

Artículo original

Comportamiento productivo en agroecosistemas de intercalamiento yuca-frijol en el municipio “Calixto García”, provincia Holguín

M.Cs. Sebastián Zayas-Infante^{1*}

Dr.C. Pascal Boeckx²

Dr.C. Heriberto Vargas-Rodríguez³

¹Centro Universitario Municipal “Calixto García”. Universidad de Holguín, Cuba

²Laboratorio Isotópico de Biociencias, Universidad de Ghent, Bélgica

³Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, carretera a Tapaste y Autopista Nacional. San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba

* Autor para correspondencia. ssayasi@uho.edu.cu

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en áreas productivas del municipio “Calixto García”, provincia Holguín. El estudio se realizó con el objetivo de evaluar el comportamiento de los rendimientos en sistemas de intercalamiento yuca-frijol en el municipio. En esta investigación se empleó el clon de yuca “Selección Holguín” y el cultivar de frijol Caupí “Carita Blanco” con un ciclo de 270 días para la yuca y 70 días para el frijol sobre suelos alcalinos. En el cultivo de la yuca se evaluaron los indicadores siguientes: cantidad de raíces tuberosas por planta, masa promedio por planta y rendimiento del cultivo en $t\ ha^{-1}$, en el cultivo del frijol se evaluó: presencia de nódulos en el sistema radicular y rendimiento del cultivo en $t\ ha^{-1}$; en el sistema se evaluó: el Índice de Eficiencia de la Tierra (IET) y la valoración económica. Los resultados mostraron respuestas diferenciadas de los indicadores evaluados en cada tratamiento, destacándose el tratamiento II (fertilización mixta a partir de la combinación de materia orgánica a razón de $5\ t\ ha^{-1}$ y micro dosis de fertilizante a base de fórmula completa NPK a razón de 10 g por planta con intercalamiento de frijol) con mayores rendimientos, resultados económicos, mayor presencia de nódulos sobre el resto de los tratamientos y se encontraron Índice de Eficiencia de la Tierra favorables para la asociaciones yuca-frijol con valores de 1,67-2,12; lo que corroboró la eficiencia del uso de policultivos.

Palabras clave: rendimiento, suelo alcalino, Caupí, materia orgánica del suelo, *Manihot esculenta*, *Vigna unguiculata*

Recibido: 10/07/2017

Aceptado: 24/01/2019

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos cobra en la época actual una importancia decisiva ante el acelerado incremento de la población mundial, es por ello que entre los objetivos del milenio predomina la lucha contra el hambre. Se estima que alrededor de 600 millones de personas en el mundo se encuentran subnutridas ⁽¹⁾.

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es un cultivo muy difundido en el mundo, con una gran presencia en África, América y el Caribe y constituye uno de los cultivos tradicionales y de uso más extendido en estas áreas geográficas y forma parte de la base alimenticia de más de 600 millones de personas en las regiones tropicales del mundo ⁽²⁾. Se cultiva en más de 90 naciones, siendo muy valorado por su contribución a la seguridad alimentaria en muchos países tropicales con una producción mundial superior a los dos millones de toneladas anuales ⁽³⁻⁵⁾. Por otra parte, el frijol Caupí (*Vigna unguiculata* L, Walp) es una leguminosa de grano de amplio uso agrícola en Cuba, la importancia económica de este cultivo para el país está dada por dos razones fundamentales: constituye una fuente de proteína vegetal de consumo animal y humano y sus follajes se emplean con mucha frecuencia como abonos verdes ⁽⁶⁾.

Actualmente el incremento de los efectos del cambio climático ha contribuido al realce de las bondades de ambos cultivos, la yuca, sobre todo por su resistencia a altas temperaturas, a plagas y enfermedades y a grandes periodos de sequía, así como una alta adaptabilidad a una amplia gama de condiciones de suelo ⁽⁷⁾ y en el caso del frijol, constituye una opción, debido a que su rusticidad le permite establecerse con relativa facilidad en ambientes adversos y con tolerancia a la sequía, altas temperaturas, metales pesados y estrés salino, pero también puede contribuir con una cantidad apreciable de nitrógeno (150 kg N ha⁻¹) de fijación simbiótica al ecosistema ⁽⁸⁾.

La yuca por sus características fisiológicas, al inicio de su ciclo vegetativo, no utiliza eficientemente los factores luz, agua y nutrientes, por lo que es posible su intercalamiento con un cultivo de ciclo corto. De igual forma, en la fase final de desarrollo ocurre algo similar, por lo que

también permite el intercalamiento de cultivos y con ello un uso más eficiente del espacio físico (9,10).

Esta práctica es muy común en numerosos países tropicales y subtropicales, ya que la presencia de especies diferentes simultáneamente en una misma área, contribuye a mantener el equilibrio de los nutrientes del suelo y aumenta la fertilidad. Al respecto, se plantea que la economía general de la explotación agrícola se beneficia, como consecuencia de la diversificación de los cultivos y de las posibilidades de salida de los distintos productos (10,11).

En Cuba persisten tecnologías de producción para este cultivo con las que no se aprovecha totalmente el área vital. Ello puede ser revertido si en las primeras fases de su desarrollo se utiliza la tecnología de los cultivos asociados dado a su comportamiento fisiológico en esta etapa (12). En este sentido existen experiencias de distintas asociaciones de cultivos con yuca, así se realizó un estudio del comportamiento del rendimiento y sus componentes en intercalamiento con maíz y frijoles (12). De igual forma, se realizaron estudios con especies de leguminosas eficientemente micorrizadas asociadas con la yuca en la provincia de Guantánamo (13).

En el municipio “Calixto García”, la yuca es el segundo cultivo más importante, con producciones que alcanzan las 4845,6 toneladas en el sector no estatal, superadas solo por el plátano (14). No obstante, no se ha generalizado entre los productores el aprovechamiento de las potencialidades que brinda para intercalar cultivos en sus primeros estadios de su ciclo de vida. Por otra parte, estudios recientes han evidenciado la influencia de varios indicadores de suelos en el desarrollo de este cultivo a partir de su análisis en cuatro fincas, ubicadas al centro y al sur del municipio “Calixto García” (Padierno, Monte Alto, Cruce de Mir y La Mananina).

Los resultados muestran la baja fertilidad del suelo, la existencia de salinidad, el pH o la alcalinidad elevados, entre otros indicadores, que afectan su productividad. Aunque no en todas las fincas las manifestaciones son similares, se identifican como causas fundamentales: un manejo inadecuado del suelo, dado por exceso de fertilizantes químicos; el riego con agua salina; no rotar el suelo correctamente, entre otros factores limitantes. Por todo lo anterior, el objetivo del trabajo se enfoca en evaluar el comportamiento productivo en intercalamiento yuca-frijol en el municipio “Calixto García”.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del municipio “Calixto García”

El municipio “Calixto García” se encuentra situado, geográficamente, al oeste de la provincia de Holguín, posee una extensión superficial de 591,0 km², la población total es de 55 701 habitantes, para una densidad poblacional de 94,2 habitantes por km². Aproximadamente el 80 % de la economía territorial se sustenta en las producciones agrícolas, por lo que se dispone de una cultura agropecuaria, la red hidrográfica es escasa y su principal cuenca es el río “La Rioja”, la cual a su vez, forma parte de la cuenca del río “Cauto”.

Las precipitaciones oscilan entre 800 y 1200 mm/año, con un incremento en la duración de los periodos secos que se extienden, en ocasiones, hasta los 210 días; la temperatura media anual es de 36,7 °C.

En el municipio existen varios tipos de suelos, pero predominan los Pardos Sialíticos con presencia de factores limitantes como salinidad y alcalinidad.

En el territorio es tradición el cultivo de las viandas, entre las que se destacan, el plátano y la yuca, datos estadísticos suministrados por la Delegación de la Agricultura corroboran que las producciones de yuca ocupan lugar significativo dentro de las viandas y en el caso del frijol, a pesar de no constituir un renglón predominante dentro de los granos, se obtienen producciones discretas (Figura 1).

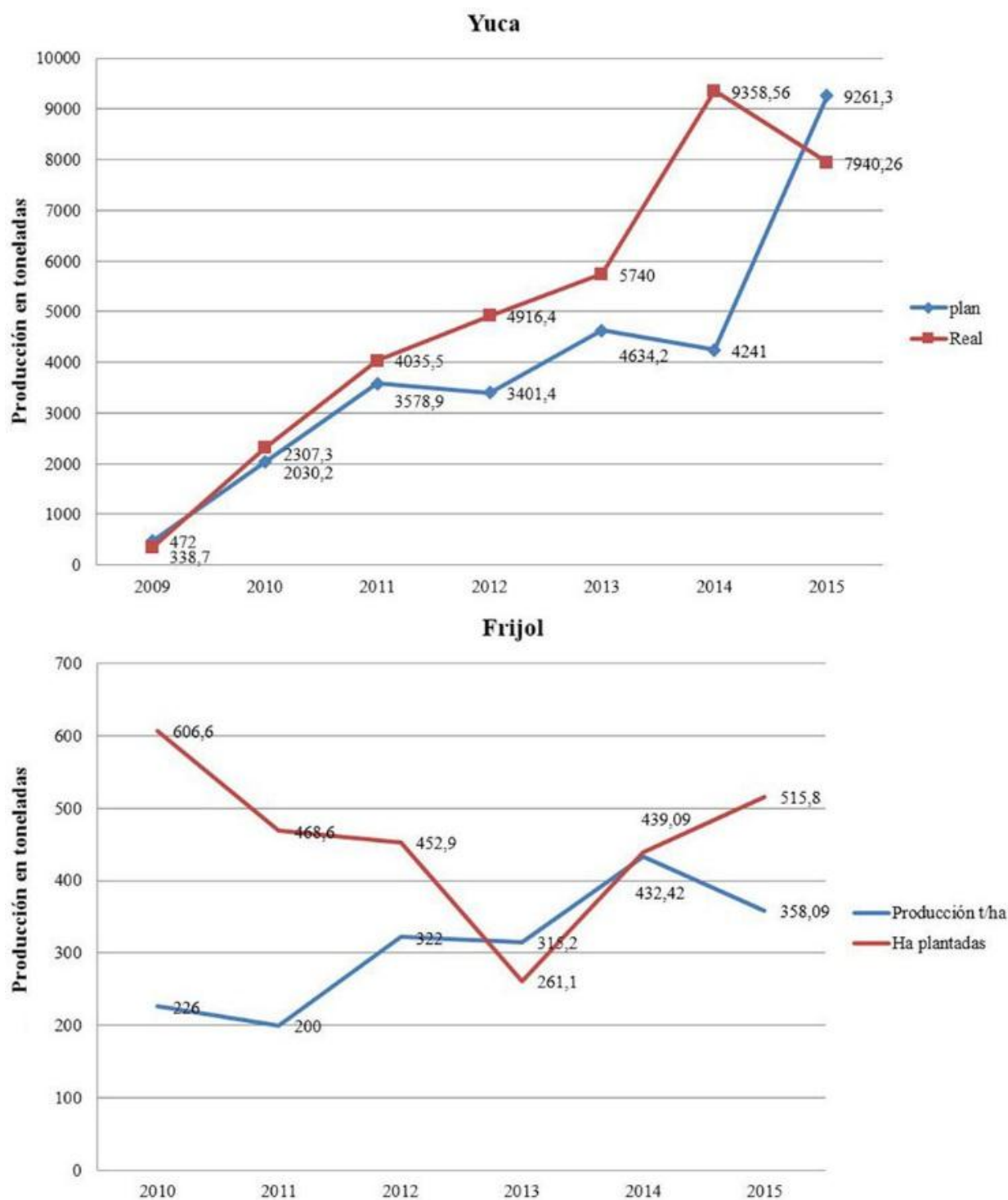


Figura 1. Producciones de yuca y frijol obtenidas en el municipio “Calixto García” en la etapa 2010-2015

La experiencia se desarrolló en la localidad “La Alegría” y se inició en el mes de noviembre de 2015 hasta septiembre de 2016, sobre un suelo Pardo Sialítico con una elevada alcalinidad (pH 8,2). El clon de yuca seleccionado fue “Selección Holguín” y la variedad de frijol “Carita Blanco”. Se emplearon parcelas experimentales de 40 m². La fertilización aplicada fue materia orgánica a

razón de 5 t ha⁻¹ y microdosis de fórmula completa (NPK) a razón de 10 g por planta. Se aplicó de forma circular alrededor de cada planta y se cubrió con el suelo. En todos los casos en que se aplicó fertilización fue al cultivo de la yuca y se realizó al mes de plantada. Los tratamientos utilizados son similares a los empleados en estudios precedentes desarrollados en sistemas de intercalamiento con el cultivo de la yuca ⁽¹⁵⁾.

Los tratamientos empleados se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos utilizados en el experimento

Tratamiento	Arreglo espacial de la yuca (m)	Población de frijol por hectárea	Distancia de siembra del frijol
Testigo Sin fertilización	0,90 x 0,70	-	-
Tratamiento I Fertilización orgánica (5 tha ⁻¹)	2,0 x 0,50	111111	0,45 x 0,20
Tratamiento II Fertilización orgánica (5 tha ⁻¹) + microdosis de NPK (10 g planta ⁻¹)	2,0 x 0,50	111111	0,45 x 0,20

Las variables a evaluar y el procedimiento empleado fueron:

En el cultivo de la yuca:

- Cantidad de raíces tuberosas por planta: se realizó el conteo de las raíces tuberosas al momento de la cosecha.
- Masa de las raíces tuberosas por planta en kg: para estimar este indicador se calculó la masa promedio al dividir la sumatoria de todas las mediciones entre el número de plantas en cada parcela.
- Rendimiento por tratamiento: se determinó el peso total de las raíces tuberosas por cada parcela experimental en kg m⁻² y se realizó su conversión a t ha⁻¹.

En el frijol:

- Rendimiento por tratamiento: al efectuarse la cosecha se determinó la masa total de los granos por cada parcela experimental en kg m² y se realizó su conversión a t ha⁻¹.
- Cantidad de nódulos por planta: para el conteo de los nódulos existentes se realizó la extracción de cada planta a muestrear en el momento de la floración y se efectuó el conteo de los nódulos existentes en cada planta.

Al efectuarse la cosecha del frijol se depositaron los restos de cosecha en el tronco de las plantas de yuca en la parcela correspondiente.

El Índice Equivalente de la Tierra (IET): se determinó por la siguiente expresión

$$IET = I_x + I_y = R_x a R_{xu} + R_y a R_{yu}$$

dónde: $I_x + I_y$ son el IET individual de los cultivos (x) yuca y (y) leguminosa.

Los R_x y R_y son los rendimientos de los cultivos asociados y los R_{xu} y R_{yu} son los rendimientos históricos de los cultivos no asociados, según la metodología descrita ⁽¹³⁾. Como rendimiento en monocultivo de las especies se tomaron los rendimientos históricos para la zona, siendo de 9,1 y 0,7 t ha⁻¹ para la yuca y el Caupí respectivamente, mientras que para el policultivo se utilizaron los rendimientos alcanzados en la investigación.

Los datos de las variables número de raíces por planta, masa de las raíces tuberosas por planta y rendimiento por tratamiento, fueron sometidos a un análisis de varianza. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con tres tratamientos y tres réplicas

Las medias de las variables fueron comparadas por el test de Tukey ($p < 0,05$), utilizando el programa estadístico SPSS 13.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cantidad de raíces tuberosas por planta

En el testigo se alcanzó un promedio de 5,3 raíces por planta, mientras que en el tratamiento I se alcanzó un promedio de 4,7 raíces por planta y en tratamiento II de 4,8 raíces por planta respectivamente (Tabla 2). Esta disminución en los tratamientos con intercalamiento de frijol se debe a que es posible que haya ocurrido competencia interespecífica, al aumentar la interacción que se produjo entre las especies, por ser mayor la densidad de plantas y, por tanto, que las sustancias que se producen para la formación de las raíces disminuyeran. A pesar de que evaluaron clones de yuca diferentes; en el sur de la India se observaron resultados parecidos, ya que al evaluar este aspecto se encontró que los monocultivos alcanzaron los valores más elevados de raíces por plantas en relación con los cultivos intercalados ⁽¹⁶⁾. Sin embargo, resultados recientes no encontraron diferencias significativas en cuanto a este indicador al evaluar diferentes marcos de plantación en el cultivo de la yuca ⁽¹⁷⁾.

Masa de las raíces tuberosas por planta

Como se muestra en la Tabla 2, en el testigo se alcanza una masa promedio de 1,93 kg; en el tratamiento I 2,67 kg, y en el tratamiento II 3,21 kg respectivamente. Se aprecian mejores resultados de este indicador en los sistemas con intercalamiento de frijol y se atribuye al empleo de marcos de plantación mayores en el cultivo de la yuca y a la acción combinada de la fertilización orgánica y química. La masa promedio de raíces por planta se favoreció mediante el intercalamiento con frijol, correspondiendo a los sistemas donde la yuca se plantó más ampliamente los mayores valores, mientras que donde se emplearon arreglos espaciales menores sufrió una reducción. Por otra parte, en estudios realizados en África Subsahariana se lograron mayores valores de la masa promedio de raíces por planta en parcelas donde se empleó la fertilización combinada de microdosis de fórmula completa y abonos orgánicos ^(17,18). En estudios realizados en la República Democrática del Congo se alcanzaron resultados similares, en relación con este indicador, con el empleo de sistemas de intercalamiento de diferentes cultivos con yuca ⁽¹⁸⁾.

Rendimiento

En el cultivo de la yuca, los rendimientos se comportaron como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Componentes y rendimiento de la yuca “Selección Holguín” en sistemas de intercalamiento con frijol “Carita blanco”

Tratamientos	Número de raíces/planta	Masa de raíces/planta (kg)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Testigo	5,3 ^a	1,93 ^a	7,3 ^a
Tratamiento I	4,7 ^b	2,67 ^b	11,2 ^b
Tratamiento II	4,8 ^b	3,21 ^c	16,7 ^c
Es x	0,75	0,12	1,6
CV %	12,8	16,3	18,6

* Letras desiguales en las filas para cada columna difieren para $p \leq 0,05$

En los resultados se aprecia que existen diferencias significativas entre los dos tratamientos y el testigo en cuanto al rendimiento. De esta forma, el tratamiento II fue el que alcanzó mayores rendimientos con valores de 16,7 t ha⁻¹, seguido por el tratamiento I y el testigo con 11,2 y 7,3 t ha⁻¹, respectivamente. Este incremento en el tratamiento II es atribuible a la acción combinada de la fertilización orgánica y química a base de fórmula completa y al aporte de nitrógeno realizado por

la descomposición de los restos de cosecha del frijol incorporados a las hileras de yuca. Dichos resultados coinciden con los alcanzados por investigadores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), quienes encontraron beneficioso incluir leguminosas en los sistemas de intercalamiento en cultivos económicos, ya que mejora la nutrición de las plantas y contribuye a incrementar los nutrientes en el suelo, fundamentalmente el nitrógeno.

Resultados similares fueron obtenidos en estudios realizados en Uganda oriental, al obtener incrementos en los rendimientos de cultivos asociados con frijol de Terciopelo (*Mucuna pruriens*) y acumulados de hasta un 50 % de nitrógeno captado de la atmósfera y aportado al suelo por medio de la fijación biológica (BNF), así como, reportan incrementos en el rendimiento en rango de entre 3 y 5 t ha⁻¹ en el cultivo de la yuca con el uso combinado de abonos verdes y estiércol ⁽¹⁹⁾, estos son atribuibles al incremento de la concentración de potasio y a la mejora de las propiedades físicas del suelo, lo que propicia un aumento en la capacidad de almacenamiento y por tanto en el engrosamiento de las raíces.

De igual forma, reportan incrementos entre 8 y 12 % en los rendimientos de la yuca con el empleo del intercalamiento de frijol y maíz ^(19,20), mientras que trabajos recientes obtienen adecuados resultados con la aplicación de restos de cosecha del frijol en las hileras de yuca ⁽²⁰⁾. Por su parte, otras investigaciones reportan una relación de proporcionalidad entre la disponibilidad de nutrientes orgánicos y los rendimientos del cultivo de la yuca en sistemas de intercalamiento ⁽²⁰⁾.

En el caso del frijol los rendimientos se comportaron de forma similar con 0,46 t ha⁻¹ para el tratamiento I y 0,6 t ha⁻¹ en el tratamiento II respectivamente.

Índice equivalente de la tierra

En los sistemas con intercalamiento de yuca con frijol se alcanzan índices de eficiencia de la tierra muy ventajosos. En este sentido, para el caso de las parcelas con intercalamiento y fertilización orgánica (tratamiento I) se obtiene 1,88; mientras que para el intercalamiento de yuca y frijol, con el empleo combinado de fertilización orgánica más microdosis de NPK (tratamiento II), se alcanzó un índice de 2,32.

Ello demuestra que el intercalamiento de cultivos permite obtener incrementos de este indicador en relación con el monocultivo ⁽²¹⁾. De igual forma, en Guantánamo se alcanzaron resultados similares al obtenerse Índices de Eficiencia de la Tierra (IET) favorables para las asociaciones yuca-Phaseolus y yuca-Caupí con valores de 1,67- 2,12; todo lo cual ratifica la eficiencia del diseño empleado para el uso de policultivos.

Resultados similares se obtuvieron en sistemas de intercalamiento de yuca con otros cultivos, al observar, de manera general, índices de equivalencia de la tierra más elevados en intercalamiento de yuca con otros cultivos ⁽²¹⁾.

Comportamiento del número de nódulos en el cultivo del frijol

La evaluación de la nodulación en el cultivo del frijol se realizó en la etapa de floración, que es donde se manifiesta con mayor intensidad esta característica en las leguminosas (Tabla 3).

Tabla 3. Comportamiento del número de nódulos por planta

Tratamiento	Presencia de nódulos	Promedio de nódulos por planta
Tratamiento I	Sí	19,2
Tratamiento II	Sí	31,5

Como se aprecia en la Tabla 3, en el tratamiento donde se emplea la fertilización combinada de materia orgánica y la microdosis de fertilizante químico, se obtiene un mayor número de nódulos por planta en relación con el tratamiento con empleo de fertilización orgánica, resultados que muestran similitud con los alcanzados durante el estudio del comportamiento de la fijación biológica de nitrógeno por seis variedades de frijol en Etiopia ⁽²²⁾, quienes reportan diferencias en la cantidad de nódulos en cada variedad evaluada, alcanzándose una mayor cantidad de nódulos, así como un incremento en la concentración de nitrógeno de hasta 65,3 mg por planta en el tratamiento donde se empleó la combinación de la fertilización orgánica con la química.

Valoración económica

Como se puede apreciar en la Tabla 4 se logra un incremento de 18593,94 CUP por concepto de ventas del tratamiento II sobre el testigo y, de forma general, en ambos tratamientos se logra un incremento sustancial en el importe por las ventas en comparación con el testigo.

Tabla 4. Ingresos alcanzados por concepto de ventas en ambos cultivos

Tratamientos	Rendimiento (t ha ⁻¹)		Precio de venta en (CUP t ⁻¹)		Valor total de la producción (CUP ha ⁻¹)		Importe total por concepto de ventas (CUP ha ⁻¹)
	Yuca	Frijol	Yuca	Frijol	Yuca	Frijol	
Testigo	7,3	-	1217,44	-	8887,31	-	8887,31
Tratamiento I	11,2	0,46	1217,44	11000,00	13635,33	5060,00	18695,33
Tratamiento II	16,7	0,65	1217,44	11000,00	20331,25	7150,00	27481,25

En relación con esta valoración económica se reporta, durante un estudio realizado en Etiopía, a partir de la evaluación de los costos totales y beneficios del precio neto, un incremento en los beneficios con el empleo de intercalamiento de estos cultivos de hasta un 10 % anual para los productores ⁽²²⁾. Estudios posteriores realizados en la República Democrática del Congo revelaron que los sistemas de intercalamiento permiten obtener mayores ingresos netos y son más rentables económicamente que el monocultivo ⁽²³⁾.

El intercalamiento de cultivos yuca-frijol es una práctica agronómica que reviste una gran importancia, ya que los resultados alcanzados en indicadores como la cantidad de raíces tuberosas por planta y la masa promedio corroboran un incremento en los rendimientos del cultivo principal, en suelos afectados por la alcalinidad; además, permite un incremento en la eficiencia del uso de la tierra y el alcance de resultados económicos favorables, demuestran que es una alternativa a aplicarse en sistemas de producción con condiciones similares.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio demuestran que es posible aprovechar las potencialidades del cultivo de la yuca en sistemas de intercalamiento y que el uso de la materia orgánica en combinación con el fertilizante mineral, es una alternativa ambientalmente sostenible y económicamente viable.
- Se aprecia un incremento de los rendimientos en el cultivo de la yuca con la variante propuesta, además se logra una mayor diversificación y eficiencia productiva en el sistema.
- En relación con el número de nódulos por planta en el frijol, se pudo comprobar que este indicador fue superior en las parcelas donde se empleó la fertilización mixta sobre las que emplearon solo fertilización orgánica.

- Con el empleo del sistema tecnológico propuesto es posible alcanzar resultados productivos favorables en suelos con elevada alcalinidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo [Internet]. Roma, Italia; 2011 [cited 2019 Feb 6] p. 54. Available from: <http://www.fao.org/docrep/014/i2330s/i2330s.pdf>
2. Amanullah MM, Alagesan A, Vaiyapuri K, Sathyamoorthi K, Pazhanivelan S. Effect of intercropping and organic manures on weed control and performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Agronomy*. 2006;5(4):589–94. doi:10.3923/ja.2006.589.594
3. Markos D, Hidoto L, Negash F. Achievements of cassava agronomy research in southern Ethiopia in the last two decades. *Agriculture and Food Sciences Research*. 2016;3(1):12–8.
4. Pypers P, Sanginga J-M, Kasereka B, Walangululu M, Vanlauwe B. Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava–legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field Crops Research*. 2011;120(1):76–85. doi:10.1016/j.fcr.2010.09.004
5. FAOSTAT. FAO Statistics Division [Internet]. Roma, Italia: Crops, Production; 2014 p. 175. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i3590e.pdf>
6. Gómez LA, Dueñas G, Martínez A. Fijación simbiótica del N₂ en dos genotipos de caupí determinados cultivados en suelo ferralítico rojo con baja fertilidad. *Revista Agrotécnica*. 2006;30(1):16–25.
7. Albuquerque J de AA de, Oliva LS de C, Alves JMA, Uchôa SCP, Melo DA de. Cultivation of cassava and cowpea in intercropping systems held in Roraima’s savannah, Brazil. *Revista Ciência Agrônômica*. 2015;46(2):388–95. doi:10.5935/1806-6690.20150018
8. Padilla EG, Ruiz-Díez B, Fajardo S, Eichler-Loebermann B, Samson R, Damme PV, et al. Caracterización de rizobios aislados de nódulos de frijol caupí, en suelos salinos de Cuba. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(4):39–49.
9. González I, Simongo DK, Pacuz LM. Evaluation on the productivity of cassava intercropped with bush beans under La Trinidad condition. *International Journal of Advancements in Research & Technology*. 2016;5(6):27–30.

10. Leihner D. Yuca en cultivos asociados: manejo y evaluación [Internet]. 1ra ed. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); 1983 [cited 2019 Feb 6]. 79 p. Available from: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54600>
11. Hidoto L, Loha G. Identification of suitable legumes in cassava (*Manihot esculenta* Crantz)-Legumes intercropping. African Journal of Agricultural Research. 2013;8(21):2559–62. doi:10.5897/AJAR12.1976
12. Mojena M, Bertolí M. Comportamiento del rendimiento y sus componentes en la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en agroecosistemas de intercalamiento con maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cultivos Tropicales. 2000;21(3):61–6.
13. Alcántara I, Nelson MR. Evaluación de especies de leguminosas micorrizadas para aumentar la producción de granos asociadas al cultivo de Yuca (*Manihot esculenta* Grantz). Hombre, Ciencia y Tecnología. 2011;14(2):83.
14. OME. Anuario estadístico del municipio de “Calixto García” [Internet]. “Calixto García”, Holguín: Oficina Municipal de Estadística; 2016 p. 107. Available from: <http://www.one.cu/aed2016/32Holguin/Municipios/07%20Calixto%20Garc%C3%ADa.pdf>
15. Silva DV, Ferreira EA, Oliveira MC, Pereira GAM, Braga RR, dos Santos JB, et al. Productivity of cassava and other crops in an intercropping system. Ciencia e Investigación Agraria. 2016;43(1):15–15. doi:10.4067/S0718-16202016000100015
16. Harms T. An assessment of intercropping and fertilization in cassava-(*Manihot Esculenta*) based systems in the Kolli Hills, South India [Internet] [Master of Science]. [Canada]: University of Alberta; 2015. 120 p. Available from: <https://era.library.ualberta.ca/items/bf3e9231-20c9-4199-a64d-f66f677e26a3>
17. Taah KJ, Buah JN, OgyiriAdu E. Evaluation of spatial arrangement of legumes on weed suppression in cassava production. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science. 2017;12(1):1–11.
18. Pypers P, Bimponda W, Lodi-Lama J-P, Lele B, Mulumba R, Kachaka C, et al. Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable cassava production. Agronomy Journal. 2012;104(1):178. doi:10.2134/agronj2011.0219
19. Nebiyu A, Huygens D, Upadhayay HR, Diels J, Boeckx P. Importance of correct B value determination to quantify biological N₂ fixation and N balances of faba beans (*Vicia faba* L.) via 15N natural abundance. Biology and Fertility of Soils. 2014;50(3):517–25. doi:10.1007/s00374-013-0874-7

20. Poodineh O, Keighobadi M, Dehghan S, Raoofi MM. Evaluation of intercropping system on weed management, forage quality, available of nitrogen and resource use. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2014;7(13):1298.
21. Nweke FI. The role of cassava production in poverty alleviation. In: *Proceedings of the 6th Trienn. Symposium of the International Society of the Tropical Root Crops Africa Branch (ISTRCA-AB)*. Lilongwe, Malawi. Lilongwe, Malawi; 1995. p. 102–10.
22. Nebiyu A, Vandorpe A, Diels J, Boeckx P. Nitrogen and phosphorus benefits from faba bean (*Vicia faba* L.) residues to subsequent wheat crop in the humid highlands of Ethiopia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2014;98(3):253–66. doi:10.1007/s10705-014-9609-x
23. Nyi T, Mucheru-Muna M, Shisanya C, Lodi Lama J-P, K. Mutuo P, Pypers P, et al. Effect of delayed cassava planting on yields and economic returns of a cassava-groundnut intercrop in the Democratic Republic of Congo. *World Journal of Agricultural Research*. 2014;2(3):101–8. doi:10.12691/wjar-2-3-3

Productive yielding in agroecosystems of cassava-beans alternation in “Calixto García” municipality, Holguín province

M.Cs. Sebastián Zayas-Infante^{1*}

Dr.C. Pascal-Boeckx²

Dr.C. Heriberto Vargas-Rodríguez³

¹Centro Universitario Municipal “Calixto García”. Universidad de Holguín, Cuba

²Laboratorio Isotópico de Biociencias, Universidad de Ghent, Bélgica

³Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, carretera a Tapaste y Autopista Nacional. San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba

*Author for correspondence. ssayasi@uho.edu.cu

ABSTRACT

This work was developed in productive areas of the municipality “Calixto García”, county Holguín, a study was carried out to determine the behavior of the yields in systems of cassava-beans alternation, the objective of the work consisted on evaluating the productive behavior in intercropping of both cultivations in the municipality. This investigation was developed in the cultivations cassava clone “Selección Holguín” and bean variety Carita Blanco with a cycle of 270 days for the cassava and 70 days for the bean it has more than enough alkaline soils. The following indicators were evaluated: quantity of tuberous roots for plant, weight average for plant, yield of the cultivation in t ha⁻¹, presence of nodules in the system radicular of the bean, the Index of Efficiency of the Earth (IET) and the economic evaluation. The reached results showed differentiated answers of the indicators evaluated in each treatment, standing out the treatment II (mixed fertilization starting from the combination of organic matter to reason of 5 t ha⁻¹ and micro fertilizer dose with the help of it formulates complete to reason of 10 g for plant with bean alternation) with more yields, results economic and bigger presence of nodules on the rest of the treatments.

Key words: yield, alkaline soil, Cowpea, Soil organic matter, *Manihot esculenta*, *Vigna unguiculata*

INTRODUCTION

The production of food takes on a decisive importance in the current era in the face of the accelerated increase of the world population, which is why the fight against hunger predominates among the objectives of the millennium. It is estimated that around 600 million people in the world are undernourished ⁽¹⁾.

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a very widespread crop in the world, with a large presence in Africa, America and the Caribbean and it is one of the traditional crops and most widely used in these geographical areas and it is part of the food base of more than 600 million people in the tropical regions of the world ⁽²⁾. It is grown in more than 90 nations, being highly valued for its contribution to food security in many tropical countries with a world production of more than two million tons per year ⁽³⁻⁵⁾. On the other hand, the Cowpea bean (*Vigna unguiculata* L, Walp) is a grain legume widely used in agriculture in Cuba, the economic importance of this crop for the country is given by two fundamental reasons: it is a source of vegetable protein consumption animal and human and their foliage are very often used as green fertilizers ⁽⁶⁾.

Currently the increase in the effects of climate change has contributed to the enhancement of the benefits of both crops, cassava, especially for its resistance to high temperatures, pests and diseases and large periods of drought, as well as high adaptability to a wide range of crops. range of soil conditions ⁽⁷⁾ and in the case of beans, is an option because its rusticity allows it to establish itself relatively easily in adverse environments and with tolerance to drought, high temperatures, heavy metals and salt stress, but also it can contribute an appreciable amount of nitrogen (150 kg N ha^{-1}) of symbiotic fixation to the ecosystem ⁽⁸⁾.

Cassava, due to its physiological characteristics, at the beginning of its vegetative cycle, does not efficiently use the light, water and nutrients factors, so its intercalation with a short cycle crop is possible. Similarly, in the final phase of development something similar occurs, which also allows the intercalation of crops and with it a more efficient use of physical space ^(9,10).

This practice is very common in many tropical and subtropical countries since the presence of different species simultaneously in the same area contributes to maintain the balance of soil nutrients and increases fertility. In this regard, it is argued that the general economy of the agricultural exploitation benefits as a consequence of the diversification of crops and the possibilities of output of different products ^(10,11).

In Cuba, production technologies for this crop persist, with which the vital area is not fully exploited. This can be reversed if the technology of associated crops is used in the early stages of

their development given their physiological behavior at this stage ⁽¹²⁾. In this sense, there are experiences of different associations of crops with cassava, so a study of the behavior of the yield and its components in intercalation with corn and beans was carried out ⁽¹²⁾. Similarly, studies were conducted with efficiently mycorrhized legume species associated with cassava in Guantánamo province ⁽¹³⁾.

In “Calixto García” municipality, cassava is the second most important crop with productions that reach 4845.6 tons in the non-state sector, surpassed only by plantain ⁽¹⁴⁾. However, it has not been generalized among producers to take advantage of the potential that it offers to intercalate crops in their first stages of their life cycle. On the other hand, recent studies have shown the influence of several soil indicators in the development of this crop from its analysis in four farms, located in the center and south of “Calixto García” municipality (Padiérne, Monte Alto, Cruce de Mir and La Mananina).

The results show the low fertility of the soil, the existence of salinity, high pH or alkalinity among other indicators that affect its productivity. Although not all farms are similar manifestations are identified as fundamental causes inadequate soil management given by excess chemical fertilizers, irrigation with saline water, not rotate the soil properly, among other limiting factors. For all the above, the objective of the work focuses on evaluating the productive behavior in cassava-beans intercropping in “Calixto García” municipality.

MATERIALS AND METHODS

Characterization of “Calixto García” municipality

“Calixto García” municipality is located geographically to the west of Holguín province has a surface area of 591.0 km², the total population is 55 701 inhabitants for a population density of 94.2 inhabitants per km². Approximately 80 % of the territorial economy is based on agricultural production, so there is an agricultural culture, the hydrographic network is scarce and its main basin is the Rioja River, which in turn is part of Cauto river basin.

The precipitations oscillate between 800 and 1200 mm/year, with an increase in the duration of the dry periods that extend sometimes up to 210 days; The average annual temperature is 36.7 °C. In the municipality there are several types of soils but the Sialitic Brown predominate with the presence of limiting factors such as salinity and alkalinity. In the territory is tradition the cultivation of the typical food and tubers between which stand out the banana and the cassava, statistical data provided by the Delegation of the Agriculture corroborate that the productions of cassava occupy

significant place within them and in the case of the bean, despite not constituting a predominant line within the grains, discrete productions are obtained (Figure 1).

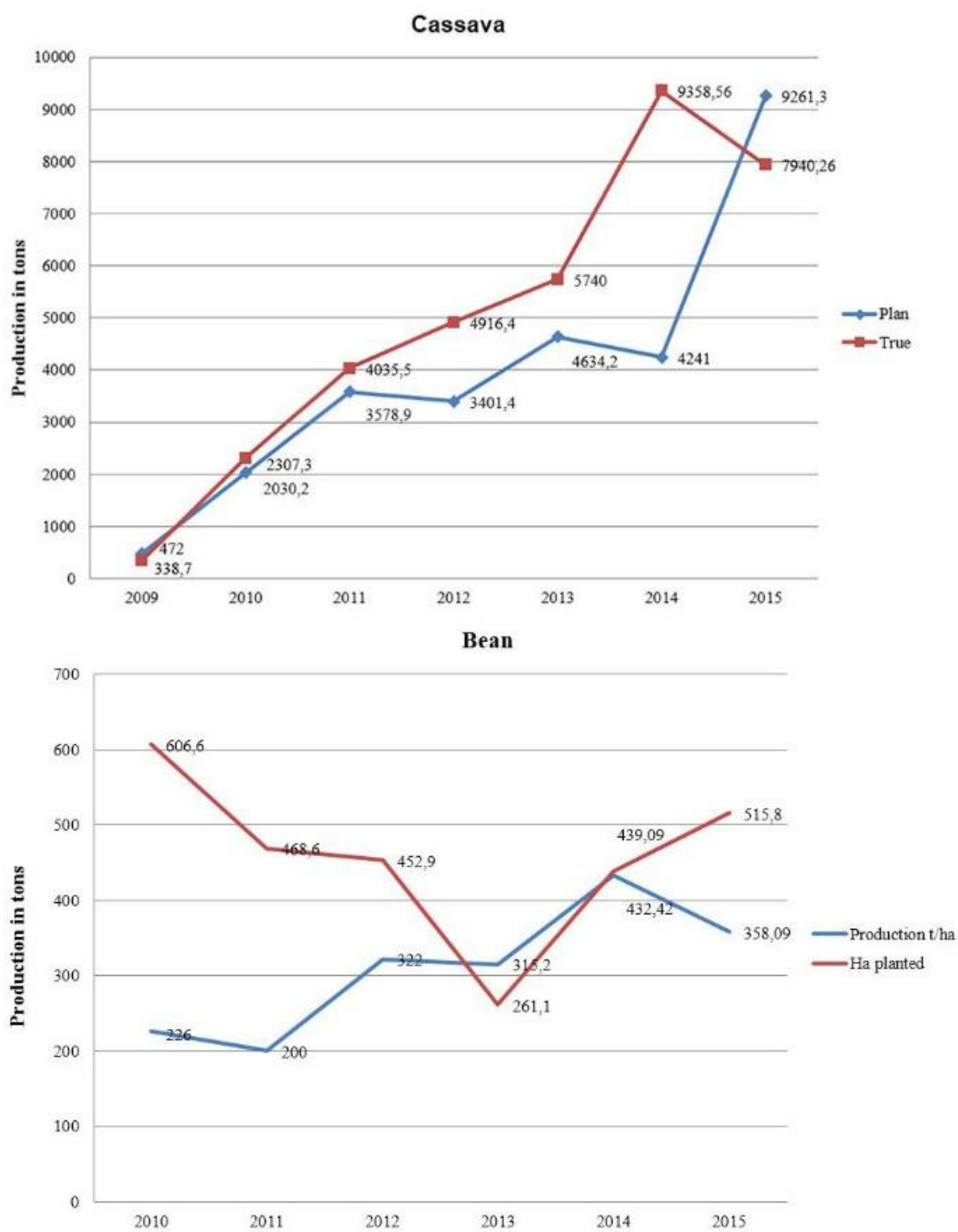


Figure 1. Production of cassava and beans obtained in the municipality of “Calixto García” in the 2010-2015 season

The experience was developed in La Alegría town and began in the month of November 2015 until September 2016, on a Brown Sialitic soil with a high alkalinity (pH 8.2). The selected cassava clone was "Selección Holguín" and the variety of beans "Carita Blanco". Experimental plots of 40 m² were used. The applied fertilization was organic matter at a rate of 5 t ha⁻¹ and microdoses of complete formula (NPK) at a rate of 10 g per plant. It was applied in a circular way around each plant and covered with soil. In all the cases in which fertilization was applied, it was the cassava crop and it was carried out one month after planting. The treatments used are similar to those used in previous studies developed in intercropping systems with cassava cultivation ⁽¹⁵⁾.

The treatments used are shown in Table 1.

Table 1. Treatments used in the experiment

Treatment	Spatial arrangement of cassava (m)	Bean population per hectare	Planting distance of the bean
Control Without fertilization	0.90 x 0.70	-	-
Treatment I Organic fertilization (5 tha ⁻¹)	2.0 x 0.50	111111	0.45 x 0.20
Treatment II Organic Fertilization (5 tha ⁻¹) + microdoses de NPK (10 g plant ⁻¹)	2.0 x 0.50	111111	0.45 x 0.20

The variables to be evaluated and the procedure used were:

In the cultivation of cassava:

- Number of tuberous roots per plant: the counting of the tuberous roots was carried out at the time of harvest.
- Mass of the tuberous roots per plant in kg: to estimate this indicator, the average mass was calculated by dividing the sum of all the measurements between the numbers of plants in each plot.
- Yield per treatment: the total weight of the tuberous roots was determined for each experimental plot in kg m⁻² and its conversion was made to t ha⁻¹.

In the bean:

- Yield per treatment: when harvested, determined the total mass of the grains for each experimental plot in kg m² and converted it to t ha⁻¹.

- Number of nodes per plant: for the counting of the existing nodules, the extraction of each plant to be sampled at the time of flowering was carried out and the nodules existing in each plant were counted.

When harvesting the bean, the harvest remains were deposited in the trunk of the cassava plants in the corresponding plot.

The Equivalent Earth Index (IET): it was determined by the following expression

$$IET = I_x + I_y = R_x a R_{xu} + R_y a R_{yu}$$

where: $I_x + I_y$ are the IET Individual crops (x) cassava and (and) legume.

The $R_x a$ and $R_y a$ are the yields of the associated crops and the R_{xu} and R_{yu} are the historical yields of the non-associated crops, according to the methodology described ⁽¹³⁾. As yield in monoculture of the species the historical yields for the zone were taken, being of 9.1 and 0.7 t ha⁻¹ for the yucca and the Cawpea respectively, while for the polyculture the yields reached in the investigation were used.

The data of the variables number of roots per plant, mass of the tuberous roots per plant and yield per treatment, were subjected to an analysis of variance. A randomized block experimental design with three treatments and three replicas was used

The means of the variables were compared by the Tukey test ($p < 0.05$), using the statistical program SPSS 13.

RESULTS AND DISCUSSION

Quantity of tuberous roots by plant

In the control, an average of 5.3 roots per plant was reached, while in treatment I an average of 4.7 roots per plant was reached and in treatment II of 4.8 roots per plant respectively (Table 2). This decrease in treatments with bean intercropping is due to the fact that it is possible that interspecific competition has occurred by increasing the interaction that occurred between the species, due to the higher density of plants and therefore the substances that are produced for the formation of the roots will decrease. Although they evaluated different cassava clones; in the south of India, similar results were observed since in evaluating this aspect they found that the monocultures reached the highest values of roots by plants in relation to intercropping ⁽¹⁶⁾. However, recent results did not find significant differences in this indicator when evaluating different plantation settings in cassava cultivation ⁽¹⁷⁾.

Mass of the tuberous roots by plant

As shown in Table 2 in the control, an average mass of 1.93 kg is reached; in the treatment I 2.67 kg and in the treatment II 3.21 kg respectively. This indicator is best observed in systems with bean intercropping and is attributed to the use of larger plantation frames in the cultivation of cassava and the combined action of organic and chemical fertilization. The average mass of roots per plant was favored by intercropping with beans, corresponding to systems where cassava was planted most widely the highest values, while where smaller spatial arrangements were used suffered a reduction. On the other hand, in studies carried out in sub-Saharan Africa, higher values of the average mass of roots per plant were obtained in plots where the combined fertilization of microdoses of complete formula and organic fertilizers was used^(17,18). In studies carried out in the Democratic Republic of the Congo, similar results were achieved in relation to this indicator with the use of intercropping systems of different cassava crops⁽¹⁸⁾.

Yield

In the cassava crop, the yields behaved as shown in Table 2.

Table 2. Components and yield of cassava "Holgún Selección" in intercropping systems with "Carita blanco" beans

Treatments	Number of roots/plant	Mass of roots/plant (kg)	Yield (t ha ⁻¹)
Control	5.3 ^a	1.93 ^a	7.3 ^a
Treatment I	4.7 ^b	2.67 ^b	11.2 ^b
Treatment II	4.8 ^b	3.21 ^c	16.7 ^c
Es x	0.75	0.12	1.6
CV %	12.8	16.3	18.6

* Uneven letters in the rows for each column differ for $p \leq 0.05$

The results show that there are significant differences between the two treatments and the control in terms of performance. In this way, Treatment II was the one that reached the highest yields with values of 16.7 t ha⁻¹, followed by treatment I and the control with 11.2 and 7.3 t ha⁻¹, respectively. This increase in treatment II is attributable to the combined action of organic and chemical fertilization based on the complete formula and to the contribution of nitrogen produced by the decomposition of bean crop residues incorporated into the cassava rows. These results coincide with those achieved by researchers from the National Institute of Agricultural Sciences (INCA) who found it beneficial to include legumes in the intercropping systems in economic crops, since

it improves the nutrition of the plants and contributes to increase the nutrients in the soil, fundamentally the nitrogen.

Similar results were obtained in studies carried out in eastern Uganda to obtain increases in the yields of crops associated with velvetbean (*Mucuna pruriens*) and accumulated up to 50 % of nitrogen taken from the atmosphere and contributed to the soil by means of biological fixation. (BNF), as well as, they report increases in yield in the range of between 3 and 5 t ha⁻¹ in the cassava crop with the combined use of green manure and manure ⁽¹⁹⁾, these are attributable to the increase in concentration of potassium and the improvement of the physical properties of the soil, which promotes an increase in the storage capacity and therefore in the thickening of the roots.

Likewise, they report increases between 8 and 12 % in cassava yields with the use of bean and maize intercrop ^(19,20), while recent studies obtain adequate results with the application of bean harvest remains in the rows of cassava ⁽²⁰⁾.

On the other hand, other investigations report a relation of proportionality between the availability of organic nutrients and the yields of the cassava crop in intercalation systems ⁽²⁰⁾.

In the case of beans, yields behaved similarly with 0.46 t ha⁻¹ for treatment I and 0.6 t ha⁻¹ in treatment II respectively.

Equivalent index of the earth

In systems with cassava intercrop with beans, very advantageous land efficiency indices are achieved. In this sense, for the case of plots with intercalation and organic fertilization (treatment I), 1.88 is obtained; while for the intercropping of cassava and beans with the combined use of organic fertilization plus micro-dose of NPK (treatment II) an index of 2.32 was reached.

This shows that the intercropping of crops allows to obtain increases of this indicator in relation to monoculture ⁽²¹⁾. Similarly, in Guantánamo, similar results were obtained by obtaining Land Efficiency Indices (ETI) favorable for cassava-*Phaseolus* and cassava-*Cawpea* associations with values of 1.67-2.12; all of which ratifies the efficiency of the design used for the use of polycultures.

Similar results were obtained in cassava intercrop systems with other crops, by observing in general higher rates of equivalence of the land in cassava intercropping with other crops ⁽²¹⁾.

Behavior of the number of nodules in bean cultivation

The evaluation of the nodulation in the bean crop was carried out in the flowering stage, which is where this characteristic manifests with greater intensity in the legumes (Table 3).

Table 3. Behavior of number of nodules per plant

Treatment	Presence of nodules	Average nodules per plant
Treatment I	Yes	19.2
Treatment II	Yes	31.5

As shown in Table 3 in the treatment where combined fertilization of organic matter and microdose of chemical fertilizer is used, a greater number of nodules per plant is obtained in relation to the treatment with organic fertilization, results that show similarity with those reached during the study of the behavior of biological nitrogen fixation by six bean varieties in Ethiopia ⁽²²⁾, who report differences in the number of nodules in each evaluated variety, reaching a greater number of nodules, as well as an increase in the nitrogen concentration of up to 65.3 mg per plant in the treatment where the combination of organic fertilization with chemical was used.

Economic valuation

As can be seen in Table 4, an increase of 18593.94 CUP is achieved as a result of sales of treatment II over the control and, in general, in both treatments a substantial increase in the amount due to sales compared to the control is achieved. .

Table 4. Revenues reached for sales in both crops

Treatments	Yield (t ha ⁻¹)		Sale price in (CUP t ⁻¹)		Total value in the production (CUP ha ⁻¹)		Total amount for sales (CUP ha ⁻¹)
	Cassava	Bean	Cassava	Bean	Cassava	Bean	
Control	7.3	-	1217.44	-	8887.31	-	8887.31
Treatment I	11.2	0.46	1217.44	11000.00	13635.33	5060.00	18695.33
Treatment II	16.7	0.65	1217.44	11000.00	20331.25	7150.00	27481.25

In relation to this economic valuation, it is reported during a study conducted in Ethiopia from the evaluation of the total costs and benefits of the net price, an increase in the benefits with the employment of intercalation of these crops of up to 10 % per year for the producers ⁽²²⁾. Subsequent

studies conducted in the Democratic Republic of the Congo revealed that intercropping systems allow higher net income and are more economically profitable than monoculture ⁽²³⁾.

The intercropping of bean-cassava crops is an agronomic practice that is of great importance since the results achieved in indicators such as the number of tuberous roots per plant and the average mass corroborate an increase in the yields of the main crop, in soils affected by alkalinity; it also allows an increase in the efficiency of land use and the scope of favorable economic results show that it is an alternative to be applied in production systems with similar conditions.

CONCLUSIONS

- The results of this study show that it is possible to take advantage of the potential of cassava cultivation in intercalation systems and that the use of organic matter in combination with mineral fertilizer is an environmentally sustainable and economically viable alternative.
- There is an increase in yields in the cassava crop with the proposed variant, in addition to achieving greater diversification and productive efficiency in the system. In relation to the number of nodules per plant in the bean, it was found that this indicator was higher in the plots where mixed fertilization was used on those that used only organic fertilization.
- With the use of the proposed technological system it is possible to achieve favorable productive results in soils with high alkalinity.