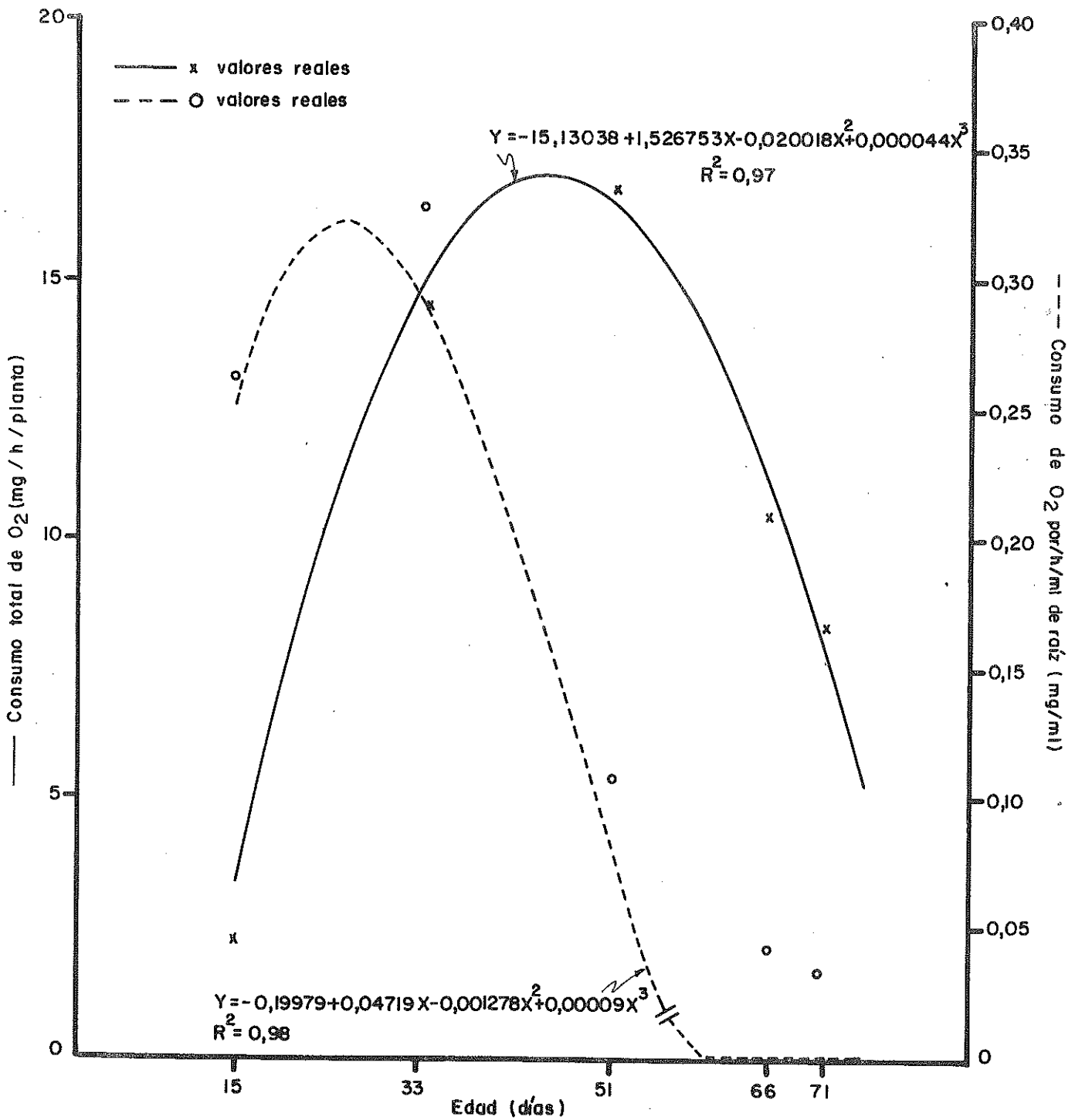


Fig.8 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por y por ml de raíces. Variedad Turrialba-4. Tratamiento To

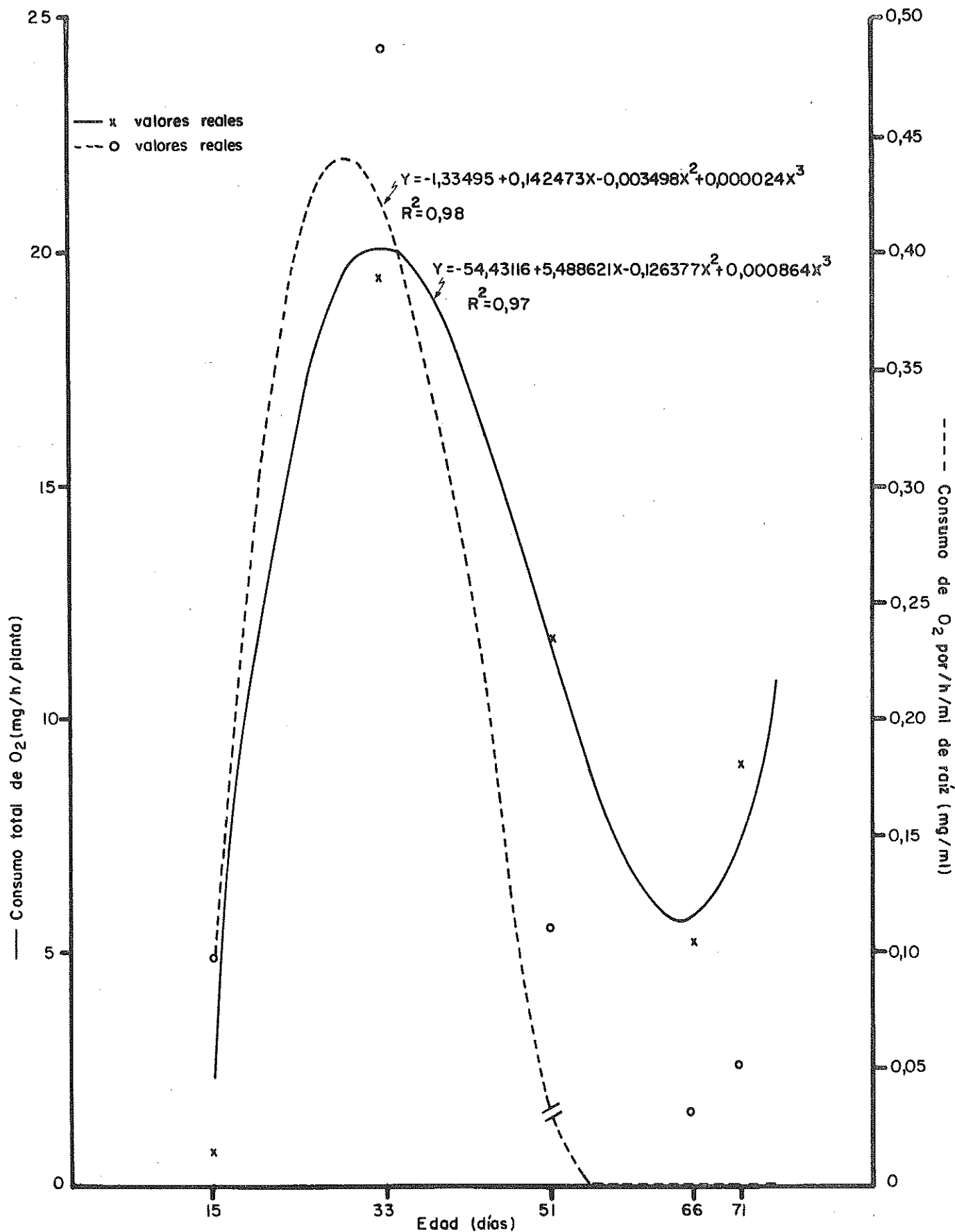


Fig. 9 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por. ml de raíz. Variedad Turrialba-4. Tratamiento T₁

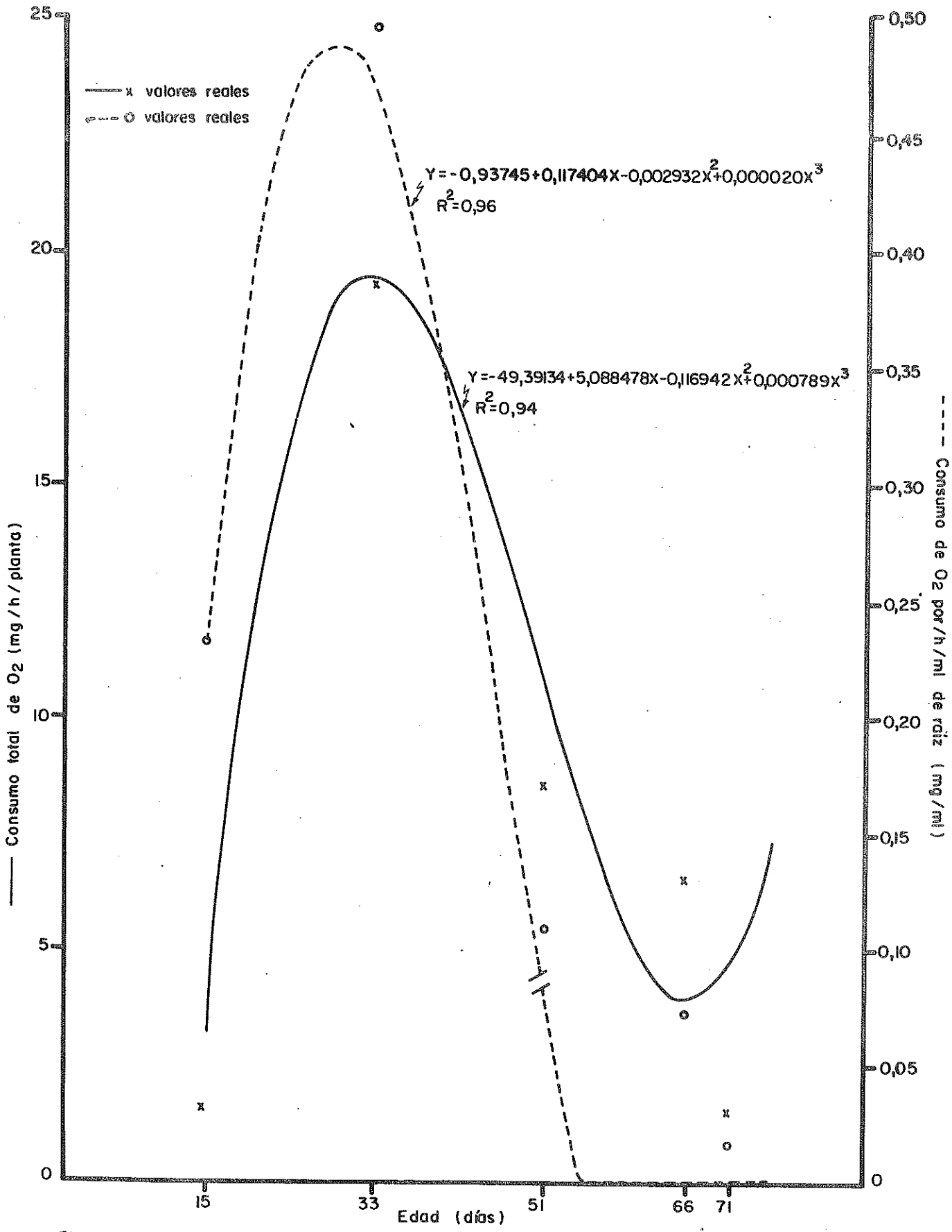


Fig. 10 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad Turrialba-4 Tratamiento T₂

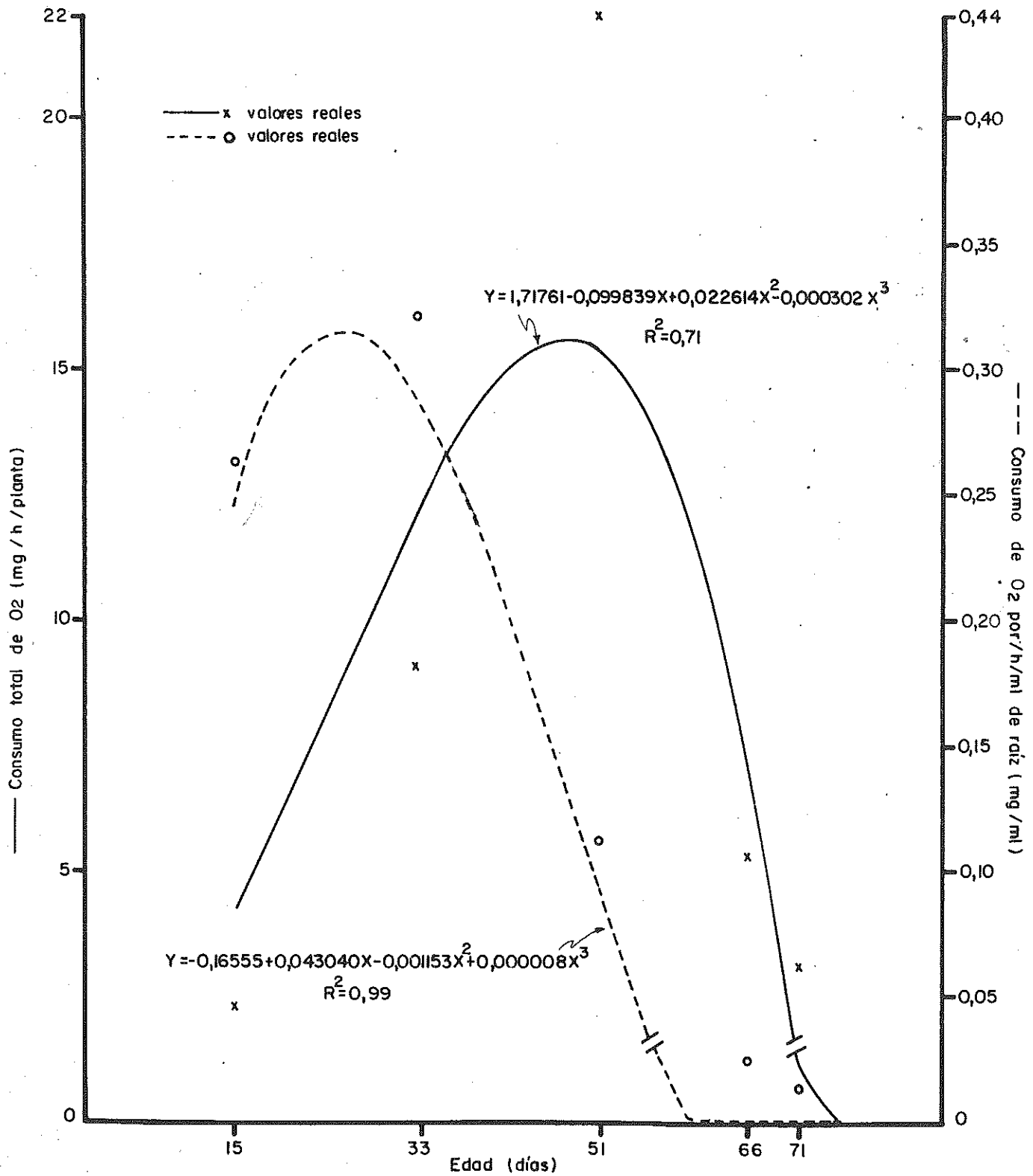


Fig. II Curvas estimadas de consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad Turrialba-4. Tratamiento T₃

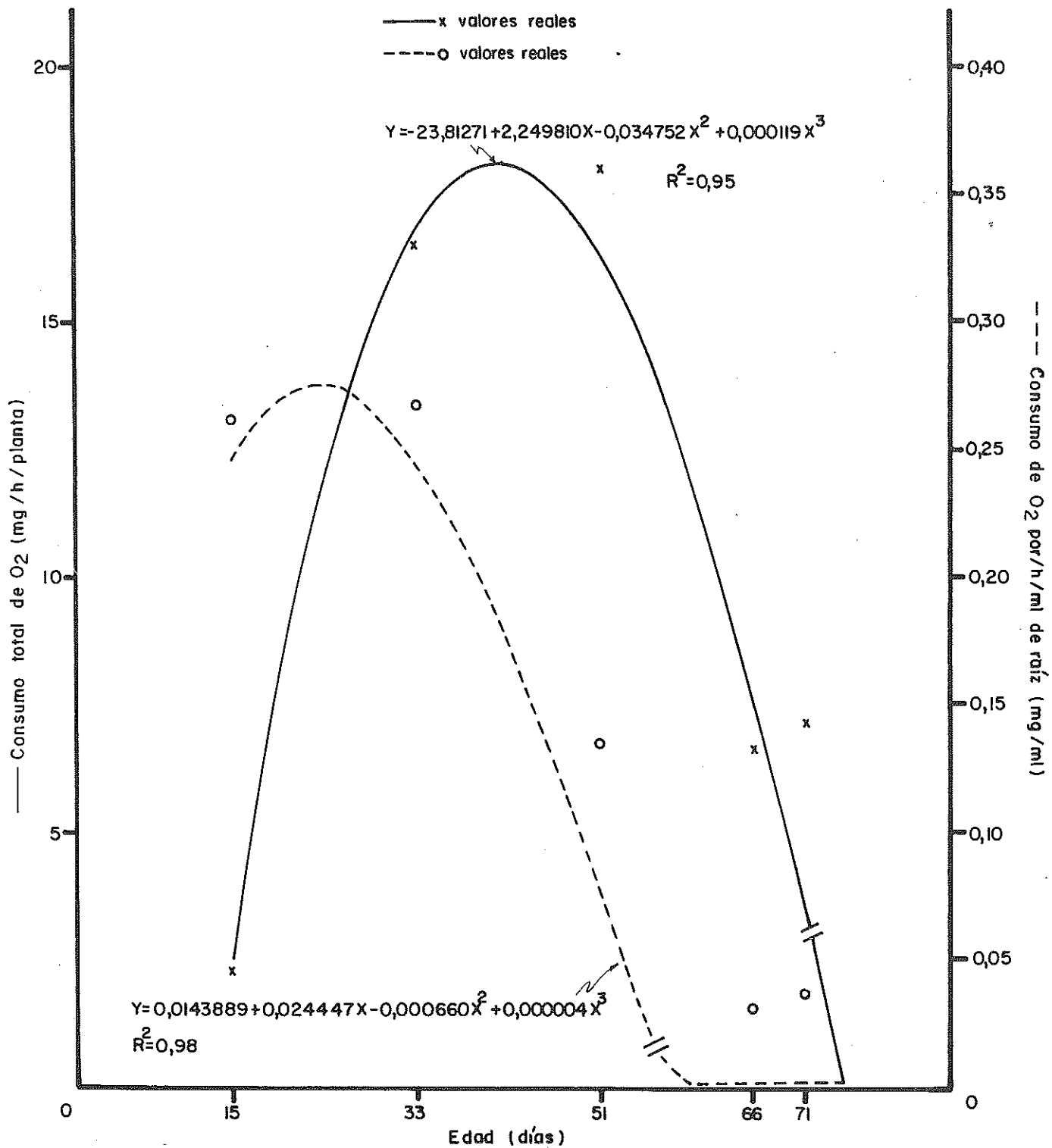


Fig.12 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad Turrialba-4. Tratamiento T4

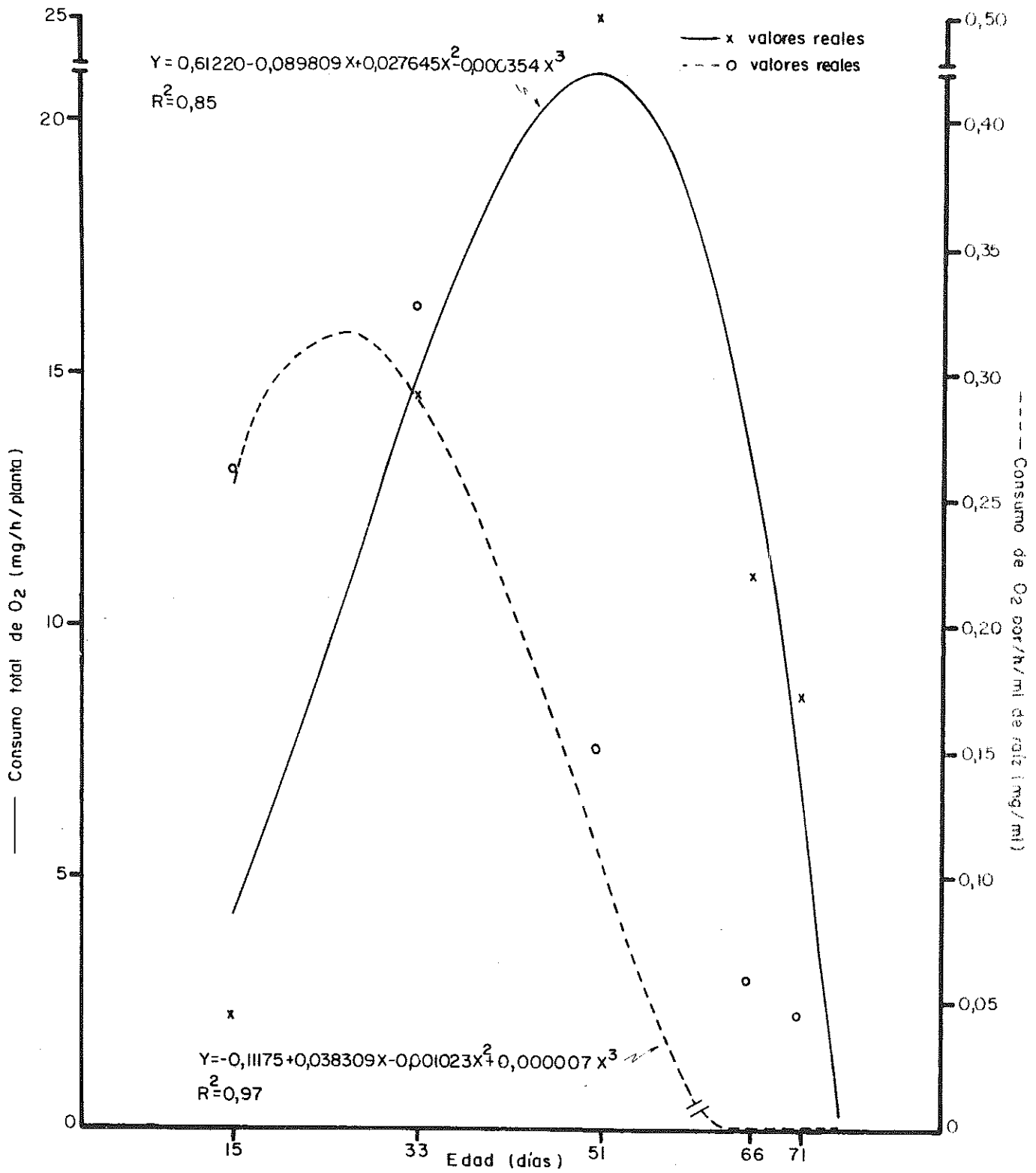


Fig. 13 Curvas estimadas del consumo de oxígeno por plantas de frijol a través del tiempo. Total por hora y por ml de raíces. Variedad Turrialba - 4. Tratamiento T₅

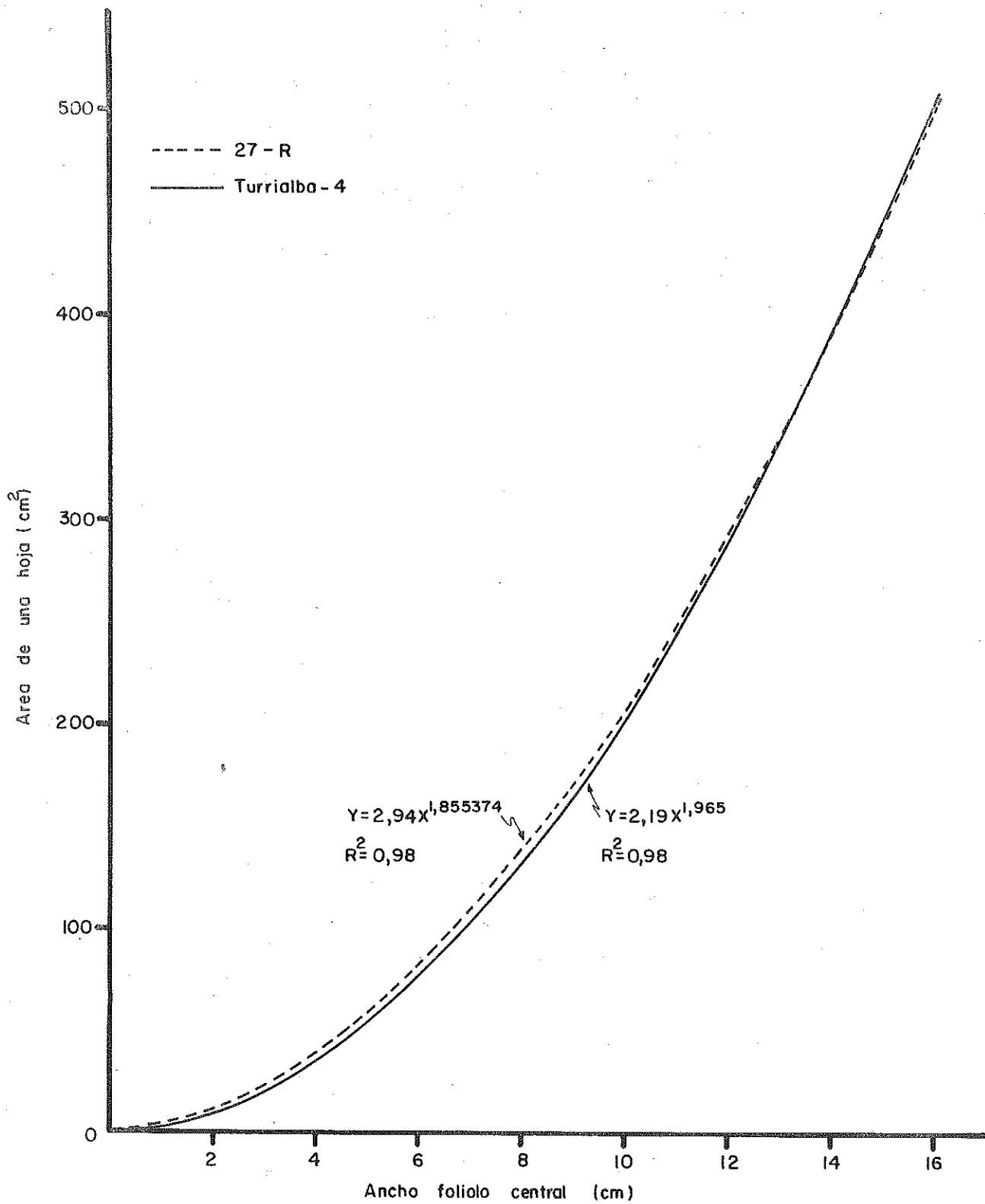


Fig. 14 Variación del área de una hoja en función del ancho de su foliolo central en dos variedades de frijol

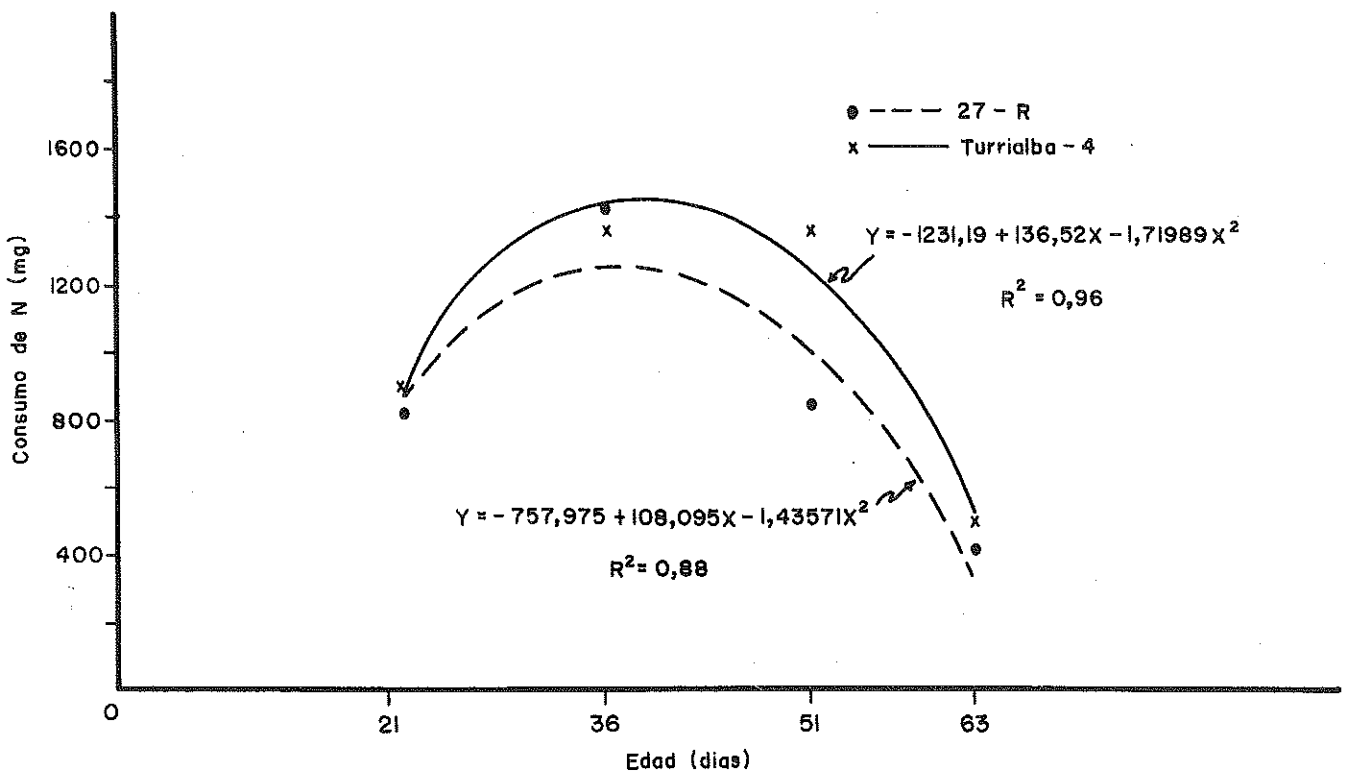


Fig. 15 Curvas estimadas del consumo de nitrógeno por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento To.

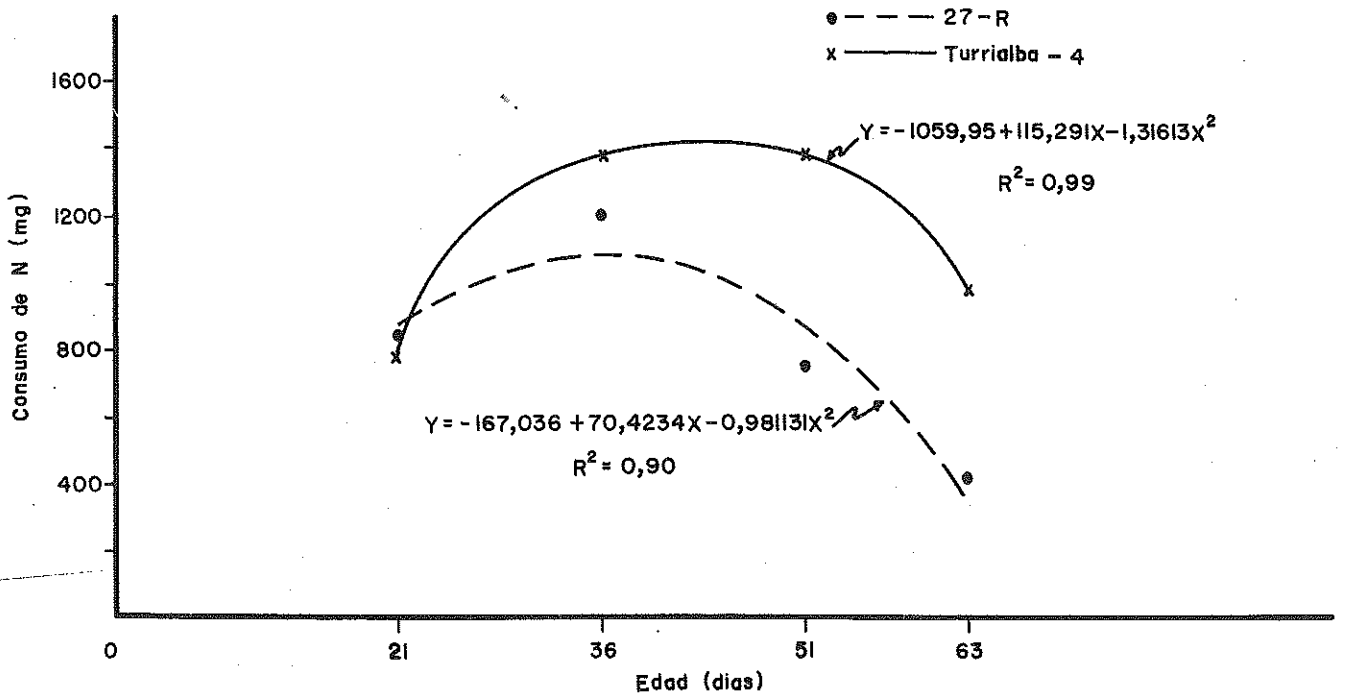


Fig. 16 Curvas estimadas del consumo de nitrógeno por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento Ti.

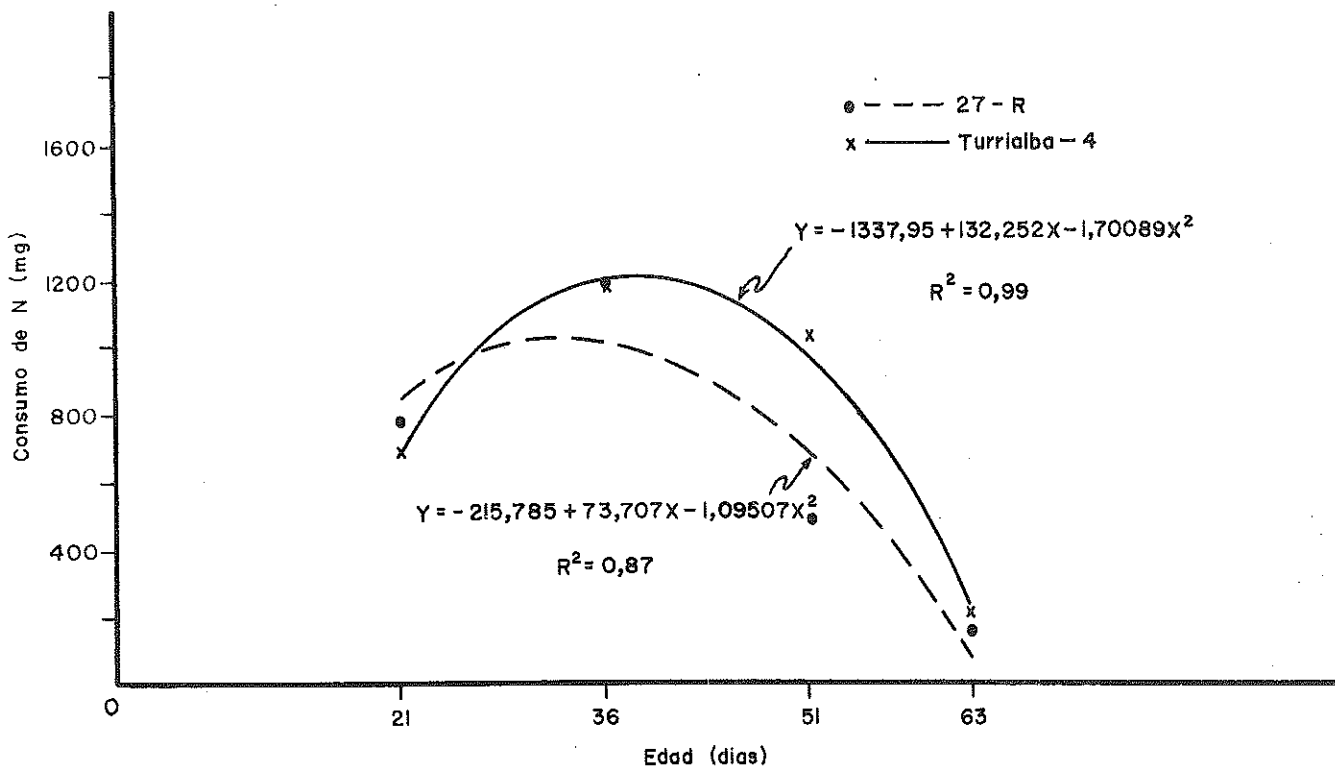


Fig. 17 Curvas estimadas del consumo de nitrógeno por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T2.

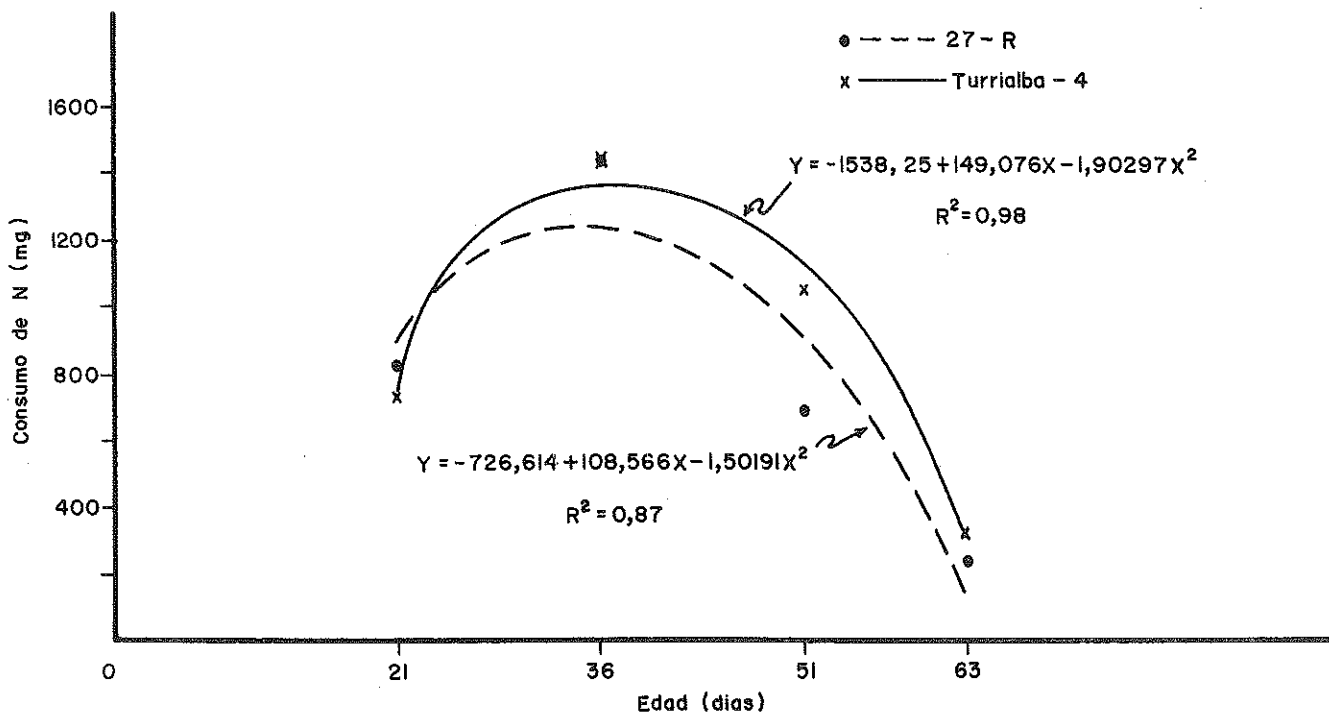


Fig. 18 Curvas estimadas del consumo de nitrógeno por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T3.

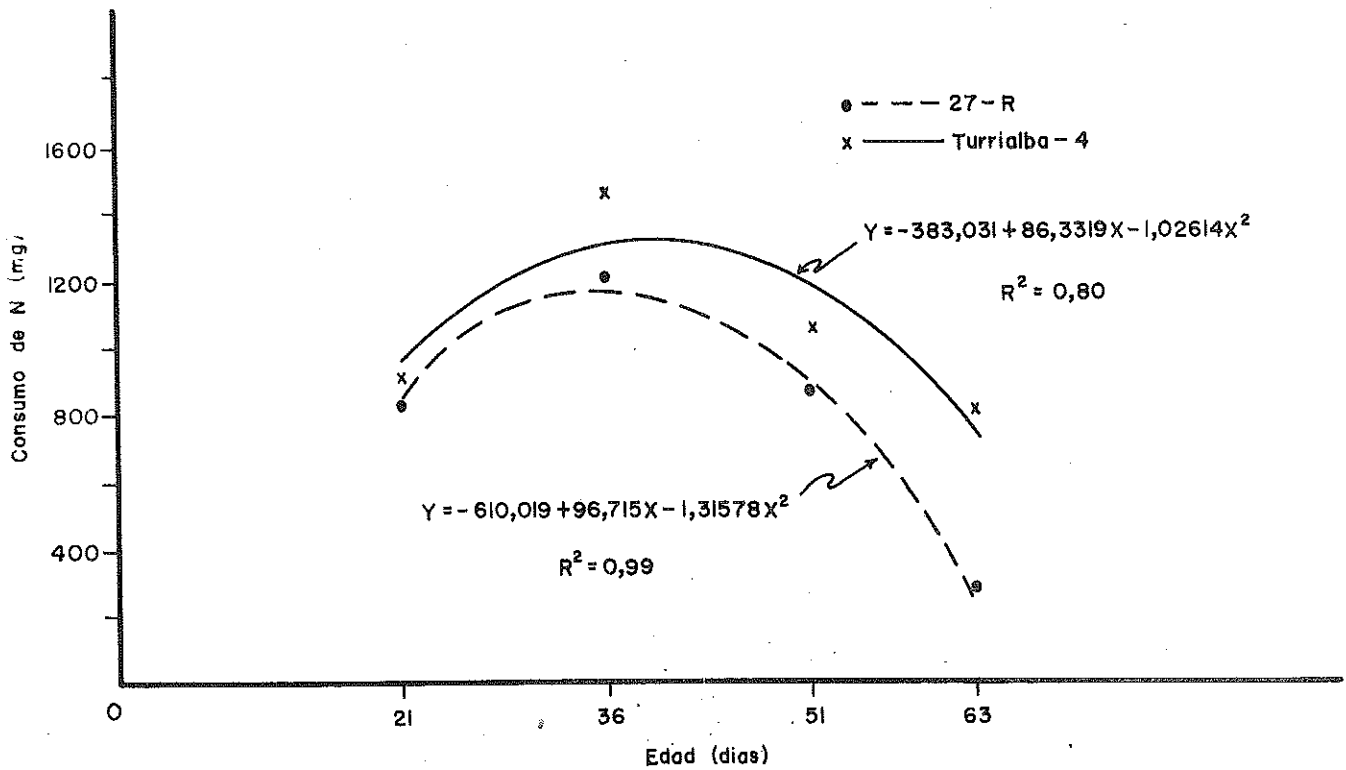


Fig. 19 Curvas estimadas del consumo de nitrógeno por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T4.

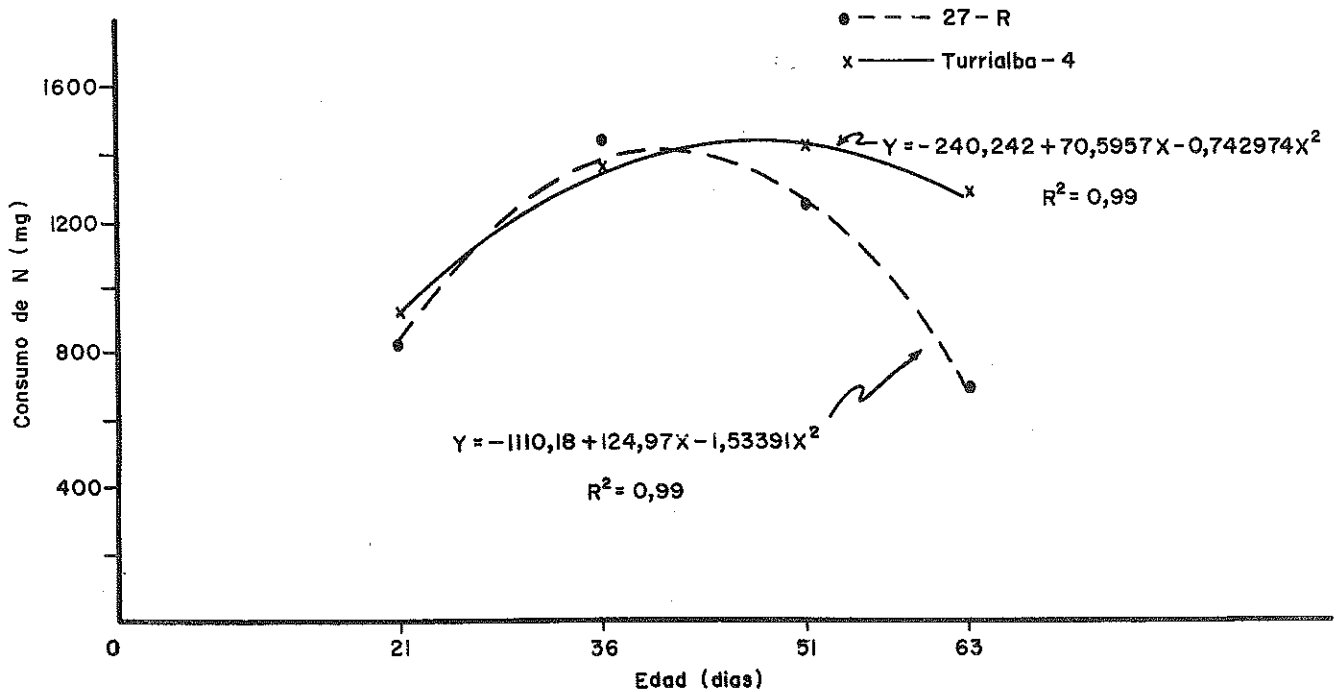


Fig. 20 Curvas estimadas del consumo de nitrógeno por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T5

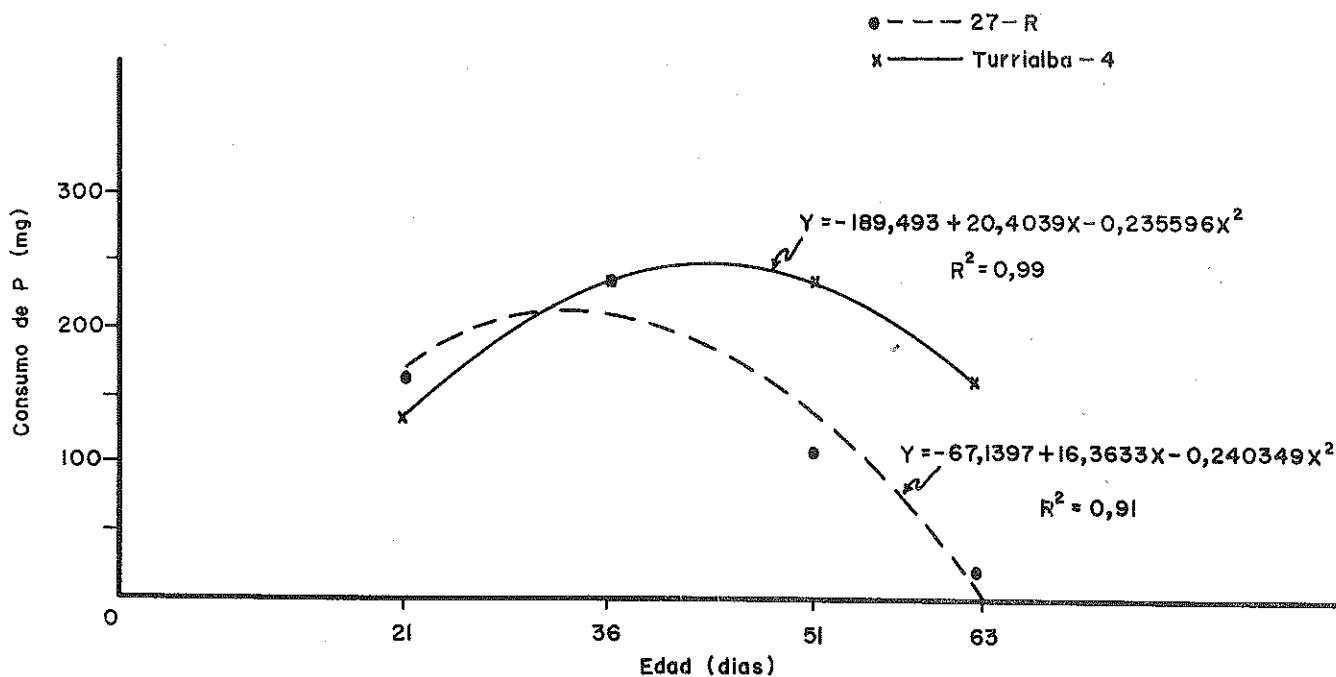


Fig. 21 Curvas estimadas del consumo de fósforo por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento To.

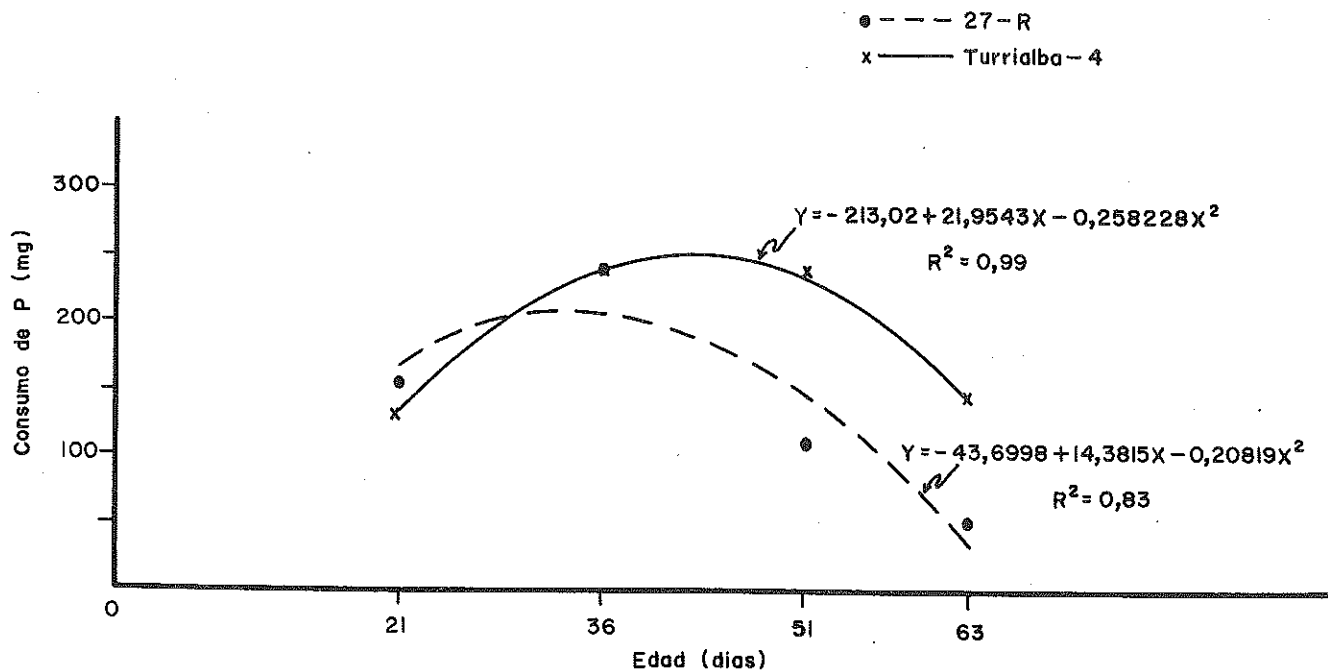


Fig. 22 Curvas estimadas del consumo de fósforo por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento Ti.

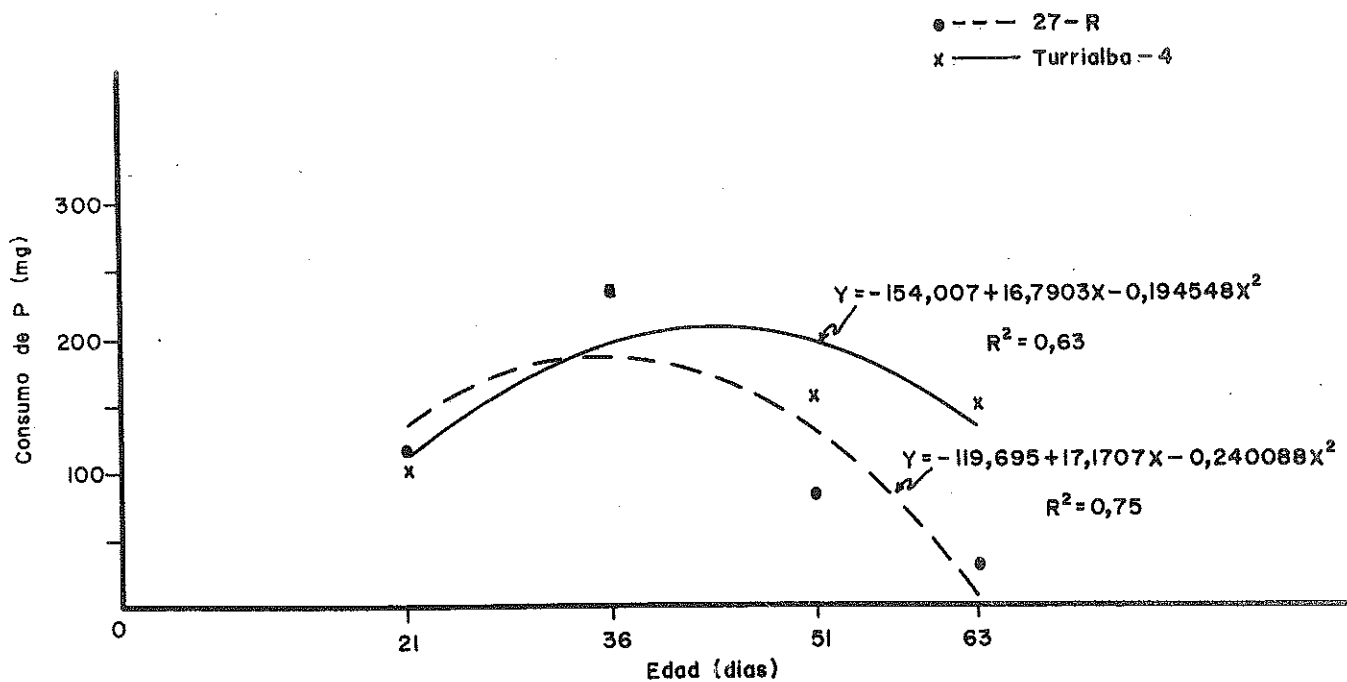


Fig. 23 Curvas estimadas del consumo de fósforo por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T2.

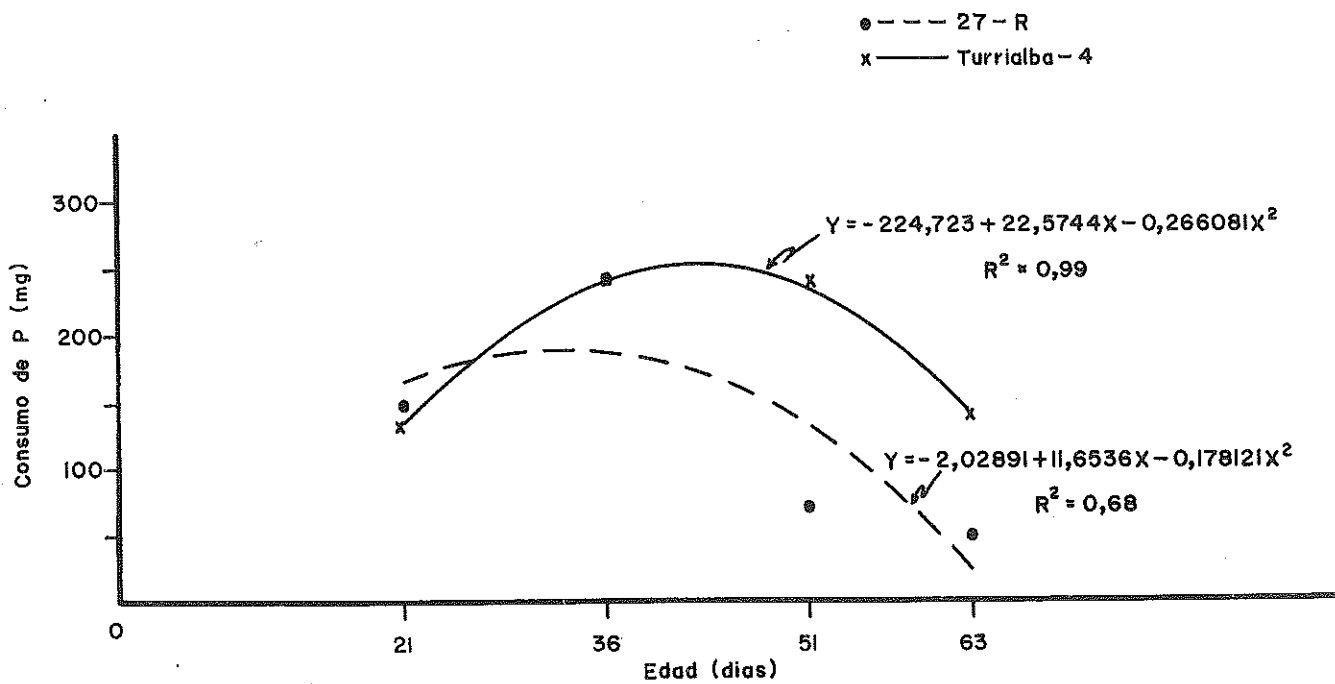


Fig. 24 Curvas estimadas del consumo de fósforo por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T3.

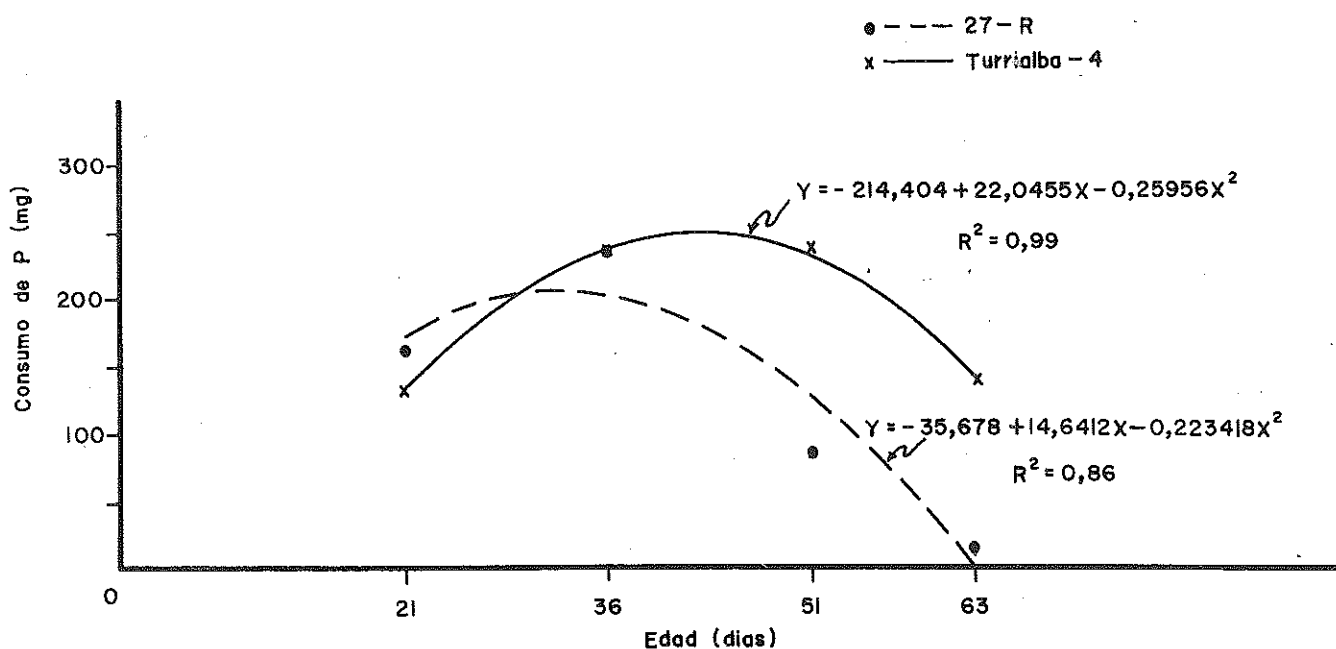


Fig. 25 Curvas estimadas del consumo de fósforo por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T4.

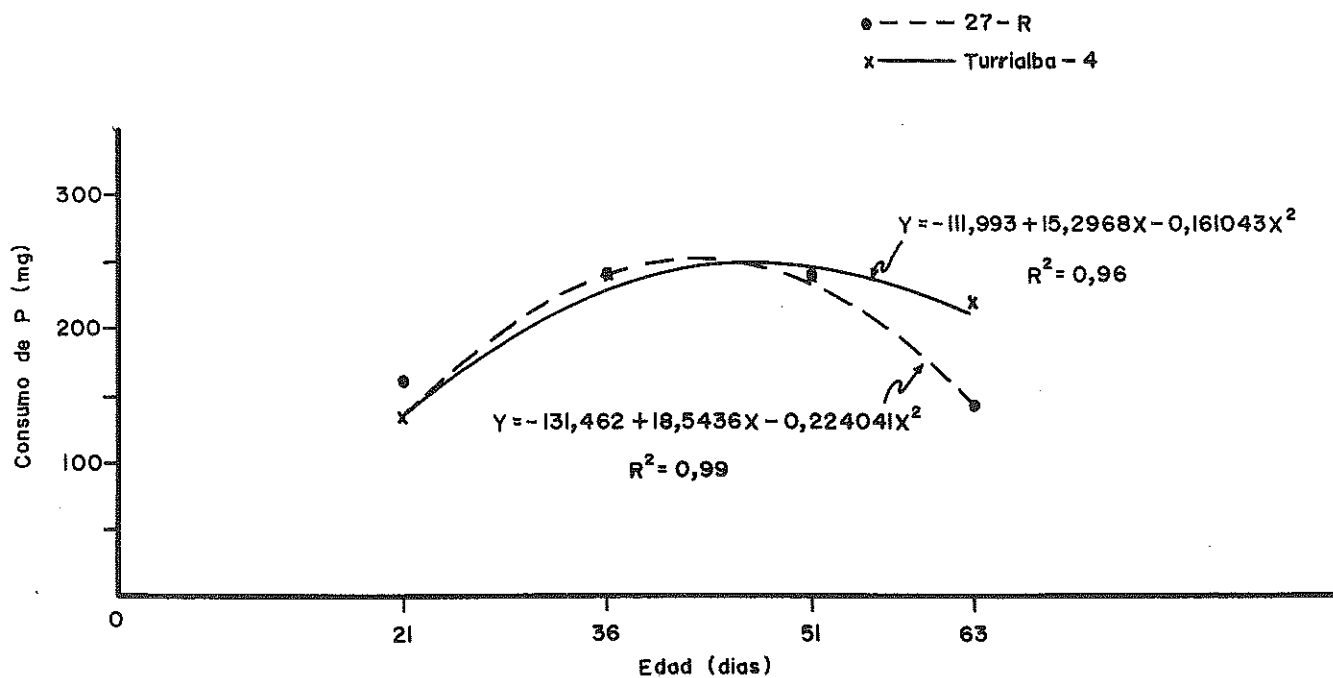


Fig. 26 Curvas estimadas del consumo de fósforo por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T5.

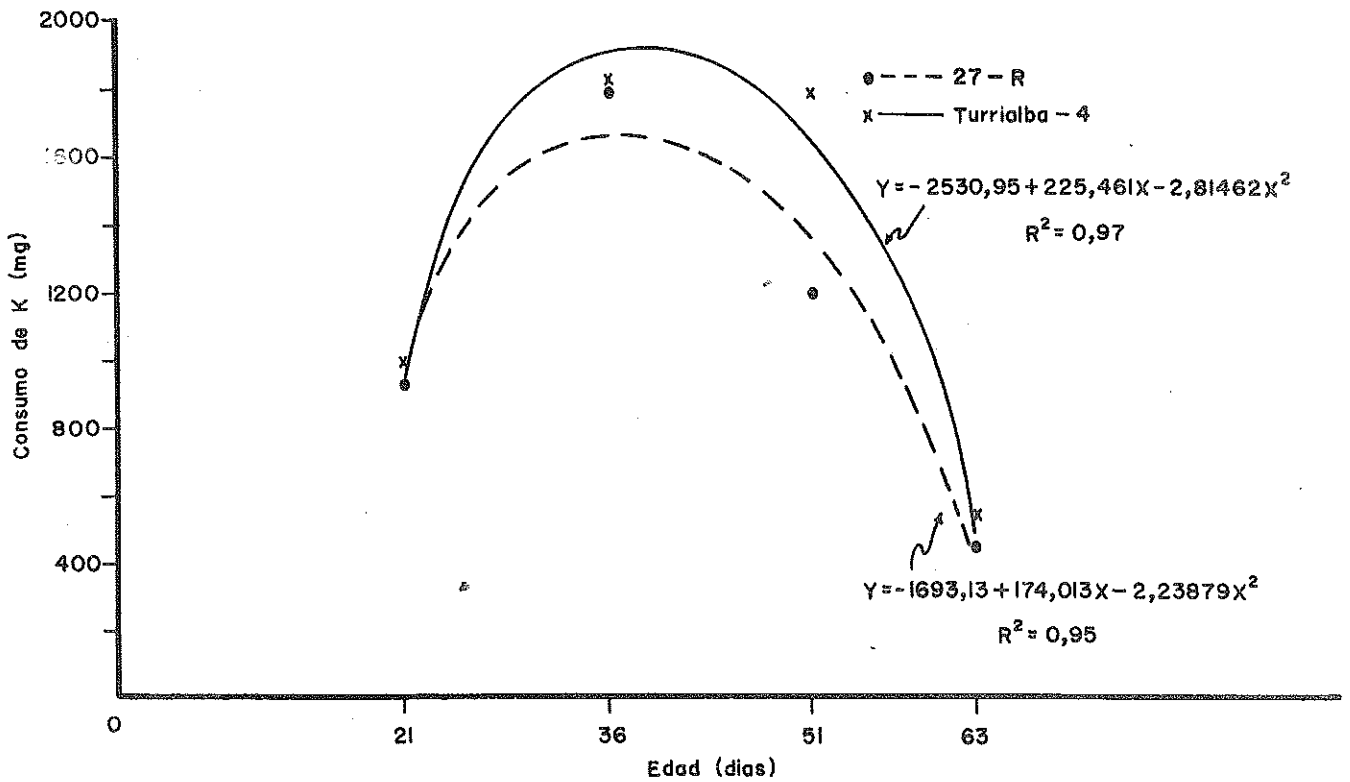


Fig. 27 Curvas estimadas del consumo de potasio por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento To.

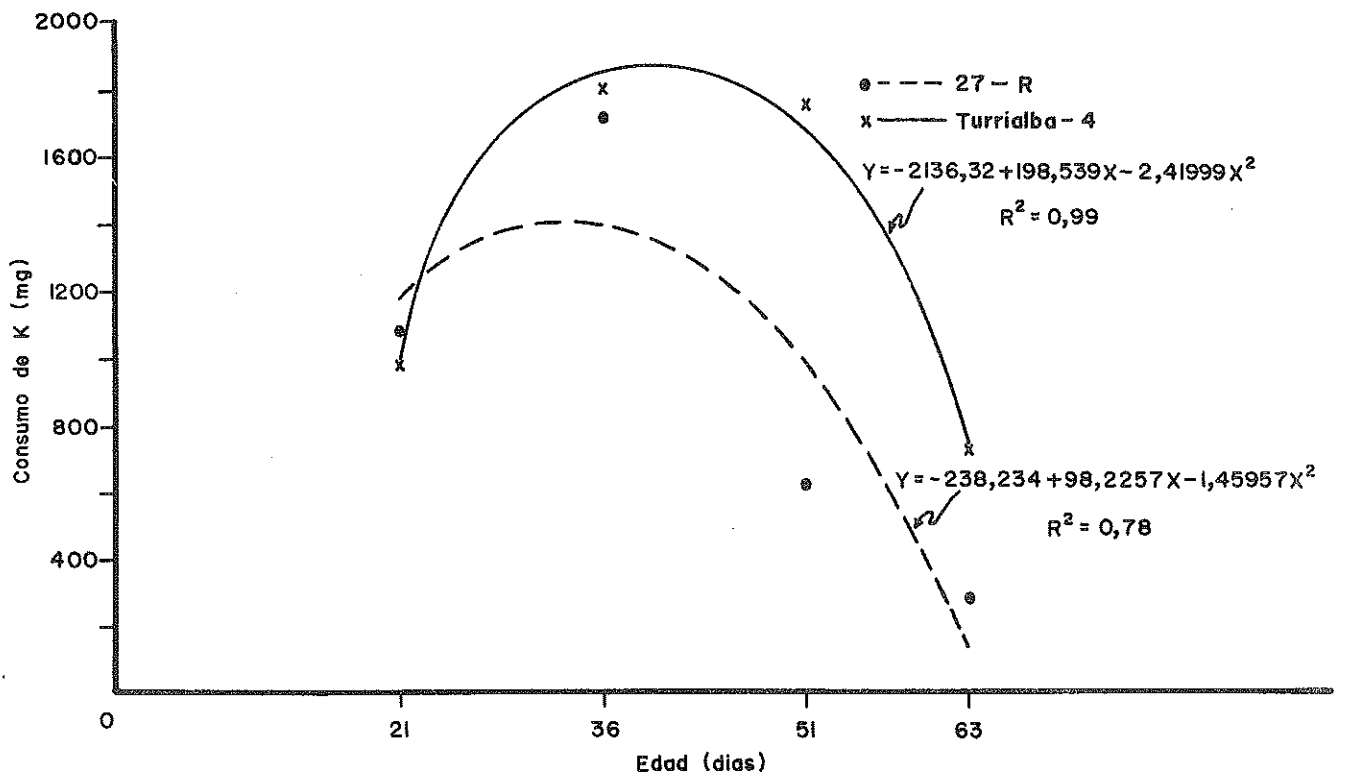


Fig. 28 Curvas estimadas del consumo de potasio por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T1.

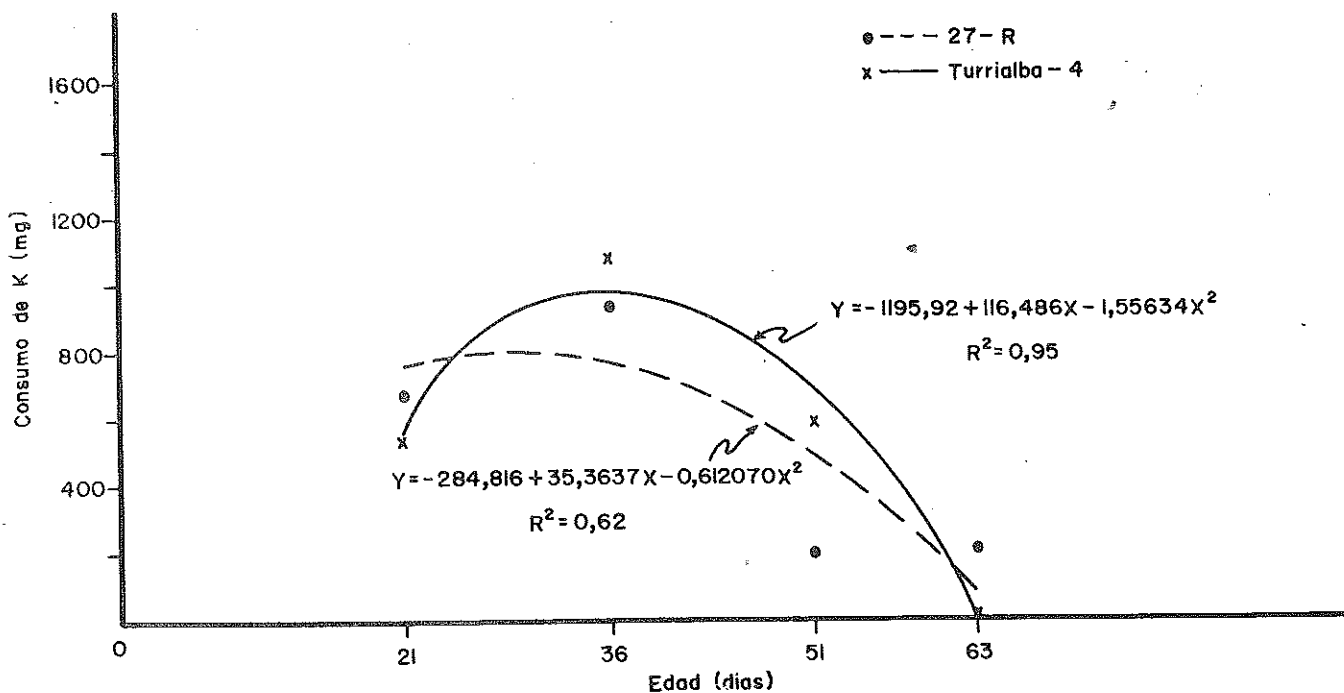


Fig. 29 Curvas estimadas del consumo de potasio por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T2.

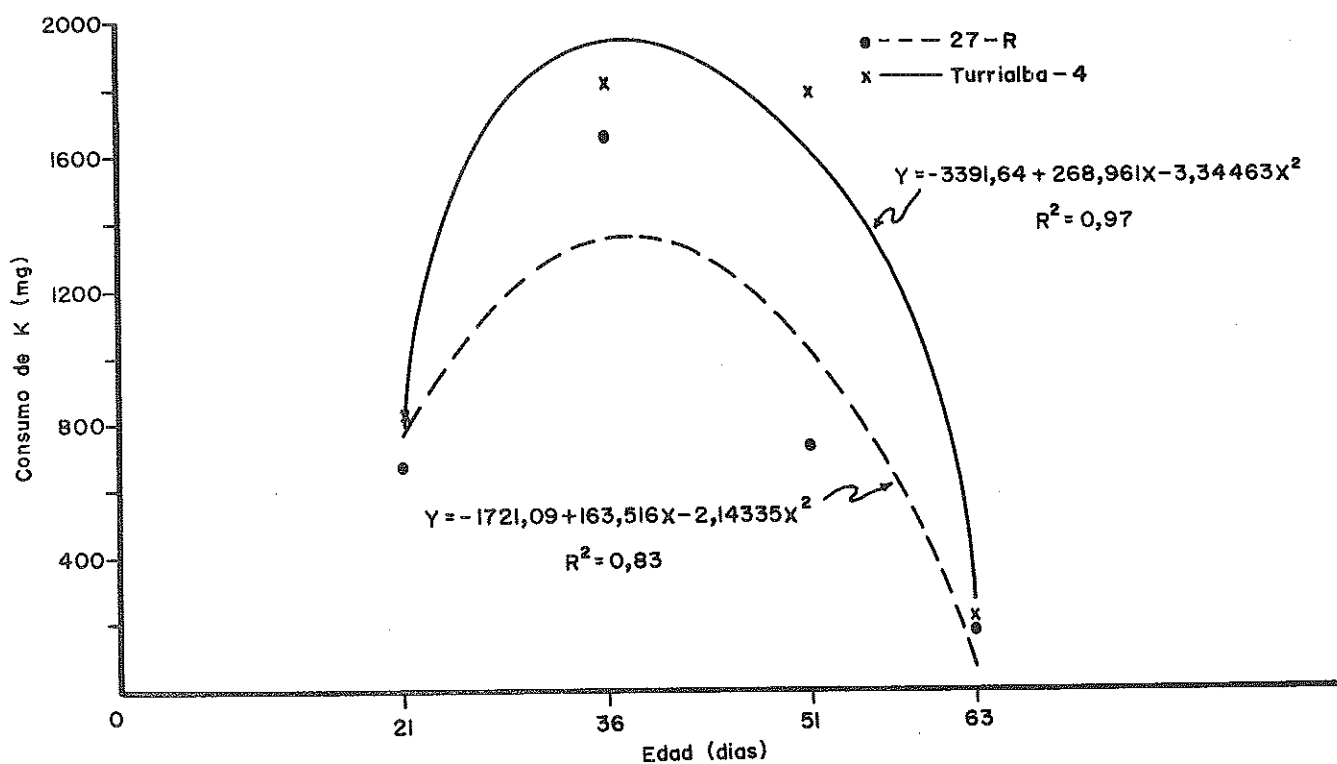


Fig. 30 Curvas estimadas del consumo de potasio por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T3.

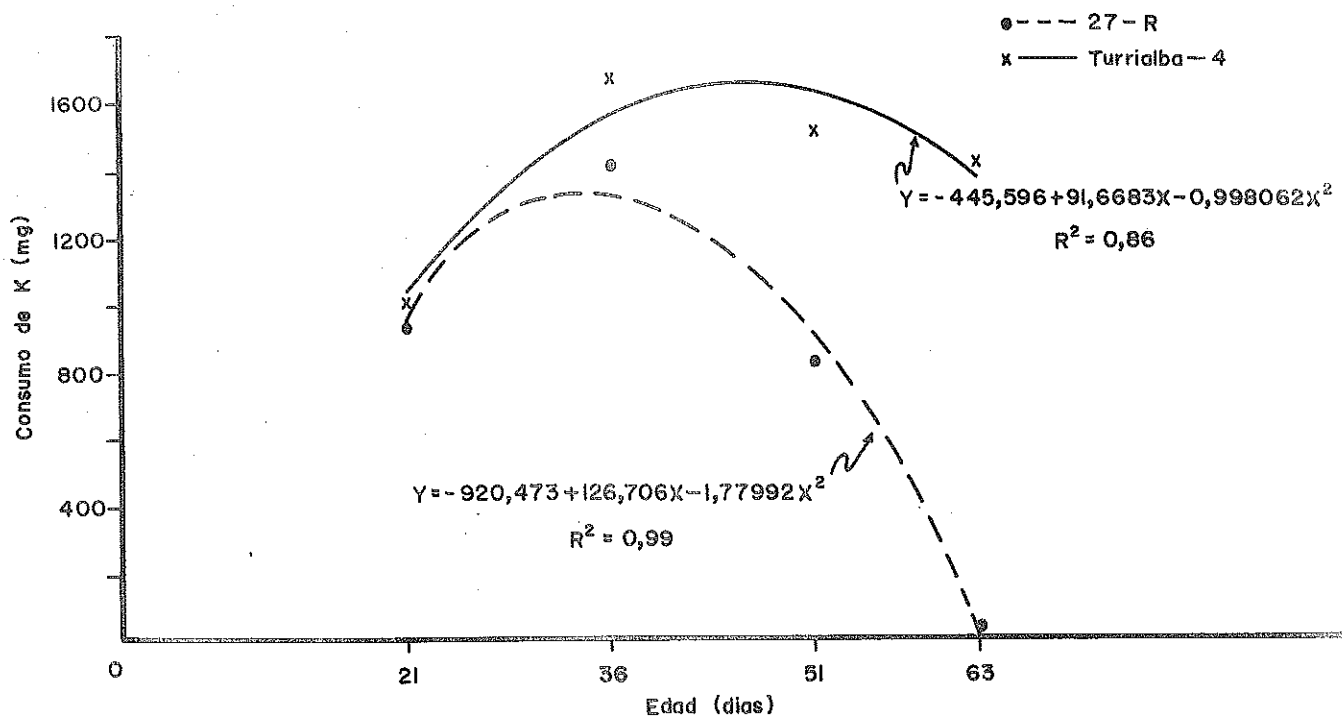


Fig. 31 Curvas estimadas del consumo de potasio por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T4.

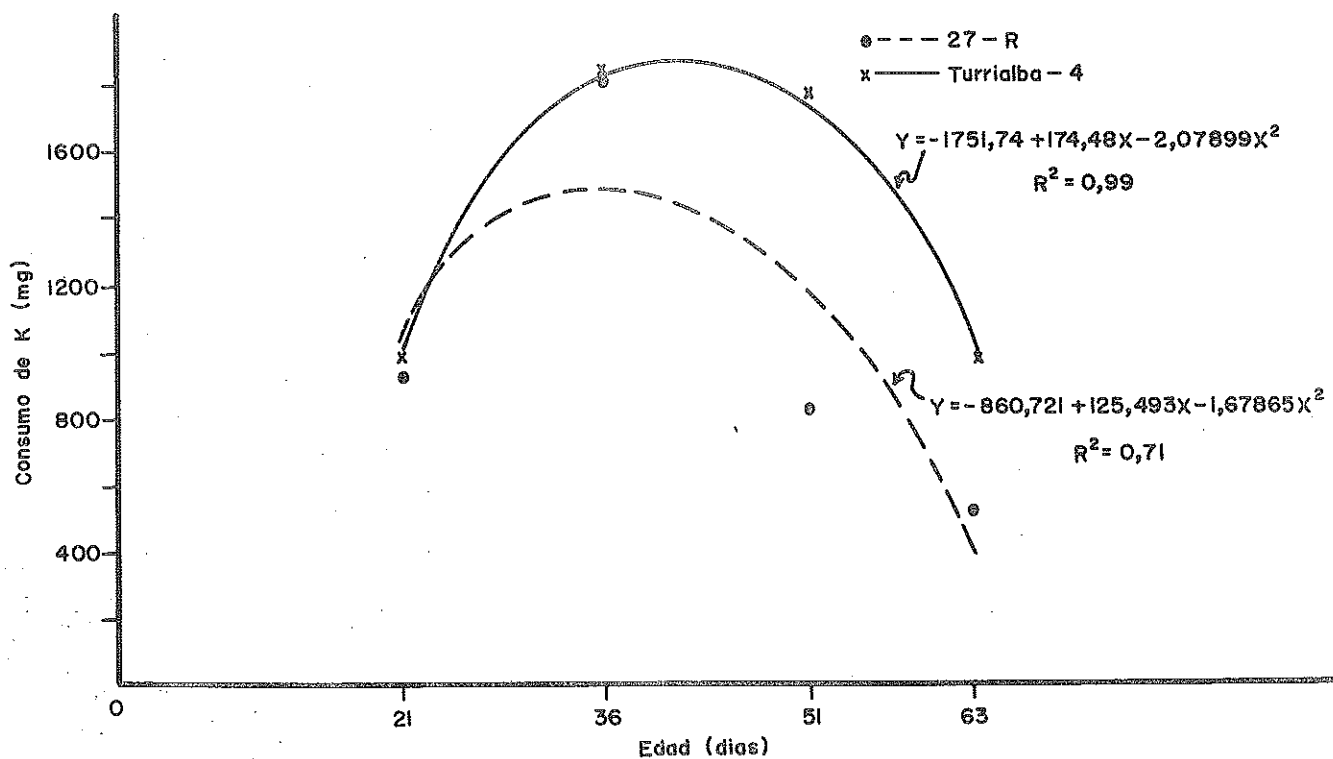


Fig. 32 Curvas estimadas del consumo de potasio por plantas de frijol a través del tiempo. Variedades 27-R y Turrialba-4. Tratamiento T3.