

ACUMULACIÓN DE NPK EN TEJIDO Y SU EFICIENCIA DE USO PARA LA PRODUCCIÓN DE GRANOS, EN UNA ASOCIACIÓN TRIGO (*Triticum aestivum*) Y ARVEJA (*Pisum sativum*)

Ana Isabel Quiroz¹ y Rafael Mulas²

RESUMEN

Se estudió la eficiencia del uso de N, P y K en plantas de trigo y arveja, en monocultivo y asociación para la producción de granos en Cubiro, estado Lara, Venezuela. El ensayo se realizó con siembra simultánea de cada especie, en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se aplicó un análisis de variancia simple para cada cultivo y elemento, así como la eficiencia de absorción y conversión en términos absolutos en la etapa de maduración. El rendimiento de la leguminosa no fue afectado por la competencia con el cereal. Sin embargo, hubo diferencias significativas en el rendimiento del cereal. Hubo una mayor absorción de N, P y K en ambas especies sembradas en monocultivos en comparación con todas las combinaciones asociadas. La eficiencia de conversión absoluta presentó tendencias opuestas a la absorción en el cultivo de la arveja, siendo superior en todas las combinaciones asociadas respecto al monocultivo, mientras que en el trigo la eficiencia de conversión absoluta fue mayor en el monocultivo. Los valores de la relación de equivalencia de la tierra (RET), con base en los rendimientos y las eficiencias de absorción y conversión de N, P y K, indicaron ventajas de las asociaciones sobre los monocultivos.

Palabras clave adicionales: Leguminosa, cereal, eficiencia de absorción

ABSTRACT

NPK accumulation in plant tissue and use efficiency for intercropping production system of wheat (*Triticum aestivum*) and pea (*Pisum sativum*)

In Cubiro, Lara State, Venezuela, an experiment was conducted to evaluate the use efficiency of N, P and K in plants of wheat and pea in monocrop and intercropping using a random block design with four repetitions. The absorption efficiency and conversion were calculated in absolute terms for the maturation stage. Intercrop with cereal did not affect the pea yield. However, differences were found for the cereal yield. It was found a higher absorption of N, P and K in wheat and pea monocrops, in comparison to intercropping. In pea, the efficiency of absolute conversion had tendencies opposed to the absorption, since the values for the pea intercrop were superior to monocrop. The land equivalent ratio (LER) for each element that was calculated based on the efficiencies of absorption and conversion of N, P and K, indicated advantages of intercropping over monocrop in two combinations; in each combination both plants interacted in the same proportion.

Additional key words: Legume, cereal, absorption efficiency

INTRODUCCIÓN

El empleo de cultivos asociados en los países tropicales, con disponibilidad de radiación todo el año, no sólo permite una mayor producción y variedad de alimentos en una misma época y unidad de área, sino también una manera conservacionista de practicar la agricultura. Los beneficios de las asociaciones de cultivos se sustentan en una mayor eficiencia de uso de los recursos edáficos y climáticos, una reducción de

los efectos adversos de plagas y enfermedades, así como las ventajas relativas al trabajo de mantenimiento en función de los requerimientos particulares de las especies asociadas (Palaniappan, 1988).

Actualmente el estudio de los cultivos asociados aborda variadas líneas de investigación, entre ellas el efecto de las asociaciones sobre la eficiencia de uso de nutrimentos para la producción de granos (Chowdhury y Rosario, 1994; Zhang y Li, 2003) y la eficiencia de uso de la radiación y del agua

Recibido: Abril 23, 2004

Aceptado: Julio 27, 2005

¹ INIA, Centro de Investigaciones Agropecuarias del estado Lara. Apdo. 592. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: aquiroz@inia.gov.ve

² Universidad de Valladolid. Palencia, España. e-mail: rmulas@agro.uva.es

(Marín et al., 1998).

Combinar cultivos de diferentes ciclos y porte en una misma área de terreno es una estrategia que tiende a darle sustentabilidad al sistema, ya que intervienen principios ecológicos que funcionan en ecosistemas naturales estables. La mayoría de los estudios realizados en cultivos asociados se focalizan hacia la combinación cereal/leguminosa y se ha comprobado que en estos sistemas existen mecanismos de transferencia de nutrimentos, pero es necesario discriminar si sus efectos benéficos tienen influencia sobre la competitividad (Zhou et al., 2000; Li et al., 2001; 2002). Por otro lado, es la práctica más dominante entre los agricultores alrededor del mundo. Son conocidos como sistemas productivos y sustentables por su uso efectivo de los recursos, agua, luz y nutrientes principalmente por la ganancia de nitrógeno debido a la fijación simbiótica del elemento y por ende su bajo impacto sobre el ambiente (Jensen, 1996; Caporali et al., 1998; Li et al., 2002).

Estudios a nivel de laboratorio muestran los beneficios que la leguminosa le confiere al cereal por la transferencia de nitrógeno (Ruschel et al., 1979; Sing, 1981). Sin embargo, existen trabajos de campo que muestran una reducción consistente de la fijación de nitrógeno por la leguminosa cuando es asociada al cereal y por ende le confiere un menor beneficio a este cultivo (Nambiar et al., 1983). Dicho comportamiento al parecer depende del tipo de suelo; así, donde los suelos son de baja fertilidad, frágiles y susceptibles a degradarse fácilmente, el uso de leguminosas asociadas al maíz ha resultado positivo en la adición de carbono y nitrógeno (Odunze et al., 2002). En suelos de alta fertilidad, susceptibles a degradarse por su uso intenso, la siembra de leguminosas antes y después del cereal favorece su fertilidad por reciclaje de nitrógeno (Jeffers y Triplett, 1979; Duenas et al., 2002).

En el presente trabajo se estudió una asociación de arveja (*Pisum sativum*) y trigo (*Triticum aestivum*). La arveja es un cultivo conocido en algunos países como guisante. En Venezuela se produce en pequeñas áreas y se puede programar su producción en pocas extensiones. Esta legumbre aporta proteínas (6,3 % verde y 24,1 % seca), se consume en forma fresca, enlatada y como grano. El trigo se consume en grandes cantidades en el país, pero solamente se siembra en pequeñas áreas en los

estados andinos; la harina aporta calorías y entre 11 y 15 % de proteína. La planta es una gramínea erecta, de tallos erguidos por lo que es ventajosa para asociar con cualquier otro cultivo de igual porte o diferente, considerando ambos cultivos como principales y potenciales para la zona, e importantes en la dieta venezolana como fuentes de carbohidratos y proteínas. Ambos cultivos presentan características ventajosas como son su excelente capacidad adaptativa a diversos tipos de suelos así como, el papel de la leguminosa como mejoradora de las condiciones del suelo por su aporte de materia orgánica y nitrógeno al suelo (Chiu y Yoshida, 1986).

En este trabajo se evaluó el rendimiento arvejas y trigo y la eficiencia en asociación. Así mismo, se estudió el efecto en la absorción, y eficiencia de uso de N, P y K en la producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se instaló en el campo experimental Las Cuibas, en Cubiro, estado Lara, Venezuela, ubicado a 09°47'28" N. con altitud de 1650 msnm. El relieve pertenece a las últimas estribaciones del sistema de los andes; con una pendiente de 40%. La temperatura promedio es de 21 °C, variable entre 22° y 18° C. La precipitación media anual es de 1050 mm y la registrada durante el ciclo del cultivo fue de 500 mm. Estas condiciones condujeron a la aplicación de riegos semanales por aspersión en toda el área experimental. El sector corresponde a un bosque seco premontano de clima moderadamente húmedo, según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge.

Los suelos que predominan en la zona son franco arcillosos, moderadamente profundos, bien drenados, normalmente oscuros en la superficie y amarillentos en profundidad. El análisis de fertilidad de una muestra compuesta del suelo superficial de la parcela experimental (20 cm de profundidad), determinó textura arcillosa, porcentaje de materia orgánica medio (2,85 %), y valores de P, Ca y K de 22; 2000 y 92 ppm (medio, alto y medio, respectivamente). El pH es de 7,5 y la conductividad eléctrica es baja (0,29 dS/m).

Los materiales vegetales utilizados fueron una variedad de trigo proveniente del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) de alto rendimiento, con un amplio rango de adaptación y ciclo del cultivo de 90 días;

y una semilla de arveja local comercial, caracterizada por tener un ciclo de 100-130 días, altura media de 1 m, granos de color verde y alto rendimiento.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y los siguientes cinco tratamientos: arveja monocultivo (AM); trigo monocultivo (TM); asociación de una hilera de arveja intercalada con una hilera de trigo (A1:T1), combinación en la que cada especie tenía el efecto de la otra por ambos lados; asociación dos hileras de arveja intercalada con una hilera de trigo (A2:T1), combinación en la que la arveja tenía un efecto sobre ella misma y sobre el trigo por el otro lado y el trigo tenía el efecto de la arveja por ambos lados; y asociación de dos hileras de arveja intercalada con dos hileras de trigo (A2:T2), combinación en la que cada especie tenía la influencia de la otra especie por un solo lado.

Cada unidad experimental constó de 8 hilos de 7 m y se tomaron los hilos centrales para realizar los muestreos.

El monocultivo para ambas especies se sembró con un espaciamiento de 0,80 m entre hilos y 0,05 m entre plantas para una densidad de 250.000 plantas·ha⁻¹, apropiada de acuerdo al biotipo utilizado. Las parcelas asociadas contenían iguales densidades de siembra que en monocultivo. La siembra de ambas especies fue simultánea. No hubo aplicación de fertilizantes, debido a que el suelo presentó un contenido nutricional considerado aceptable para cubrir el requerimiento de las especies.

En el trigo se evaluaron la materia seca (MS), número de granos por espiga (NGE) en 10 espigas colectadas al azar por parcela, y el peso promedio de un grano (PPUG) con una muestra de 100 granos tomados al azar en cada parcela. En la leguminosa se determinaron la materia seca (MS), el número de granos por legumbre (NGL) con base en 100 legumbres por parcela y el PPUG con una muestra de 100 granos tomados al azar de cada parcela. Con los valores del rendimiento obtenidos en cada especie y tratamiento se calculó un índice de eficiencia de la asociación: la relación de equivalencia de la tierra (RET), según en Willey (1979) y Baldy y Stigter (1993). La RET se calculó como la suma de los rendimientos relativos de cada especie según la fórmula $RET = (RTA/RTM) + (RAA/RAM)$, donde RTA representa el rendimiento del trigo asociado, RTM

el rendimiento del trigo en monocultivo, RAA el rendimiento de arveja asociada y RAM el rendimiento de la arveja en monocultivo. Este índice se utiliza para medir la efectividad de los sistemas asociados relativo al crecimiento de los monocultivos y está definido como el total del área requerida bajo monocultivo para dar el rendimiento obtenido en asociación. Un valor del índice mayor que la unidad indica ventajas de la asociación respecto a los monocultivos de referencia.

Para evaluar la acumulación de N, P y K en los tejidos de plantas se utilizaron muestras de tejido vegetal y granos provenientes de las muestras obtenidas para determinar la materia seca correspondientes al estadio de maduración en cada especie, evaluado en cada tratamiento. Las determinaciones fueron realizadas en el laboratorio de suelos del INIA-Yaracuy. Se calculó la acumulación de N, P y K promedio por especie en cada tratamiento y la eficiencia de uso de esos elementos para la producción de granos, de acuerdo con Tanaka (1983), los cuales se basaron en las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio (en porcentaje) según los análisis del laboratorio, tomándose el promedio de cuatro repeticiones. La concentración se relacionó con el peso seco de la planta para calcular la cantidad de cada elemento por planta.

Los valores absolutos de absorción y conversión para nitrógeno, fósforo y potasio fueron empleados para estimar las eficiencias relativas según Trenbath (1986). Para este autor, el rendimiento es el producto de la absorción de nutrientes (acumulación) por la eficiencia de conversión, de manera que si la absorción de un nutriente dado en kg·ha⁻¹ por el monocultivo trigo es *Atm* y en la asociación es *Ata*, y sus eficiencias de conversión respectivas (*Etm* y *Eta*), siendo los valores correspondientes a la arveja *Aam*, *Aaa*, *Eam* y *Eaa*, entonces la RET para el uso del nutriente se calcula como: $RET = (Ata/Atm) (Eta/Etm) + (Aaa/Aam) (Eaa/Eam)$. Entonces, si consideramos que $at = (Ata/Atm) - 1$; $et = (Eta/Etm) - 1$; $aa = (Aaa/Aam) - 1$ y $ea = (Eaa/Eam) - 1$ y se reorganizan los términos, quedaría: $RET = 1 + (1+at+aa) + (et+ea) + (at+et+aa+ea)$; donde el primer término es la desviación de la RET respecto a la unidad debida a diferencias de

absorción del nutriente por las plantas de trigo y arveja en asociación y en monocultivos; el segundo término es la contribución de las eficiencias de conversión relativas a la RET y el último factor se refiere a la contribución de la interacción entre absorción y eficiencia de conversión a la RET y es considerado como el residual. El método permite estimar la contribución de la absorción, de la eficiencia de conversión y de la interacción entre ambos factores o residual, en la determinación del valor de la RET (Chowdhury y Rosario, 1994).

La interpretación estadística de los datos se realizó mediante análisis de varianza simple y comparaciones de medias con la prueba de Duncan. Se utilizó el programa estadístico SAS (Cary, NC), aplicado al rendimiento y sus componentes, así como a la acumulación de nutrientes y a las comparaciones entre los índices mencionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 presenta los resultados obtenidos en el rendimiento y sus componentes en el trigo. No hubo diferencias significativas en cuanto al número de granos por espiga y peso promedio de un grano; sin embargo, hubo diferencias significativas en el rendimiento lo que indica que la gramínea fue afectada por la competencia con la leguminosa en las fases de crecimiento vegetativo, floración y/o llenado del grano, ya que el rendimiento resultó mayor ($P \leq 0,01$) en las parcelas de monocultivos TM seguido del tratamiento de la asociación A1:T1.

La acumulación total de la materia seca también resultó significativamente mayor ($P \leq 0,05$) en el monocultivo trigo.

Los resultados para la arveja mostrados indican que no hubo diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas excepto en la acumulación de materia seca, lo cual refleja que el rendimiento de la leguminosa no fue afectado por la competencia con el cereal para la producción de granos pero sí para la producción de materia verde, resultando significativamente mayor ($P \leq 0,05$) en el monocultivo (Cuadro 2).

Cuadro 1. Componentes de rendimiento y materia seca en trigo como monocultivo asociado con arveja

Trat.	NGE	PPUG (g)	Materia seca (kg·ha ⁻¹)	Rend. (kg·ha ⁻¹)
TM	31,43 a	0,041 a	4638 a	2593 a
A1:T1	26,80 a	0,045 a	2250 b	1255 b
A2:T1	27,60 a	0,039 a	2150 b	1069 b
A2:T2	28,10 a	0,040 a	1563 b	599 b
C.V.	13,0	11,6	34,6	29,0

Valores con letras distintas en cada variable indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

Cuadro 2. Componentes de rendimiento y materia seca en arveja como monocultivo o asociado con trigo

Trat.	PPUG (g)	NGL	Materia seca (kg·ha ⁻¹)	Rend. (kg·ha ⁻¹)
AM	0,13 a	3,7 a	2600 a	744 a
A1:T1	0,13 a	3,9 a	1425 b	563 a
A2:T1	0,12 a	3,6 a	1188 b	435 a
A2:T2	0,14 a	4,2 a	1688 b	741 a
C.V.	10,5	15,0	29,1	33,7

Valores con letras distintas en cada variable indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ($P \leq 0,01$)

Los resultados del índice de eficiencia de uso de los recursos por la asociación se presentan en el Cuadro 3. La relación de equivalencia de la tierra (RET) presentó ventajas para la asociación de 24 % en el caso de la asociación para el tratamiento (A1:T1) y de 23 % en el caso de la asociación para el tratamiento A2:T2. Estos resultados indican que se requerirían el 24 y 23 % más de terreno sembrado en monocultivo para igualar el rendimiento total de una hectárea de asociación en los tratamientos A1:T1 y A2:T2, respectivamente. La participación de la leguminosa en la RET total de la asociación fue ligeramente superior a la del cereal con 61,3%, 58,6% y 81,3% en los tratamientos A1:T1, A2:T1 y A2:T2, respectivamente.

En todos los casos la arveja contribuyó con un mejor índice en la asociación, lo cual supone que compitió mejor que el trigo. La RET total obtenida refleja ventajas cuando se combinan estos dos cultivos; en dos de estos casos fue mayor que la unidad, como fue en los tratamientos de una hilera intercalada de cada cultivo (A1:T1) y dos hileras intercaladas de cada cultivo (A2:T2). Estos valores concuerdan con otros estudios en diferentes países. Por ejemplo, en Estados Unidos se reportaron ventajas del sistema con valores de RET de 1,25; 1,32 y 1,26 cuando se combinó guisante y maíz a densidades de siembra alta,

media y baja, respectivamente, (Francis y Decoteau, 1993). En México, un valor de RET de 1,60 reflejó ventajas en el uso de los recursos en asociaciones de maíz con habas y pepinos el (Amador, 1980). En Canadá, en una asociación soya-maíz se demostró que estos sistemas son más efectivos que los monocultivos, reportando valores de RET de 1,14 y 1,23 (Martín et al., 1987).

Cuadro 3. Relación de equivalencia de la tierra (RET) en la asociación trigo-arveja

Tratamiento	Arveja RAA/RA M	Trigo RTA/RTM	Total RET
A1:T1	0,76 ± 0,09	0,48 ± 0,05	1,24 ± 0,20
A2:T1	0,58 ± 0,07	0,41 ± 0,06	0,99 ± 0,20
A2:T2	1,00 ± 0,12	0,23 ± 0,15	1,23 ± 0,16

RAA: Rendimiento arveja asociada

RAM: Rendimiento arveja monocultivo

RTA: Rendimiento trigo asociado

RTM: Rendimiento trigo monocultivo

Otros ensayos donde se probaron varias dosis de nitrógeno en combinaciones de maíz-maní y sorgo-frijol encontraron una RET de 1,46 sin aplicación de nitrógeno (Rao et al., 1987). Esto último fue corroborado por Caporali et al. (1998) en Italia, quienes encontraron un RET de 1,19 en una combinación trigo y guisante sin aplicación de nitrógeno. En Venezuela, Quiroz y Marín (2003) en una combinación maíz-quinchoncho reportaron una mejor eficiencia del uso de los recursos por las parcelas asociadas, evidenciando ventajas respecto a los monocultivos de referencia. En el caso de la RET, las ventajas fueron del 90 y 93% en parcelas no fertilizadas y fertilizadas, respectivamente.

Los Cuadros 4 y 5 presentan las concentraciones de N, P y K en órganos epigeos y granos de arveja en monocultivo y asociación durante la fase de crecimiento reproductivo. La acumulación de nutrimentos fue mayor en el grano que en el resto de la planta. Aunque los valores fueron más bajos que los reportados en la literatura (Mills y Jones, 1996) las especies completaron su ciclo y no presentaron deficiencias nutricionales evidentes.

Cuadro 4. Concentraciones de N, P y K (%) en órganos epigeos de arveja en monocultivo y

en asociación con trigo durante el estado de maduración de frutos

Tratamiento	N	P	K
AM	1,83 a	0,17 a	0,59 a
A1:T1	1,84 a	0,17 a	0,58 a
A2:T1	1,85 a	0,17 a	0,63 a
A2:T2	1,76 a	0,17 a	0,36 a
C.V.	14,85	5,09	12,69

Valores con letras distintas en cada variable indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

Cuadro 5. Concentraciones de N, P y K (%) en granos de arvejas en monocultivo y en asociación con trigo.

Tratamiento	N	P	K
AM	3,80 a	0,52 a	0,96 a
A1:T1	4,02 a	0,52 a	0,97 a
A2:T1	3,99 a	0,49 a	1,05 a
A2:T2	3,83 a	0,44 a	0,91 a
C.V.	19,1	8,7	12,7

Valores con letras distintas en cada variable indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

No hubo diferencias significativas entre tratamientos para la concentración de nitrógeno en el grano aunque hubo tendencia a valores más altos en los granos de las parcelas asociadas. Con el fósforo y el potasio tampoco hubo diferencias significativas entre tratamientos. Los valores de fósforo se presentan dentro del rango apropiado, no así los de nitrógeno y potasio los cuales se presentaron deficientes.

Con relación al trigo, la respuesta en cuanto al contenido de N, P y K no mostró diferencias significativas en los órganos epigeos, ni en las concentraciones del grano, excepto para el contenido de nitrógeno en granos, donde hubo un efecto de la asociación. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en los sistemas donde se intercalaron dos hileras de arveja entre el trigo (Cuadro 6 y 7).

Cuadro 6. Concentraciones de N, P y K (%) en plantas de trigo en monocultivo y en asociación con arveja durante la maduración de frutos

Tratamiento	N	P	K
TM	1,05 a	0,23 a	0,69 a
A1:T1	1,08 a	0,19 a	1,00 a
A2:T1	1,07 a	0,25 a	1,00 a
A2:T2	0,88 a	0,20 a	0,96 a
C.V.	8,1	2,3	2,3

Valores con letras distintas en cada variable indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

Cuadro 7. Concentraciones de N, P y K (%) en granos de trigo en monocultivo y en asociación con arveja

Tratamiento	N	P	K
TM	1,31 b	0,28 a	0,82 a
A1:T1	1,34 b	0,36 a	0,80 a
A2:T1	1,81 a	0,29 a	0,64 a
A2:T2	1,44 ab	0,27 a	0,80 a
C.V.	6,68	3,93	4,87

Valores con letras distintas en cada variable indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

Esto se debería a que la leguminosa posiblemente mejoró el nivel de nitrógeno en el suelo mediante su capacidad fijadora del mismo, resultados que concuerdan con los reportados por Zhang y Li (2003). Estos autores evaluaron la competitividad de algunas especies asociadas y encontraron que se mejoró el contenido nutricional de hierro para el maíz cuando se asoció con maní, el frijol incrementó la disponibilidad de nitrógeno y fósforo cuando se asoció con maíz, y el garbanzo facilitó la disponibilidad de fósforo cuando se asoció con trigo.

Los Cuadros 8 y 9 contienen los valores de absorción de N, P y K calculados a los 90 días en ambos cultivos cuando las plantas tenían legumbres y granos maduros (Tanaka, 1983). La tendencia general de los valores indica una mayor absorción de nutrimentos en el monocultivo de ambas especies, es decir, que la arveja y el trigo asociados, independientemente de la combinación resultarían desfavorecidos en su eficiencia de absorción de N, P y K.

La disminución de absorción respecto al monocultivo, no se produjo a la par para ambas especies. En el caso de la arveja, la mayor disminución se dio en la asociación A2:T1, mientras que para el trigo se dio en la asociación A2:T2, siendo en este caso una reducción de absorción muy drástica (35% respecto a la absorción del monocultivo para el N, 32% para el P y 41% para el K).

Cuadro 8. Absorción de N, P y K ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en arveja como monocultivo y en asociación con trigo (media \pm SD)

Tratamiento	N	P	K
AM	750 \pm 0,12	113 \pm 0,05	213 \pm 0,07
A1:T1	500 \pm 0,15	65 \pm 0,11	118 \pm 0,04
A2:T1	395 \pm 0,15	50 \pm 0,06	105 \pm 0,04

A2:T2	535 \pm 0,04	60 \pm 0,03	125 \pm 0,14
-------	----------------	---------------	----------------

Cuadro 9. Absorción de N, P y K ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en trigo como monocultivo y en asociación con arveja (media \pm SD)

Tratamiento	N	P	K
TM	220 \pm 0,04	47,5 \pm 0,15	140 \pm 0,18
A1:T1	110 \pm 0,06	27,5 \pm 0,11	82,5 \pm 0,21
A2:T1	130 \pm 0,15	22,5 \pm 0,20	72,5 \pm 0,17
A2:T2	77,5 \pm 0,08	15 \pm 0,04	57,5 \pm 0,06

Los Cuadros 10 y 11 muestran las eficiencias de conversión absoluta en términos de granos producidos por nutriente acumulado, para las mismas edades de los cultivos consideradas en el párrafo anterior. En el caso de la arveja, se presentan tendencias opuestas a los de la absorción y puede observarse que los valores en las parcelas asociadas superan a los monocultivos, especialmente en la combinación de dos hileras de cada uno de los cultivos intercalados; mientras que en el trigo ocurrió una tendencia similar en la absorción de nutrientes cuando en la combinación la presencia de la leguminosa fue mayor. Esto significa que la asociación afectó la absorción de N, P y K en ambos cultivos, pero mejoró la eficiencia de conversión de los elementos en comparación con los monocultivos. En el cultivo arveja, en especial con el nitrógeno, se demostró la gran capacidad de esta especie de utilizar los nutrimentos en comparación con el trigo. En relación con los valores correspondientes al trigo, la asociación A2:T1 presentó para el P y el K eficiencias comparables a las de A1:T1 como ocurrió para los tres nutrimentos en el caso de la arveja, mientras que para el N la eficiencia fue similar a la de la asociación A2:T2. Esto significa que cuando la leguminosa se presenta en mayor proporción, el cereal es menos eficiente en la conversión de este elemento. Pese a que la disminución de la eficiencia de conversión del N es mayor en los casos en que se intercalan dos hileras de arveja entre las de trigo, es en estos casos en los que se ha evidenciado una mayor concentración de N en los granos de trigo (Cuadro 7).

Cuadro 10. Eficiencia de conversión de N, P y K ($\text{kg granos}\cdot\text{kg}^{-1}$ nutriente) en arveja como monocultivo y asociado con trigo (media \pm SD)

Tratamiento	N	P	K
AM	0,99 ± 0,05	6,61 ± 0,20	3,50 ± 0,54
A1:T1	1,13 ± 0,03	8,66 ± 0,19	4,79 ± 0,27
A2:T1	1,10 ± 0,12	8,70 ± 0,35	4,14 ± 0,32
A2:T2	1,39 ± 0,20	12,3 ± 0,23	5,93 ± 0,15

Cuadro 11. Eficiencia de conversión de N, P y K (kg de granos·kg⁻¹ nutrimento) en trigo como monocultivo y asociado con arveja (media ± SD)

Tratamiento	N	P	K
TM	11,79 ± 0,26	54,60 ± 0,27	18,52 ± 0,03
A1:T1	11,41 ± 0,43	45,64 ± 0,32	15,22 ± 0,06
A2:T1	8,23 ± 0,13	47,53 ± 0,14	14,75 ± 0,08
A2:T2	7,72 ± 0,32	39,93 ± 0,17	10,42 ± 0,10

Las eficiencias relativas de absorción y conversión son presentadas en los Cuadros 12 y 13. Los valores negativos para el índice (at) y (aa) indican que con cualquier combinación asociada, la absorción de N, P y K en ambos cultivos resultó menor que la de los monocultivos respectivos. La eficiencia de conversión relativa (et) presentó valores negativos para el trigo independientemente de la combinación asociada, lo cual significa una disminución en la eficiencia de conversión en el trigo asociado en comparación con el monocultivo, mientras que para la arveja los valores fueron positivos, evidenciando una mayor eficiencia de la leguminosa asociada en el empleo de N, P y K para la acumulación en granos. Es de resaltar que la combinación A2:T2 presentó simultáneamente las eficiencias de conversión más elevadas para la arveja y más bajas para el trigo, evidenciando una menor eficiencia de conversión del cereal (cuando se asoció en esta proporción) para el uso de los elementos en comparación con el monocultivo.

Finalmente, el Cuadro 14 presenta los valores de la RET para los nutrimentos, calculada con los índices de absorción (a) y de conversión (e) a fin de separar la importancia relativa de la absorción, la conversión y la interacción de ambas, como determinantes del aumento de la RET sobre la unidad. Estos datos indican que la asociación arveja-trigo resultó favorable en términos del empleo de N, P, y K en relación con el monocultivo excepto para el tratamiento A2:T1 donde se registraron valores de 1. Los residuales resultaron casi todos negativos reflejando las tendencias opuestas de la absorción y la

conversión.

Cuadro 12. Eficiencias de absorción relativas, en el cultivo de la arveja asociada con trigo

Tratamiento	Arveja (aa)			Trigo (at)		
	N	P	K	N	P	K
A1:T1	-0,33	-0,42	-0,44	-0,50	-0,42	-0,41
A2:T1	-0,47	-0,55	-0,51	-0,41	-0,52	-0,48
A2:T2	-0,29	-0,47	-0,41	-0,65	-0,68	-0,59

Cuadro 13. Eficiencias de conversión relativas en el cultivo de la arveja asociada con trigo

Tratamiento	Arveja (ea)			Trigo (et)		
	N	P	K	N	P	K
A1:T1	0,14	0,31	0,37	-0,03	-0,16	-0,18
A2:T1	0,11	0,32	0,18	-0,30	-0,13	-0,20
A2:T2	0,39	0,86	0,69	-0,35	-0,27	-0,44

Estos resultados concuerdan con los de Chowdhury y Rosario (1994), quienes estudiaron una asociación de maíz y frijol mungo (*Vigna radiata*) en un ensayo aditivo con siembra simultánea y diferentes dosis de N; dichos autores encontraron valores de RET para N, P y K comprendidos entre 1,29 y 1,44. En otro ensayo similar donde se combinaron quinchoncho y maíz, los valores de RET calculados con base a la eficiencia de absorción y conversión de N, P y K indicaron ventajas de las asociaciones sobre los monocultivos independientemente de la aplicación de fertilizante (Quiroz, 1997).

Estos valores de RET reflejan una tendencia similar a los obtenidos a partir de los rendimientos exclusivamente (Cuadro 3), es decir, RET menores cuando en la asociación predomina la arveja y mayores cuando ambos cultivos participan en igual proporción en la asociación.

Cuadro 14. Relación de Equivalencia de la Tierra (RET) para los nutrimentos

	Asociación Arveja / Trigo 1: 1			
	RET	Absorción	Conversión	Residual
N	1,25	0,17	0,11	-0,03
P	1,24	0,16	0,15	-0,07
K	1,25	0,15	0,19	-0,09
	Asociación Arveja / Trigo 2:1			
	RET	Absorción	Conversión	Residual
N	1,00	0,12	-0,19	0,07
P	1,01	-0,07	0,19	-0,11
K	1,02	0,01	-0,02	0,03
	Asociación Arveja / Trigo 2:2			
	RET	Absorción	Conversión	Residual
N	1,21	0,06	0,04	0,11
P	1,22	-0,15	0,59	-0,22
K	1,24	0,01	0,25	-0,02

RET= 1 + absorción + conversión + residual;
 Absorción = (1+at+aa); Conversión = (et+ea);
 Residual = (at-et + aa-ea)

CONCLUSIONES

El rendimiento en granos de la arveja no fue afectado por la competencia con el trigo en las parcelas asociadas, mientras que el cereal sí presentó disminución de rendimiento cuando se sembró combinado. La producción de materia seca de ambas especies sí fue significativamente menor para las asociaciones que para los monocultivos.

Las distintas relaciones de equivalencia de la tierra (RET) utilizadas para estimar la eficiencia de uso de los recursos por las parcelas asociadas evidenciaron ventajas respecto a los monocultivos para las asociaciones en las que arveja y trigo se encontraban en igual proporción.

La eficiencia de absorción de N, P y K por ambas especies en monocultivos resultó mayor que en la combinación en asociación.

La eficiencia de conversión de nutrientes en el caso de la arveja fue apreciablemente más elevada en las asociaciones que en el monocultivo, siendo destacable el incremento en la asociación que intercala dos hileras de cada cultivo. En el caso del trigo, por el contrario, se encontró una disminución en las asociaciones respecto al monocultivo, de esta eficiencia de conversión, tendencia igual a la de la absorción.

Los valores de la RET calculados con base a las eficiencias de absorción y conversión de N, P y K indicaron ventajas de las asociaciones en las que arveja y trigo se encontraron en igual proporción sobre los monocultivos.

AGRADECIMIENTO

A José Antonio Salas en el procesamiento de datos y análisis estadístico de los resultados. Francis Pierre y Pío Rodríguez por la revisión del mismo, así como a Alexis Parra y Gil García por su ayuda en la recolección y ordenamiento de los datos de campo.

LITERATURA CITADA

1. Amador, M. F. 1980. Behavior of three species (corn, beans, squash) in polyculture in Chontalpa, Tabasco, México. *Conservation*

Soil Agricultural Tropical.

2. Baldy C. y C. J. Stigter. 1993. *Agrometeorologie. Des cultures multiples en regions chaudes. Institut National de la Recherche Agronomique INRA, Paris.*
3. Caporali, F., E. Campiglia, R. Paolini y R. Mancinelli. 1998. The effect of crop species, nitrogen fertilization and weeds on winter cereal/pea intercropping. *Italian Journal of Agronomy* 2(1): 1-9.
4. Chiu, C. y T. Yoshida. 1986. Fate of nitrogen in soils planted to soybean crops. *Soil Sci. Plant Nut.* 32(2): 273-284.
5. Chowdhury, M .K. y E. L. Rosario. 1994. Comparison of nitrogen, phosphorus and potassium utilization efficiency in maize/mungbean intercropping. *Journal of Agricultural Science* 122: 193-199.
6. Duenas, G., O. Munis, T. Sánchez, L. Gómez, y H. Álvarez. 2002. Reciclaje de nitrógeno en una sucesión frijol-maíz-frijol en suelo ferralítico usando el método isotópico. *Terra* 20(1): 45-50.
7. Francis, R., y D. R. Decoteau. 1993. Developing and effective southern pea and sweet corn intercrop system. *Hort. Technology* 3(2): 178-184.
8. Jeffers, D. L. y J. R. Triplett. 1979. Management needed for relay intercropping soybean and wheat. *Ohio Report* 64: 67 - 70.
9. Jensen, E. S. 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for Inorganic N in pea barley intercrops. *Plant Soil* 182: 25- 38.
10. Li, L ., J. H. Sun, F. S. Zhang, X. L. Li, S. C. Yang y Z. Rengel. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. I. Yield advantages and interspecific interactions on nutrients. *Field Crops Research* 71:123-137.

11. Li, L., C. Tang, Z. Rengel y F. S. Zhang. 2002. Chickpea facilitates phosphorus uptake by intercropped wheat from an organic phosphorus source. *Plant and Soil* 248: 297-303.
12. Marín, CH. D., Y. Olivar y R. Cavanerio. 1998. Crecimiento y rendimiento en granos en una asociación de maíz (*Zea mays* L.) y caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) con siembra simultánea. *Rev. Fac. Agron.* 15:297-311.
13. Martín, R., D. Smith y H. Voldeng. 1987. Intercropping corn and soybeans. *Sustainable Farming*. Canadá. McGill University, MacDonald Campus.
14. Mills, H. y J.B. Jones. 1996. *Plant Analysis Handbook II*. Micro- Macro Pub. Athens, Georgia.
15. Nambiar, P.T.C., M. R. Rao, M. S. Reddy, C. N. Floy, P. J. Dart y R. W. Willey. 1983. Effect of intercropping on nodulation and N-fixation by groundnut. *Expl. Agric.* 19: 79-86.
16. Odunze, A.C, E.N. O. Iwuafor y V.O. Chude. 2002. Maize/herbaceous legume intercrops and soil properties in the Northern Guinea Savanna zone, Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture* 20(1): 15-25.
17. Palaniappan, S. 1988. *Soil Fertility Management. Cropping Systems in the Tropics. Principles and Management*. Tamil Nadú Agricultural University. Coimbatore, pp. 98- 120.
18. Quiroz, A. 1997. Evaluación de la asociación maíz-quinchoncho con siembra escalonada y dos niveles de fertilización. Tesis Producción Vegetal, Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela.
19. Quiroz, A y D. Marín. 2003. Rendimiento en granos y eficiencia de una asociación maíz-quinchoncho con o sin fertilización. *Bioagro* 15(2): 121-128.
20. Rao, M. R, T. J. Rego y R. W. Willey. 1987. Response of cereal to nitrogen in sole cropping and intercropping with different legumes. *Plant and Soil* 101: 167-177.
21. Ruschel, A. P., E. Salati y P.B. Vose. 1979. Nitrogen enrichment of soil and plant by *Rhizobium phaseoli* and *Phaseolus vulgaris* symbiosis. *Plant and Soil* 51: 425-429.
22. Sing, S. P. 1981. Studies on spatial arrangement in sorghum/legumes intercropping system. *Journal Agric. Sci.* 97: 655-661.
23. Tanaka, A. 1983. Physiological aspects of productivity in field crops. *In: Symposium on Potential Productivity of Field Crops under different environments*. Los Baños. Laguna, Phillipines.
24. Trenbath, B.R. 1986. Resource use by intercrops. *In: C. Francis (ed.). Multiple Cropping Systems*. Macmillan Publishing, New York. 126 p.
25. Willey, R.W. 1979. Intercropping-its importance and research needs part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstr.* 32(1): 1-10.
26. Zhang, F y L. Li. 2003. Using competitive and facilitative interactions intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil* 248: 305-312.
27. Zhou X. M, A. M. Chandra, F. M. Angus, J. W. Kaluli y D. L. Smith. 2000. Corn yield and fertilizer N recovery in water-table controlled corn-rye-grass. *Eur. J. Agron.* 12: 83-92.

