

Rendimiento de maíz en sistema de callejones de *Inga* spp. con diferentes dosis de fertilizantes naturales



Yield of maize alley cropped with Inga trees and several levels of natural fertilizers

Catari-Yujra, G; Guzmán-Moreno, M. A.; Hands, M.; Reyes-Osornio, M.; Editor Académico Prof. Juan Duley Castellón

 G Catari-Yujra

gusman.catari@unah.edu.hn
Universidad Nacional Autónoma de Honduras, ,
Honduras

 M. A. Guzmán-Moreno

guz978@hotmail.com
Universidad Nacional Autónoma de Honduras,,
Honduras

 M. Hands

mhands400@btinternet.com
University of Cambridge, United Kingdom

 M. Reyes-Osornio

maribel_osornio@yahoo.com.mx
Universidad del Papaloapan, Mexico
Editor Académico Prof. Juan Duley Castellón
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León,
Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua
ISSN-e: 2410-7980
Periodicidad: Semestral
vol. 8, núm. 15, 2022
czuniga@ct.unanleon.edu.ni

Recepción: 08 Febrero 2022
Aprobación: 18 Junio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3943064012/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v8i15.14383>

Autor de correspondencia: maribel_osornio@yahoo.com.mx

Resumen: Los tratamientos se establecieron en la estación experimental del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA, UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras, se evaluó la respuesta en rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*L.), al sistema de callejones de guama (*Inga* spp.), con la suplementación de fertilizantes de sulfato de potasio más magnesio ($K_2SO_4 + Mg$) en dosis de 0, 20, 40 $kg\cdot ha^{-1}$ y roca fosfórica (RF) con dosis de 0, 20, 40, 80 $kg\cdot ha^{-1}$, con cuatro repeticiones por tratamiento. Previo a la siembra se aplicó a razón de 2 $ton\cdot ha^{-1}$ de cal dolomítica ($Ca_3(PO_4)_2CaF_2$). El aporte de Nitrógeno(N) fue suministrado por el sistema *Inga* spp. En el año 2014 el mayor rendimiento obtenido en las parcelas de maíz fue significativo, con un rendimiento promedio de 1,645 $kg\cdot ha^{-1}$, los mejores tratamientos fueron: $K_2SO_4 + Mg$ y de RF, con la mayor dosis suplementada (20, 40 y 80) $kg\cdot ha^{-1}$, del mismo año. El alto rendimiento promedio del cultivo durante el primer año, su estabilización durante los dos años siguientes, y las cero aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, proporcionaron los indicios de la disponibilidad del Nitrógeno del sistema de siembra en callejones de *Inga* spp.

Palabras clave: *Zea mays*, *Inga* spp, guama, roca fosfórica, sulfato de potasio y magnesio.

Abstract: The study was conducted at the Experimental Station located at the Regional University Center of the Atlantic Coast of Honduras (CURLA, UNAH), which is located at the outskirts of the city La Ceiba, Atlántida. We measured the yield of maize (*Zea mays* L.) alley cropped with existing, guama trees (*Inga* spp.). We evaluated potassium sulfate and magnesium ($K_2SO_4 + Mg$) fertilizers at rates: 0, 20, 40 $kg\cdot ha^{-1}$ with six replicates, and phosphoric rock (RF) at rates: 0, 20, 40, and 80 $kg\cdot ha^{-1}$, with four replicates per treatment. Prior to sowing the crop, dolomitic lime ($Ca_3(PO_4)_2CaF_2$) was applied at a rate of 2 $ton\cdot ha^{-1}$. Nitrogen was provided by the *Inga* spp. trees. In the year 2014, the highest average yield of maize was 1558 $kg\cdot ha^{-1}$ and it was statistically significant. The treatments that performed best were those of $K_2SO_4 + Mg$, and RF, at 20, 40, and 80 $kg\cdot ha^{-1}$. The high average yield of maize during the first year, its stabilization over the next two years, and the absence of nitrogen fertilizer applications, has suggested to the availability

of nitrogen for the crop under an alley cropping system with guama trees (*Inga spp.*).

Keywords: *Zea mays*, *Inga spp*, guama, rock phosphate, potassium and magnesium sulfate.

INTRODUCCIÓN

En Honduras la mayoría de los pequeños productores, viven en regiones montañosas con grandes pendientes, la modificación del clima como la temperatura y precipitación promedio, con eventos periódicos como el fenómeno de El Niño, han generado impactos negativos en la producción agropecuaria, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, incrementando las plagas y enfermedades, y la presencia cada vez más frecuente de incendios forestales (Medina, 2018). El país presenta un alto nivel de deforestación, y sus consecuencias en áreas de bosque latifoliado son significativas; además, el ataque del gorgojo en áreas de bosque de pino devastó más de 500.000 hectáreas entre 2013 y 2016 (Marques *et al.*, 2019). Generando suelos frágiles, con pérdida de materia orgánica y nutrientes por la exposición a condiciones climáticas severas. En muchos casos, la aplicación de fertilizantes no compensa la erosión superficial del suelo (Lal, 1988), caso similar a lo que ocurre en la Amazonia de Perú (Sánchez *et al.*, 1990). Aunado a aumentos de temperatura, de acuerdo a los estudios realizado en Nicaragua, en los últimos 50 años donde registran variación de 0.6°C a 0.9°C., (Milán & Zuniga, 2021), mientras que el promedio de calentamiento a nivel mundial es de 1.1°C, según United in Science, de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2020). En Honduras la vulnerabilidad del sistema productivo, la resiliencia y el cambio climático marcan mucha similitud de acuerdo a los estudios en Nicaragua, que pusieron en evidencia el consenso sobre la necesidad de fomentar desde las universidades, Centros de Investigación y Transferencia de Tecnologías sobre el cambio climático, en sectores vulnerables como los recursos hídricos, agropecuarios, bosques y asentamientos humanos (MARENA, 2008; Marques *et al.*, 2019; Milán y Zúniga, 2021). Este sector productivo, según los proponentes de la bioeconomía, se vincula al uso de microorganismos que permitan incrementar los índices productivos; sobre todo, a través de la implementación de bio-inoculantes, el establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles, la biorremediación y el uso de buenas prácticas (Zúniga *et al.*, 2014). Para ello se requiere innovar las diversas teorías, métodos y técnicas para pasar de un tipo de producción extractiva a un tipo más conservador de los recursos. La agroecología es una alternativa a la agricultura convencional, a través de ella se pueden emplear diferentes técnicas y metodologías que permitan restaurar suelos degradados. Además de brindar múltiples beneficios a los ecosistemas y las comunidades, basados en el concepto de que la agroecología, es la ciencia que aplica los conceptos y principios de la ecología para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles (Altieri y Nicholls, 2005). No basta con aumentar las áreas de siembras de los principales productos de consumo interno hay que tratar la Productividad Total de los Factores en todas las áreas de nuestras economías, como la urgencia de la investigación Económica para determinar qué elementos están limitando el aprovechamiento de todas nuestras potencialidades y a partir de ahí recomendar a los tomadores de decisiones, las medidas que permitan mejorar la competitividad de los sectores productivos, sobre todo en los sectores agrícolas y pecuarios (López *et al.*, 2016). El desarrollo sostenible basado en la bioeconomía optimiza la asignación de recursos naturales y biológicos renovables, al tiempo que aumenta las preocupaciones ambientales, de seguridad alimentaria, energía y salud (Vargas y Hammer, 2018). Uno de los puntos más vulnerable en los sistemas tropicales es la pérdida de suelo y nutrientes, la integración de árboles en la finca ha sido sugerida

NOTAS DE AUTOR

maribel_osornio@yahoo.com.mx

para combatir la pérdida de nutrientes (Sánchez, 1995) Los árboles de *Inga* spp. son capaces de movilizar los nutrientes del subsuelo y devolverlos a la capa superficial del suelo, haciéndolos disponibles para cultivos anuales (Buresh y Tian, 1998). En otras regiones, como es el caso de México, alrededor de 50 de éstas especies poseen frutos comestibles. De igual manera, 33 especies del género *Inga* son utilizadas en los cultivos perennes por la sombra que brindan en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) (Soto *et al.*, 2000; Manson *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2013 y Garcia *et al.*, 2015) y cacao (*Theobroma cacao* L.) (Jaimes, 2021), de igual forma en agroforestaría (Pennington, 1997; Villacencio y Valdez, 2003; Zarco *et al.*, 2010; Carreón y Valdez, 2014; Mendez *et al.*, 2007)

El cultivo en callejones con árboles de leguminosas como la *Inga* spp., podría reducir la pérdida de nutrientes por lixiviación, ya que presenta aumento de materia orgánica e incrementa la capacidad de amortiguamiento del suelo (Akonde *et al.*, 1997; Sobanski y Marques, 2014; Hands, 2021). La deficiencia de nutrientes como el P, Ca y N en los suelos tropicales para la producción de cultivos son factores limitantes y reconocidos (Hands, 2021), por tanto, es necesario su provisión a partir de fuentes externas.

El maíz (*Zea mays* L.) es originario de Mesoamérica, forma parte de la alimentación básica de los habitantes en la región. La variedad Guayape-DICTA, ha sido desarrollada por la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA, 2012) de Honduras.

La respuesta agronómica de los cultivos de importancia para las familias rurales, como el maíz, producidos en asociación con árboles de leguminosas, como la *Inga* spp., no ha sido completamente estudiada, existiendo vacíos de conocimiento; especialmente en relación a la respuesta a P y K en sistemas agroforestales asociados, por lo que se requiere mayor investigación sobre la interacción entre las fuentes de nutrientes orgánicas (residuos de leguminosas) y las inorgánicas. Por lo que esta investigación tiene como objetivo, evaluar la respuesta agronómica del maíz bajo sistemas de callejones de guama con aporte única de Fosforo y Potasio (Sanchez, 1995).

MATERIALES Y MÉTODOS

El establecimiento del cultivo se realizó en siembra directa, bajo el sistema de callejones de guama, con la fertilización de Fosforo y Potasio y la aplicación de cal dolomítica como fuente de Calcio.

Descripción del sitio experimental

El experimento se realizó en un área de 9,000 m. ubicada en la estación experimental del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA, UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras. Ubicado a 15° 46' N 86° 50' W de latitud. El CURLA se encuentra a 2.5 km del mar. El clima de la zona se clasifica como bosque húmedo premontano. La precipitación anual promedio es 3200 mm distribuida uniformemente, con temperatura media anual de 25°C.

Muestreo de suelo

Las muestras para el análisis de suelo se colectaron a tres profundidades: 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, y 20 a 30 cm, basado en una prospección de la profundidad radicular de la guama, y considerando la profundidad radicular del cultivo de maíz. Se determinó que la mayor parte de las raíces están en los primeros 30 cm. El muestreo se realizó en Zic-Zac. Se colectaron muestras compuestas de suelo, en bolsas de papel de 500 g por cada estrato y se analizaron en el laboratorio (WHAL) de la Standard Fruit S.A La Ceiba, Atlántida, Honduras la textura del suelo es franco limoso, el contenido de nutrientes se observa en la Tabla 1.

TABLA 1
Análisis de suelo del área de Guama, La Ceiba Atlántida Honduras

pH	%	cmol.kg ⁻¹				mg.kg ⁻¹				
	N	K	Ca	Mg	Al	P	Zn	Cu	Fe	Mn
4.5	0.23	0.22	0.74	0.33	1.6	10	2	1	95	102
Muy ácido	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto

Elaborado por autores Fuente: Laboratorio de suelos. (Moore et al., 2014; Estrada et al., 2017; Vera, 2020)

Genotipo de maíz

La variedad de maíz establecido en las parcelas experimentales es Guayape-DICTA, ha sido desarrollada por la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) de Honduras. Según DICTA (2012) la adaptación y rendimiento de esta variedad, es superior a las comerciales y presenta estabilidad en las diferentes zonas productoras del país que tienen buena precipitación y suelos adecuados para este cultivo. Esta variedad tiene su origen en la raza Tuxpeña de maíz que incluye maíces tropicales blancos, tardíos y dentados que se adaptan desde 0 a 1100 msnm, su ciclo vegetativo es de 120 a 135 días a la cosecha, su altura de 250 a 275 cm y el tamaño de la mazorca es de 19 cm. La siembra se realiza a una distancia entre surcos de 90 cm, depositando 2 a 3 semillas por postura con lo que se obtiene 50,000 plantas.ha⁻¹, el rendimiento esperado es de 2.9 t.ha⁻¹ (DICTA 2012).

Diseño y tamaño de la parcela experimental

Los callejones están sembrados con *Inga edulis* Mart., *I. punctata* Willd., *I. vera* Willd. e *I. osteriana* Persy; tienen una edad aproximada de 20 años, cada callejón cuenta con un área de 120m². (4m ancho.30m de largo). Se evaluaron 28 callejones: 16 con roca fosfórica y 12 con sulfato de potasio y magnesio.

Dos meses antes de la siembra del maíz se realizó un encalado general a razón de 2 ton.ha⁻¹ de cal dolomítica. La distribución de los tratamientos en el campo, en un diseño de parcelas divididas, con 7 tratamientos y 4 repeticiones, consistió en la aplicación única de dos fertilizantes previa siembra del primer ciclo: roca fosfórica (RF) con cuatro dosis (0, 20, 40, 80 kg.ha⁻¹), y de sulfato de potasio y magnesio con tres dosis (0, 20, 40 kg.ha⁻¹). Estos rangos fueron seleccionados de acuerdo al estudio de suelo y según los rangos encontrados en la literatura (Coa 1995; Sánchez 1995; Garbanzo *et al.*, 2021). Considerando la extracción sin retorno del cultivo. Puesto que en surcos sencillos a 96 cm la extracción total de N, P y K por el maíz es 210, 34 y 297 kg.ha⁻¹ de N, P, y K, respectivamente (Karlen y Camp, 1985).

Manejo agronómico

Previa a la siembra del maíz, se realizó la poda de los árboles de *Inga* spp. a una altura de 1.5 m. En cada callejón se sembró cuatro hileras de maíz, a una distancia entre plantas de 0.25 m; dos plantas por postura, con un total de 960 plantas por callejón, y la densidad de población por área experimental de maíz fue de 26,880 plantas (80,000 plantas.ha⁻¹) (Cox y Cherney, 2001). La siembra de maíz se realizó en tres ciclos: El Ciclo1 (fue de febrero a julio de 2014), el Ciclo2 (de mayo a septiembre de 2015) y el ciclo3 (de junio a noviembre de 2016) (Reta *et al.*, 2007; Lardizabal, 2012).

Características determinadas

Se evaluó el rendimiento mediante cosecha, después de que se completó la madurez fisiológica del maíz en los tratamientos y se desgrano las mazorcas, pesando solo el grano en una balanza de plataforma Gutstark® de 200 kg. Es importante destacar que la humedad de grano correspondió a 14% para todos los tratamientos (Campodónico, F. 2012).

Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó a través del análisis de varianza (ANOVA) y la separación de medias por la prueba de Turkey ($P < 0.05$) mediante el programa SAS (Statistical Analysis System Inc.) versión N. N. 2002.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Ciclo1 de maíz, se presentó un mayor rendimiento, $1,645 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presenta diferencia significativa ($p < 0.05$, $r. = 68$) respecto al Ciclo2 y Ciclo3, con una menor diferencia entre rendimientos de 229 y $351 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente (Figura 1). Los tratamientos de maíz, al ciclo1 con rendimientos favorables fueron los de Sulfato de Potasio y Mg y RF con, 20, 40 y $80 \text{ K kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, siendo de $1,975 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ el tratamiento con mayor rendimiento con relación al testigo de RF del que se obtuvieron $1,002 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabla 2). Aunque no alcanzo el rendimiento de $2.9 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ reportado para la variedad (DICTA 2012). Se encuentra solo el 10% ($2.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) por debajo del rendimiento promedio en áreas deterioradas de Veracruz (Jaramillo *et al.*, 2018).

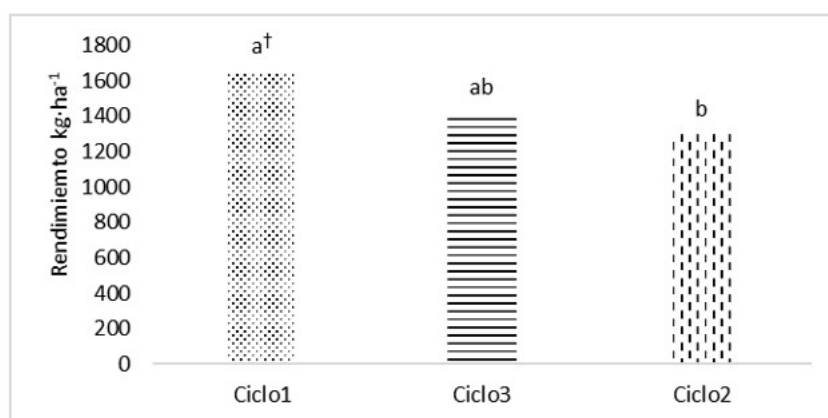


FIGURA 1

Rendimiento de maíz fertilizado con roca fosfórica, y sulfato de potasio y magnesio en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ sembrados en el ciclo de primavera Ciclo1 (2014), Ciclo2 (2015) y Ciclo3 (2016) en La Ceba, Atlántida, Honduras. †Letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, = $P \leq 0.05$)

Los tratamientos con fertilización de Sulfato de Potasio y Magnesio ($40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y en general, el rendimiento promedio del cultivo, son un indicativo de la disponibilidad del Nitrógeno proporcionado por el sistema de callejones de *Inga* spp. al no presentar diferencias significativas en los tratamientos con dosis bajas de fertilización con RF. Durante el Ciclo1 del cultivo el elemento fósforo, estuvo poco disponible, esto pudo ser, a que su aplicación se hizo con roca fosfórica; en el Ciclo2 se observó el mayor rendimiento promedio de los tratamientos, con $1,852 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, siendo significativamente ($p < 0.05$; $r. = 58$) menor, el rendimiento del testigo 0-P en los Ciclo1 y Ciclo3 con $1,002$ y $1,046 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente y 0-K con $447 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el Ciclo2, por lo que se observa una disminución progresiva del rendimiento (Tabla 2). AL ver una respuesta positiva en la aplicación de los elementos P y K debemos considerarlos en los sistemas productivos, ya que de acuerdo a Karlen y Camp, (1985) reportan que la extracción total de N, P y K por el maíz en surcos a 96 cm con siembra a doble hilera fue $225, 38$ y $323 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, en comparación con surcos sencillos a 96 cm la extracción total de N, P y K por el maíz fue $210, 34$ y $297 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P, y K, respectivamente. Por otro lado, Moore, (2014) sugiere que el maíz cultivado en campos enriquecidos con K ($>1000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ prueba de suelo K) puede tomar más N en comparación con maíz cultivado en suelos con concentraciones de K comparativamente más bajas ($<500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ prueba de suelo K). Por otro lado, la planta necesita potasio para

activación de enzimas requeridas para el metabolismo del N (Havlin *et al.*, 2005). La fertilización es uno de los factores clave y controlables para la obtención de un mejor rendimiento en el cultivo de maíz (Medina *et al.*, 2018), y debe mantenerse constante en tiempo y cantidad adecuados, debido a la extracción del cultivo que ya no tiene retorno, para el sistema guama, donde se debe aplicar elementos Fosforo y Potasio ya que el Nitrógeno lo proporciona el sistema.

TABLA 2
Rendimiento del cultivo de maíz en un sistema en callejones de Inga en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el ciclo de primera, en La Ceiba, Honduras, los Ciclo1 (2014), Ciclo2 (2015) y Ciclo3 (2016)

Dosis (kg)	Ciclo1		Ciclo2		Ciclo3	
	K [†]	P [‡]	K	P	K	P
0	1644 AB*	1002 B	477 C	1143 BC	1129 B	1046 B
20	1833 AB	1758 AB	1273 ABC	1299 ABC	1291 AB	1548 AB
40	1975 A	1335 AB	1455 AB	1142 BC	1604 AB	1447 AB
80	-	1852 AB	-	2125 A	-	1848 A

[†]sulfato de potasio y magnesio, y [‡]roca fosfórica. Fuente: Elaborado por el autor a partir de series de datos resultado del experimento. *Letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (DMS, = $P \leq 0.05$)

El cultivo se desarrolló en condiciones favorables, sin embargo, la falta de nutrientes fue evidente al presentar coloración de las hojas con deficiencias en los tratamientos de Fosforo y Potasio y más agudo en los testigos de ambos tratamientos, de acuerdo a lo descrito por Ernani *et al.*, (2007) para el nutriente potasio es un elemento móvil en el floema, los síntomas de deficiencia, caracterizados por clorosis en los bordes de las hojas seguida de necrosis, los cuales surgen inicialmente en las hojas más viejas de las plantas. El potasio tiene un gran impacto en la productividad y en la calidad de los cultivos, afectando el incremento del peso y la calidad de granos del maíz, otro de los efectos atribuidos al potasio se refiere a la resistencia de las plantas, al ataque de enfermedades (Dechen y Nachtigall, 2007). Por otro lado, Dechen y Nachtigall (2007) aseguran que el fósforo se mueve rápidamente de los tejidos más viejos para los más jóvenes, la deficiencia aparece primero en las partes bajas de las plantas, es decir, las hojas viejas dando una coloración rojiza. A medida que las plantas se vuelven más viejas, la mayor parte del fósforo se mueve para las semillas o para los frutos. Granada (2010) asegura que la aplicación de más de $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 al suelo tiene un efecto residual, quedando parte del fertilizante disponible para cultivos subsiguientes (dosis de creación de nivel de fertilidad).

Es importante mencionar que si bien, el cultivo en callejones de *Inga* es una buena alternativa para la recuperación y sostenibilidad de los cultivos, es necesario el estudio de varios años para poder obtener resultados consistentes. Si bien, se ha encontrado que del 80% de los nutrientes que son liberados por la hojarasca en descomposición, solo el 20% es absorbida por las plantas, pero no se puede asignar cuánto nitrógeno es capturado por el cultivo, por el árbol o se encuentra en la materia orgánica del suelo; o cuánto de este N se pierde por lixiviación, volatilización o desnitrificación (Palm y Sánchez, 1990). El nitrógeno proporcionado por el sistema de siembra en callejones de *Inga* spp. que ronda los $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Leblanc *et al.*, 2007), lo que puede variar desde $56\text{-}555 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Nygren *et al.*, 2012). Considerando que la cantidad de Nitrógeno que consume el maíz estimadas con el modelo conceptual dependiendo las diferentes condiciones puede variar de $55\text{-}85 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ sin que se sobrefertilice (Capetillo-Burela, 2021). El sistema proporciona la

cantidad suficiente para el cultivo. Aunque se debe considerar el rol del alto contenido de hierro y aluminio de estos suelos, puesto que dichos elementos retienen los nutrientes no permitiendo su movilidad, sobre todo en ausencia de materia orgánica.

Algunas otras estrategias de regeneración de suelos se han evaluado en Kenia occidental con la adición de fórmulas comerciales a base 2,0 kg de fosfato de roca Minjingu (RP), 200 g de urea, semillas de varias leguminosas simbióticas fijadoras de nitrógeno, inoculantes de *Rhizobium*, adhesivo de goma de semilla árabe y cal, en el que obtuvieron una diferencia de $2.5 \text{ kg}^{-1} \cdot 25 \cdot \text{m}^{-2}$ con respecto al testigo ($1.6 \text{ kg}^{-1} \cdot 25 \cdot \text{m}^{-2}$) (Woomer *et al.*, 2003). Por otro lado, el estudio de consorcios de microorganismos proveniente del cerro o montaña parecen una alternativa viable en el manejo de asociaciones simbióticas con los cultivos (ej. maíz) (Macias *et al.*, 2021). Es importante considerar cualquier esfuerzo en la recuperación de suelos degradados a bajos costos. Sobre todo, por las tendencias actuales que presenta Honduras, por la marcada inclinación hacia dos de los senderos productivos: la biotecnología, especialmente en los organismos genéticamente modificados y las biorrefinerías. Ambos senderos involucran principalmente tecnología poco accesible a pequeños productores agropecuarios (Colon *et al.*, 2021)

Haciendo una evaluación de los costos iniciales por el establecimiento de la parcela de inga (Tabla 3), De L16,100.00 (\$14,312 00/100 mxn.) en comparación de los costos de la siembra tradicional (Tabla 4), de L5,567.00 (\$4,948 00/100 mxn.) hay una diferencia inicial, sin embargo, la mayoría de estas labores se sustituyen con los callejones, como la aplicación de los herbicidas, el deshierbe, la aplicación de Nitrógeno, presentando un ahorro de L1,330 (\$1,182 00/100 mxn.) si vemos el costo beneficio esperado en el cultivo tradicional (Tabla 5) es de L3,953.00 (3,514 00/100 mxn.) comparado con el mayor beneficio obtenido, resultado del mejor tratamiento del cultivo en callejones de guama (Tabla 6.) se obtiene un incremento del 39%. Rangel *et al.*, (2015), en su estudio considera los indicadores claves en bioeconomía como la depreciación de los recursos, (ya sea por pérdidas ante impactos o por agotamiento ante su explotación), y los costos asociados a su reposición y protección, que no se siga avanzando en la roza-tumba-quema. De algún modo se considera deducir de estos ingresos pues se deben contar con dos parcelas, una para la siembra y otra en descanso para su recuperación entre los ciclos de cultivo y así, siempre se contará con producción. Si bien es cierto, debe analizarse la raíz del problema, ya que se debe principalmente al olvido del gobierno, pues no ha logrado reducir sus niveles de pobreza de manera sostenida, ya que ha fluctuado entre 58% y 66% para el 2017 (Marques *et al.*, 2019), y en zonas rurales, aproximadamente 20% de la población vive en pobreza extremo o con menos de USD 1.90 al día (Derlagen *et al.*, 2019). De acuerdo con los estudios de Colon *et al.*, (2021) el sector agrícola se ha degenerado, debido a que la economía en Honduras no incluye análisis de externalidades, costos sociales, y precios sombra; además de las implicaciones ambientales para cuantificar y proyectar cambiar los beneficios de un tipo de sistema lineal a uno circular, para así conocer sus costos de transacción y proyectar sus beneficios a nivel nacional. El mitigar el cambio climático, la recuperación de suelos agrícolas, la inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno y los hongos micorrízicos de las leguminosas, son de gran ayuda para mitigar el grado de pobreza en el que vive el sector agrícola en Honduras. Sobre todo, que ya no se siga el sistema de roza-tumba-quema.

TABLA 3
Costos de establecimiento de una hectárea con Inga, en La Ceiba, Atlántida, Honduras

Descripción	Cantidad mz	Costo L.	Total
Bolsas plásticas 4.5 x 8	5000	0.25	1, 250
Semilla	5000	0.5	2,500
Llenado de bolsa	5000	0.4	2,000
Siembra de semilla (jornada)	2	150	300
Preparación del terreno (1 ha)	1	1,500	1,500
Trazado del terreno (jornada)	3	200	600
Trasplante (jornada)	30	150	4500
Replantar (jornada)	3	150	450
Control de malezas (año)	3	1,000	3,000
Total			L. 16,100

Elaborado por autores

TABLA 4
Costos para 1 manzana de maíz en sistema tradicional en La Ceiba, Atlántida, Honduras

Concepto	Cantidad	Costo unitario (L.)	Costo total (L.)
1. Labores			
Control de maleza (d-h)†	3	100	300
Fertilización urea (d-h)	1	100	100
Herbicida (d-h)	1	100	100
Insecticida (d-h)	1	100	100
Dobla (d-h)	3	100	300
Cosecha y desgrane (d-h)	10	100	1,000
Sub-total			1,900
2. Uso de maquinaria			
Chapia	3	100.00	300
Siembra con cabuya	2	100.00	200
Sub-total			500
3. Materiales			
Semilla criolla (lb)	25	11.00	275.00
Formula (12-24- 12) (qq)	1	525.00	525.00
Urea (qq)	1	530.00	530.00
Gramoxone (L)	1	100.00	100.00
Larvin (kg)	1	60.00	60.00
Sub-total			1,490.00
Gran Total			3,890.00
Costo total pro 1hectárea			5,567.00

Nivel tecnológico tradicional

Elaborado por autores

†d-h = días-hombre

TABLA 5
Resumen económico para 1 ha de sistema de producción tradicional de maíz en La Ceiba, Atlántida, Honduras

Producción esperada	qq	28
Precio esperado	L/qq	340.00
Valor de la producción	L	9,520.00
Costo de Producción	L	5,567.00
Beneficio neto	L	3,953.00

Elaborado por autores

TABLA 6
Rendimientos y beneficios económicos del cultivo de maíz bajo un sistema en callejones de Inga en La Ceiba, Atlántida, Honduras, valores promedio para los años 2014, 2015 y 2016

Tratamiento	Rendimiento promedio (kg·ha⁻¹)	Rendimiento promedio (qq·ha⁻¹)	Valor producción (L.)
40 k	1975 A [†]	39	14,547
20 k	1833 A	36	13,428
80 p	1707 A	34	12,682
0 k	1644 A	32	11,936
20 p	1549 A	31	11,563
40 p	1335 AB	26	9,698
0 p	1121 B	22	8,206

Elaborado por autores

k = sulfato de potasio y magnesio, y p= roca fosfórica. †Letra diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (DMS, = P ≤ 0.05)

CONCLUSIONES

1. La relación de la dosis alta de fertilización con RF (80 kg·ha⁻¹) y el rendimiento promedio del cultivo, representan la disponibilidad del Nitrógeno proporcionado por el sistema de siembra en callejones de Inga spp.
2. Un lapso de 4-5 años de siembra, podrían dar resultados más estables sobre la circulación de los nutrientes por los árboles de Inga en los sistemas agroforestales.
3. Al no presentar diferencias significativas en los tratamientos con dosis bajas de fertilización con roca fosfórica, K₂SO₄ + Mg y el testigo, es posible implementar el sistema de siembra del cultivo de maíz en callejones de Inga spp., sin suplementación de los minerales de los tratamientos o con dosis altas de fertilización de RF ó K₂SO₄ + Mg o la mezcla, si se quiere incrementar un 39 % el rendimiento del cultivo de maíz, con respecto al testigo.
4. Es importante mencionar que si bien, es una buena alternativa el cultivo en callejones de inga para la recuperación y sostenibilidad de los cultivos es necesario el estudio de varios años para poder obtener resultados consistentes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Inga Foundation por los recursos aportados para la realización de la presente investigación, así como a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Agronómica que participaron en la siembra, manejo, y cosecha de los cultivos. Al Ingeniero Abraham Martínez por su aportación en el desarrollo del proyecto, establecimiento del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akonde T. P.; Kuhne N. R. F.; Steinmuller y Leihner D. E. (1997). Alley cropping in an Ultisol in sub-humid Benin. Part 3: Nutrient budget of maize, cassava and trees. *Agroforestry Systems* 27: 213-226.
- Altieri M. A. y Nicholls C. I. (2005). *Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture*. 1st edition. UNEP. Berkeley. ISBN 968-7913-35-5 <https://agroeco.org/doc/agroecology-engl-PNUMA.pdf>
- Buresh R. J. y Tian. G. (1998). Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems* 38: 51-76. <https://doi.org/10.1023/A:1005948326499>
- Capetillo-Burela, A., López-Collado, C. J., Zetina-Lezama, R., Reynolds-Chávez, M. A., Matilde-Hernández, C., Cadena-Zapata, M., & López-López, J. A. (2021). Modelo conceptual de fertilización nitrogenada para maíz (*Zea mays* L.) en Veracruz, México. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 7(14), 1617–1631. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i14.12606>
- Campodónico, F. (2012). Evaluación de rendimientos de maíz en función de distintas densidades de siembra, en el partido de Lima, provincia de Buenos Aires [en línea]. Trabajo final de ingeniería en producción agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/evaluacion-rendimientos-maiz-funcion-densidades.pdf> [Fecha de consulta]
- Carreón-Santos, R. J. y Valdez-Hernández, J. I. (2014). Estructura y diversidad de vegetación secundaria derivada de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), 119-130. doi: 10.5154/r. rchscfa.2013.06.023
- Cox, W. J. and Cherney, D. J. R. (2001). Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agronomy Journal*. 93, pp. 597–602.
- Cao, Y. P.; Lin, C. L. y Wang, X. R.. (1995). Phenotypic difference in Phosphorus utilization by two maize genotypes. *Acta - Agriculturae - Universitatis - Pekinensis*. 21, pp. 111-116.
- Colon-García, A.; Catari-Yujra, G., y Alvarado, E. (2021). Los senderos productivos de la bioeconomía: El caso Honduras. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 7(14), 1713-1726.
- Dechen, A. y Nachtigall, G. (2007). *Fertilidade do Solo. Elementos requeridos a nutrição de plantas*. 1ª Ed. SBCS Vicoso-Mina Gerais. BR.1017 p.
- Derlagen, C.; De Salvo, C. P.; Egas Y. J. J. y Pierre, G. (2019). Análisis de políticas agropecuarias en Honduras. BID-MG-787. 82 p.
- DICTA. (2012). Informe técnico, Previo requisito para la liberación de las variedades: "esperanza", (S07TLW-AB) y "DICTA-MAYA" (S03TLW-3B), a estrés limitado. Tegucigalpa. Honduras. 14 p.
- Estrada, H. I. R.; Hidalgo, M. C.; Guzmán, P. R.; Almaraz, S. J. J.; Navarro, G. H.; y Etchevers, B. J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), pp. 813-831. Recuperado en 12 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800813&lng=es&tlng=es
- Ernani, P.; Almeida, J.; Dos Santos, F. (2007). *Fertilidade do Solo. Potássio*. 1ª Ed. SBCS. Viçosa - Minas Gerais, BR.1017 p.

- Granada, J. A. (2010). Calibración de fertilización fosfatada de trigo, soja y maíz cultivados en siembra directa en dos suelos del Departamento de Caaguazú. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, CIA, FCA, UNA. 57 p.
- García M. L. E.; Valdez H. J. I.; Luna. C. M. y López. M. R. (2015). Structure and diversity of arboreal vegetation in coffee agroforestry systems in Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques* 21(3): 69-82. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61743002005>
- Garbanzo, L. G.; Alvarado, H. A.; Vargas-Rojas, J. C.; Cabalceta, A. G. y Vega, V. E. V. (2021). Fertilización con nitrógeno y potasio en maíz en un Alfisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 32 (1), pp. 137-148. <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.39822>
- Havlin, J. L.; Beaton, J. D.; Tisdale, S. L. y Nelson. W. L. (2005). *Soil fertility and fertilizers*. 7th ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Hands, M. (2021). The search for a sustainable alternative to slash-and-burn agriculture in the World's rain forests: the Guama Model and its implementation. *R. Soc. Open Sci.* 8:201204. <https://doi.org/10.1098/rsos.201204>
- Jaimes S. Y. Y.; Agudelo C. G. A.; Báez D. E. Y.; Rengifo E. G. A. y Rojas M. J. (2021). Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Santander. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647>
- Jaramillo Albuja, J. G., Peña Olvera, B. V., Hernández Salgado, J. H., Díaz Ruiz, R., y Espinosa Calderón, A. (2018). Caracterización de productores de maíz de temporal en Tierra Blanca, Veracruz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(5), 911-923. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1501>
- Karlen, D. L. and Camp, C. R. (1985). Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain *Agronomy Journal*. 77, pp. 393–398.
- Lal, R. (1988). Soil erosion research on steep lands. In: pp. 45-53. W.C. Moldenhauer and N. W. Hudson (Eds.). *Conservation Farming on Steep Lands*. SWCS, Ankeny, IA. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34120113>
- Leblanc H. A.; McGraw R. L. y Nygren P. (2007). Dinitrogen-fixation by three neotropical agroforestry tree species under semi-controlled field conditions. *Plant and Soil* 291(1-2):199-209 DOI: 10.1007/s11104-006-9186-0 <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9186-0>
- López-González, Á.; Zúniga-González, C.; López, M.; Quirós-Madrigal, O.; Colón-García, A.; Navas-Calderón, J.; Martínez-Andrades, E., y Rangel-Cura, R. (2016). Estado del arte de la medición de la productividad y la eficiencia técnica en América Latina: Caso Nicaragua. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 1(2), 76-100. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i2.2478>
- Lardizabal, R. (2012). Producción de maíz bajo el manejo integrado de cultivo. USAID y la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. 80 p. <https://dicta.gob.hn/files/2012,-Manual-de-produccion-de-maiz,-G.pdf>
- Macías-Coutiño, P.; Guevara-Hernández, F.; Ruiz-Valdiviezo, V.; Reyes-Sosa, M.; La O Arias, M., y Pinto-Ruiz, R. (2021). Efecto de tres consorcios microbianos en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 7(13), 1576-1586. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i13.11424>
- Manson, R. H.; Contreras, H. A. y López-Barrera, F. (2008). Estudios de la biodiversidad en cafetales. En R. H. Hanson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina, & K. Mehlreter (Eds.), *Agrosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (pp. 1-14). México: Instituto de Ecología A. C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). Retrieved from http://www3.inecol.edu.mx/biocalife/?option=com_content&view=article&id=26:acv&catid=13:libros&Itemid=22
- MARENA (2008), *Estrategia Nacional de Medio Ambiente y Cambio Climático*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Nicaragua. <http://www.marena.gob.ni/>
- Marques A., E.; Prat, J.; Vargas-Moreno, J. C. y Acevedo, M. C. (2019). Honduras: Un enfoque territorial para el desarrollo. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0001679>
- Medina M. J.; Alejo S. G.; Soto R. J. M. y Hernández P. M. (2018). Rendimiento de maíz grano con y sin fertilización en el estado de Campeche. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(spe21), 4306-4316. <https://doi.org/10.29>

- 312/ remexca.v0i21.1532 Reyes C., P. 1990a. Diseño de experimentos aplicados. Editorial Trillas. México. 334 p. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1532>
- Moore, A.; Hines, S., Brown, B.; Falen, C., Haro, M. M.; Chahine, M.; Norell, R.; Ippolito, J.; Parkinson, S. y Satterwhite, M. (2014). Soil-Plant Nutrient Interactions on Manure-Enriched Calcareous Soils. *Revista Agronom* 106(1), pp. 73-80. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0345>
- Medina, L. (2018). Estrategia nacional de uso y manejo de fuego 2018-2028 y su plan de acción. Tegucigalpa: CLIFOR.
- Mendez V. E.; Gliessman S. R. y Gilbert G. S. (2007). Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape western El Salvador. *Agriculture Ecosystems Environment* 119(1):145-159. doi:10.1016/j.agee.2006.07.004 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.004>
- Milán P., J., & Zúniga-Gonzalez, C. (2021). Necesidades de investigación y transferencia de tecnologías sobre cambio climático en Nicaragua: Una oportunidad en la Bioeconomía. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 7(13), 1518-1543. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i13.11270>
- Nygren P., Fernández M., Harmand J. M. y Leblanc H. (2012). Symbiotic dinitrogen fixation by trees: an underestimated resource in agroforestry systems? *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 94:(2-3):123- 160. DOI: 10.1007/s10705-012-9542-9 <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9542-9>
- OMM (2020). World Meteorological Organization at a glance [Página principal en Internet], World Meteorological Organization; 2020 [actualizada en febrero 2020; acceso 14 febrero 2020]. [aprox. 2 pantallas]. Disponible en: https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science
- Palm C. A. y Sánchez P. A. (1990). Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* 22:330-338. <https://doi.org/10.2307/2388550>
- Pennington, T.D. (1997). *The Genus Inga Botany*. Richmond, London: Royal Botanic Gardens Kew. Surrey, Reino Unido. 844 p. ISBN: 1-900347-12-1.
- Reta, S. D. G.; Cueto, W. J. A.; Gaytán, M. A. y Santamaría, C., J. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura técnica en México*, 33(2), pp. 145-151. Recuperado en 10 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000200004&lng=es&tlng=es
- Rangel-Cura, R., Zúniga-González, C., Colón-García, A., Losilla-Solano, L., & Berrios-Zepeda, R. (2015). Medición de la contribución de la bioeconomía en América Latina: caso Cuba. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 1(1), 223-240. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2150>
- Sánchez M. D. (1995). Integration of livestock with perennial crops. *World Animal Review* 82(1):50-57. <https://www.fao.org/ag/Aga/agap/frg/AGROFOR1/Sanchez1.txt>
- Sánchez P. A.; Palm C. A. y Smyth T. J. (1990). Approaches to mitigate tropical deforestation by sustainable soil management practices. *Developments in Soil Science*. 20:211-220. <https://www.redalyc.org/pdf/341/34120113.pdf>
- SAS Institute Inc., (2002). *SAS/STAT User's Guide, Version 9, Six Edition*. SAS Institute Inc. 2 Vols, Cary, NC, USA.
- Sánchez, R. (1995). Respuesta a la aplicación de nitrógeno, potasio y azufre en dos densidades de siembra en maíz (*Zea mays* L.) en suelos calcáreos del norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría en Ciencias. FAUANL. Marín, N. L. 125 p.
- Silva E. M.; Rogez H.; Da Silva I. Q. y Larondelle Y. (2013). Improving the De-sorption of *Inga Edulis* Flavonoids from Macroporous Resin: Towards a New Model to Concentrate Bioactive Compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4):558-564. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.11.005>
- Sobanski N. y M. Marques. (2014). Effects of Soil Characteristics and Exotic Grass Cover on the Forest Restoration of the Atlantic Forest Region. *Journal for Nature Conservation*, 22(3):217-222. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201700152575>
- Soto-Pinto L.; Perfecto I.; Castillo-Hernández J. y Caballero-Nieto J. (2000). Shade effect on coffee production at the northern tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 80:61-69. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1067.2588&rep=rep1&type=pdf>

- Vargas-Hernández, J.; Pallagst, K., y Hammer, P. (2018). Bio economía en la encrucijada del desarrollo sostenible. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 4(7), 800-815. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.5952>
- Villavicencio-Enríquez, L. y Valdez-Hernández, J. I. (2003). Análisis de la estructura del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37, 413-423. Retrieved from <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2003/jul-ago/art-10.pdf>
- Vera, R. J.; Cepeda, L. W.; Espejo, G. F.; Cárdenas, C. D.; Inga, H. G.; Balón, C. A.; Granda, C. J. y Delgado, O. J. (2020). Comparación de 2 formas de fertilización en cultivo de maíz variedad DK 7500, La Troncal-Ecuador. *Ciencia e Interculturalidad*, 26(01), pp. 164-175. <https://doi.org/10.5377/rci.v26i01.9892>
- Woomer P. L.; Okalebo J. R.; Maritim H. K.; Obura P. A.; Mwaura F. M.; Nekesa P. y Mukhwana E. J. (2003). PREP-PAC: a nutrient replenishment product designed for smallholders in western Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 100 (2-3):295-303. DOI: 10.1007/978-1-4020-5760-1_84
- Zarco-Espinosa, V. M.; Valdez-Hernández, J. I.; ÁngelesPérez, G., y Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 26(1), 1-17. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a1.pdf>
- Zúniga-González, C. A.; Durán Zarabozo, O.; Dios Palomares, R.; Sol Sánchez, A.; Guzman Moreno, M. A., Quiros, O., y Montoya Gaviria, G. D. J. (2014). Estado del arte de la bioeconomía y el cambio climático (No. 1133-2016-92457, pp. 20-329). DOI 10.22004/ag.econ.168356 ISBN : 978-99924-28-40-5