



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey**

Efecto de diferentes factores de manejo agronómico en el comportamiento morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios para el desarrollo de fincas agroenergéticas.

Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Autor: Ing. Yolai Noda Leyva, M. Sc.

Matanzas

2022



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey**

Efecto de diferentes factores de manejo agronómico en el comportamiento morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios para el desarrollo de fincas agroenergéticas.

Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Autor: Ing. Yolai Noda Leyva, M. Sc.

Tutores: Dr.C. Giraldo Jesús Martín Martín

Dra. C. Gloria Marta Martín Alonso

Matanzas

2022

## **AGRADECIMIENTOS**

- A mis tutores, el Dr. Giraldo Jesús Martín Martín por siempre guiar y apoyar mis estudios desde que comencé como reserva científica en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” y especialmente a la Dra. Gloria Marta Martín Alonso porque desde el primer momento confío en mí, por su entrega, atención y disposición a cualquier hora y por sus sabios consejos que me permitieron consolidar este documento.
- A mi técnico, Julio Brunet por el seguimiento de los experimentos.
- Al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas por la acogida y en especial al Dr. Mario Varela por sus enseñanzas y revisión en los análisis estadísticos y al Dr. Pedro José Cañizares por su amistad y presentarme ante Gloria.
- Al M. Sc. José A. Sotolongo por compartirme sus conocimientos y archivos.
- A mis amigos Yuseika, Osmel, Taymer, Adonis, Juan Carlos, Onel y Yamir, por esas horas de debate para enfocar los resultados de la tesis, por permitirme haber compartido las tristezas y las alegrías en cada paso, mientras tomábamos café.
- Al equipo de economía de la EEPFIH especialmente a Dayileyki, Ana Ivis y Danelis, por la ayuda y la atención cuando lo necesité.
- A mis compañeros de trabajo en general, pero quiero mencionar en especial a Nancy, Leydis, Dariel, Yudit, Gertrudis, Odalys, Iván, Nidia, Joysel, Lisset, Yoania y Oniel porque todos contribuyeron con su granito de arena para que este trabajo pudiera culminar.
- A todos los que, de alguna manera, me ayudaron y apoyaron durante este tiempo, muchas gracias.

## DEDICATORIA

A

- ❖ mi hijo, por ser toda mi inspiración, por el tiempo que tuvo que prescindir de mi en estos momentos de entrega al estudio.
- ❖ mi esposo, por apoyarme y darme aliento en los momentos que pensé en desistir.
- ❖ mi familia, porque cada uno de ellos siempre confió en mi desarrollo profesional.

## SÍNTESIS

Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes factores de manejo agronómico en el comportamiento morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios (CA) se efectuaron tres experimentos, evaluación de alternativas de poda, fertilización química nitrogenada y diferentes arreglos espaciales de la combinación *Jatropha*-cultivo. Se realizaron análisis de componentes principales y para comparar las medias de los rendimientos de los frutos (RF) y de los CA se empleó Anova (experimentos 1 y 2) e intervalos de confianza (experimento 3). Se obtuvieron RF superiores a los 1 200 kg ha<sup>-1</sup> con la poda a 50 cm dejando dos ramas. Además, con 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, la planta expresó la mayor producción de frutos. Por otra parte, al intercalar *Jatropha* con los CA se alcanzaron los mayores valores para la cantidad de racimos, el total de frutos y semillas cosechadas, las cuales siempre se relacionaron de forma positiva; mientras que para el RF los valores fueron superiores con el monocultivo de la arbórea. Se determinó la factibilidad del uso de los policultivos en los arreglos espaciales y se obtuvieron ganancias económicas positivas en cada año. En sentido general, el rendimiento de los CA no estuvo afectado en ningún experimento.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	8
1.1. Origen y distribución de la especie <i>Jatropha curcas</i> L. en el mundo .....	8
1.2. Clasificación taxonómica.....	9
1.3. Características botánicas de <i>Jatropha curcas</i> L. ....	9
1.4. Utilización e importancia del cultivo de <i>Jatropha curcas</i> L. ....	12
1.5. Influencia de los factores ecológicos y agronómicos en el crecimiento y desarrollo de <i>Jatropha curcas</i> L. ....	15
1.5.1. Temperatura .....	15
1.5.2. Precipitaciones .....	15
1.5.3. Suelo .....	16
1.5.4. Procesos de germinación de las semillas .....	17
1.5.5. Densidades de siembras .....	17
1.5.6. Fertilización .....	18
1.5.7. Métodos de poda e influencia en la formación de ramas productoras de frutos	20
1.6. Cosecha y rendimiento de los frutos y semillas de <i>Jatropha curcas</i> L. ....	22
1.7. Valoraciones económicas del cultivo de <i>Jatropha curcas</i> L. ....	23
1.8. Efecto de los sistemas de cultivos asociados en los rendimientos y uso equivalente de la tierra.....	24
1.8.1. Características generales del cultivo del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	26
1.8.2. Características generales del cultivo del boniato [ <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.]	27
1.8.3. Características generales de la calabaza ( <i>Cucurbita moschata</i> Duch).....	29
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
2.1. Ubicación geográfica.....	31

2.2.	Características edafoclimáticas.....	31
2.3.	Procedimiento general experimental para <i>Jatropha curcas</i> L.....	34
2.4.	Experimento 1. Efecto de la poda de <i>Jatropha curcas</i> L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios.....	35
2.5.	Experimento 2. Efecto de la fertilización química nitrogenada en <i>Jatropha curcas</i> L. intercalada con cultivos alimenticios. ....	36
2.6.	Experimento 3. Efecto de diferentes arreglos espaciales en <i>Jatropha curcas</i> L. intercalada con cultivos alimenticios. ....	37
2.7.	Procedimiento para el manejo de los cultivos alimenticios intercalados. ....	38
2.7.1.	Características de la siembra del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	38
2.7.2.	Características de la plantación del boniato [ <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.].....	39
2.7.3.	Características generales de la siembra de la calabaza ( <i>Cucurbita moschata</i> Duch).....	40
2.8.	Evaluaciones y determinaciones realizadas en el cultivo de <i>Jatropha curcas</i> L....	41
2.8.1.	Variables morfológicas .....	41
2.8.2.	Variables productivas.....	42
2.8.3.	Composición química de hojas y frutos.....	43
2.9.	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) de los cultivos alimenticios.....	44
2.10.	Análisis estadístico.....	44
2.11.	Análisis económico. ....	45
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		47
3.1.	Experimento 1. Efecto de la poda de <i>Jatropha curcas</i> L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios.....	47
3.2.	Experimento 2. Efecto de la fertilización química nitrogenada en <i>Jatropha curcas</i> L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios. ....	62
3.3.	Experimento 3. Efecto de diferentes arreglos espaciales en <i>Jatropha curcas</i> L. en asociación con cultivos alimenticios.....	78

CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	
ANEXOS .....	
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA RELACIONADA CON LA TESIS .....	

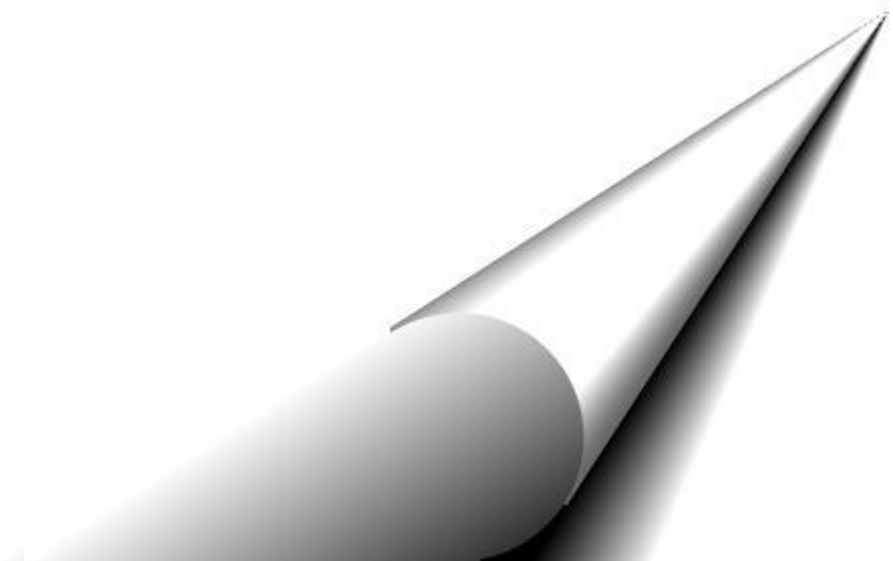


## **ABREVIATURAS EMPLEADAS EN EL DOCUMENTO**

### **Abreviaturas    Significado en español**

ACP	Análisis de componentes principales
AOAC	Métodos internacionales de análisis oficiales
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CP	Componente principal
EEPFIH	Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”
FAO	Organización para la Alimentación y la Agricultura
FAOSTAT	Base de datos estadísticos mundial sobre alimentación y agricultura más
INIVIT	Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales
INSMET	Instituto de Meteorología
MINAG	Ministerio de la Agricultura
MO	Materia orgánica
m snm	Metros sobre el nivel del mar
ONEI	Oficina Nacional de Estadística e Información
PLL	Período lluvioso
PPLL	Período poco lluvioso
UET	Uso equivalente de la tierra

# *Introducción*



## INTRODUCCIÓN

La especie *Jatropha curcas* L. pertenece a la familia Euphorbiaceae, es un arbusto perenne, nativo de Centroamérica y se encuentra ampliamente distribuida en varios países tropicales y subtropicales (Senger, 2018). Al respecto, Mitra *et al.* (2021) estimaron alrededor de 900 000 ha destinadas al cultivo, de las cuales el 85 % se encontraban en Asia, 13 % en África y el resto en América Latina.

El interés mundial por *J. curcas*, se debe a que la planta posee un alto contenido de aceite no comestible, el cual puede encontrarse en sus semillas entre el 30 y 40 % del peso de las mismas (Borah *et al.*, 2018). Dicho aceite se considera no comestible porque presenta compuestos tóxicos como ésteres de forbol, curcina, diterpenas, albúminas y alcaloides dañinos para el humano y los animales (De La Cruz *et al.*, 2018).

Sin embargo, este aceite puede ser usado para producir biocombustible (Rodríguez, 2018) y otros subproductos que se obtienen del proceso de extracción, como la torta residual que después de detoxificada sirve para la alimentación de diferentes especies de animales. Asimismo, la cáscara es utilizada como fuente de energía por su potencial calórico y en la industria farmacéutica, de cosméticos y como bioplaguicida (Pérez, 2018).

Además, varios autores destacan que la especie ayuda en la recuperación de las tierras, la restauración de las áreas erosionadas y se desarrolla en distintos suelos y condiciones agroclimáticas, con rendimientos de semillas que varían entre 0,5 y 5 t ha<sup>-1</sup> año, en dependencia de los factores anteriormente mencionados (Francis *et al.*, 2005; Abobatta, 2019). Sin embargo, después de una década de promoción basada en sus características de planta excepcional, se considera que esta información es imprecisa y heterogénea. Los expertos (Lama *et al.*, 2018a) recalcan que *J. curcas* es una especie en proceso de domesticación, pero se ha constatado que tiene un comportamiento similar al de otros cultivos perennes y para alcanzar el pico de producción, es necesario tener en cuenta la selección varietal y ciertas condiciones específicas de suelo, clima y del manejo agronómico (Dasumiati *et al.*, 2018).

Dentro de los factores a tener en cuenta en el manejo agronómico de *J. curcas*, la poda es una técnica indispensable para la producción de frutos ya que se estimula el crecimiento de varios tallos principales y, por tanto, propicia el incremento del número de racimos por planta (Laviola *et al.*, 2010). En este sentido, Echeverría *et al.* (2015) evaluaron el rendimiento en plantas podadas y sin podar y señalaron la diferencia entre los tratamientos al obtener 1 333 y 235 kg de semillas ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Con la relación a la altura de la poda, se han realizado varias recomendaciones con el objetivo de propiciar el crecimiento de varios tallos y con ello, más yemas florales que posteriormente puedan convertirse en frutos. En ese sentido, Gonzales (2011) y Echeverría *et al.* (2013) proponen los cortes a 40 cm sobre la base del suelo. Por su parte, Díaz (2015) sugiere utilizar 200 cm; mientras que Góngora *et al.* (2018) señalaron que se puede podar a

70 cm de altura. Por tanto, la información encontrada es diversa y además se desconoce el comportamiento que pueda tener la especie con niveles de podas intermedias, tales como 50 y 100 cm.

Por otra parte, las primeras investigaciones destacan que esta especie puede desarrollarse en suelos de baja fertilidad (Teniente *et al.*, 2011). No obstante, es válido resaltar que la mayoría de estos estudios se realizaron en plantas que crecieron en condiciones silvestres. Posteriormente, después de utilizar *J. curcas* en condiciones de producción, se ha comprobado la influencia que tiene la fertilización en el crecimiento, la floración, el vigor y el rendimiento de la planta.

Al respecto, Patil y Parameshwarappa (2007) al aplicar 80 kg de N ha<sup>-1</sup> obtuvieron rendimientos de semillas de 1,3 t ha<sup>-1</sup> al año. Con niveles mayores de 400 kg de N ha<sup>-1</sup> en Guatemala, se alcanzó 1,6 t ha<sup>-1</sup> (Díaz, 2015). Asimismo, en Tailandia se constató un incremento del rendimiento al aplicar 312,5 kg de N ha<sup>-1</sup> y a su vez la depresión de la productividad con la dosis de 625 kg de N ha<sup>-1</sup> (Suriharn *et al.*, 2011). Por ello se considera que con altas dosis de fertilizantes en *J. curcas* se manifiesta la Ley del Máximo, lo cual es reflejado en la disminución del rendimiento e implican elevados costos de producción, por lo que, en función de reducir los insumos, resulta importante evaluar dichas prácticas de manejo de la nutrición, en correspondencia con la composición química del suelo.

La densidad de las plantas es otro de los elementos que más influyen en los rendimientos agrícolas. Todos los cultivos requieren un área óptima, si esta resulta insuficiente, las plantas reciben mayor interceptación de luz por las hojas debido a que se encuentran más expuestas por el incremento del espacio vital y ello provoca la fotoinhibición y por tanto

hay un menor crecimiento de la planta, así como del área foliar y depresión de la productividad (Molina, 2020). Por otra parte, cuando es alta la densidad, el rendimiento también puede verse afectado debido a que la planta prioriza sus recursos al crecimiento del tallo, las ramas y las hojas, en detrimento de los órganos reproductivos, es decir las flores y los frutos (Sánchez, 2021).

En *J. curcas* se utilizan diferentes densidades de siembra, en función de los objetivos que se persigan. En el monocultivo de la especie se han empleado hasta 5 000 plantas por hectárea (Góngora *et al.*, 2018). También se emplean otras densidades bajas fundamentalmente en sistemas de asociaciones con cultivos de consumo, lo cual constituye una práctica basada en la política de la sostenibilidad ambiental y alimenticia de los momentos actuales, ya que se obtienen diversas especies en el mismo espacio y se realiza mejor aprovechamiento del recurso suelo.

Por ejemplo, en México en sistemas de producción de *J. curcas*-maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se han empleado distancias de 2×2; 2×4 y 4×4 m, con densidades de siembra de 2 500; 1 250 y 650 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Zamarripa *et al.*, 2011).

En otros ensayos realizados por Müller *et al.* (2014) en Brasil, donde se evaluaron arreglos espaciales de 6×3 m (555 plantas ha<sup>-1</sup>), 12 × (2 × 2) m (714 plantas), 10 × (2 × 2) m (833 plantas), 8 × (2 × 2) m (1 000 plantas) y 6×1,5 m (1 111 plantas), en dos tipos de asociación: agrosilvopastoril (integración maíz-pasto *Brachiaria-Jatropha*) y silvopastoril (integración *Brachiaria-Jatropha*), se obtuvo con las distancias de 6 × 3 m un mejor desarrollo en el diámetro de copa y número de brotes de las plantas de *J. curcas*, y la asociación agrosilvopastoril proporcionó mayor desarrollo del cultivo principal.

En Cuba, durante los últimos diez años y como tarea del proyecto Internacional Biomasa-Cuba liderado por la EEPF Indio Hatuey, se han realizado algunas investigaciones relacionadas con la evaluación de procedencias (Machado y Brunet, 2014) y el manejo agronómico de *J. curcas* en asociación con más de veinte cultivos alimenticios, en los cuales se lograron considerables producciones, fundamentalmente de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), soya [*Glycine max* (L.) Merr.], maní (*Arachis hypogaea* L.), maíz (*Zea mays* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], con índices medios de productividad de 3,5 kg de frutos por árbol de *J. curcas* (Sotolongo *et al.*, 2007), lo que ha permitido valorar la adaptación de la planta a las condiciones edafoclimáticas del país para que sea considerada en los sistemas productivos a partir de la inclusión en pequeñas fincas agroenergéticas.

No obstante, aunque se han obtenido algunos resultados relacionados con el efecto de los diferentes factores de manejo agronómico que influyen en el rendimiento de *J. curcas* en sistemas de intercalamiento con cultivos alimenticios, los mismos son preliminares, diversos, han sido evaluados de forma aislada y en muchos casos los rendimientos a nivel de hectárea representan extrapolaciones de poca fiabilidad (Suárez *et al.*, 2017).

Por los argumentos planteados se consideró como **problema científico** que es necesario evaluar el efecto que ejercen diferentes factores de manejo agronómico en el comportamiento morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios para desarrollar fincas agroenergéticas.

Teniendo en cuenta los antecedentes expuestos se propone la siguiente **hipótesis de trabajo**:

La poda, la fertilización química nitrogenada y la distribución espacial son factores del manejo agronómico que determinan el comportamiento morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios. Su estudio permitirá evaluar las variantes más adecuadas para el desarrollo de fincas agroenergéticas.

Basado en esta hipótesis, se propusieron los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

- Evaluar el efecto de diferentes factores de manejo agronómico en el comportamiento morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios.

**Objetivos específicos:**

- Determinar el tipo de poda que incremente el desarrollo morfológico y productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios.
- Conocer el efecto de la fertilización química nitrogenada en el comportamiento morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios.
- Evaluar el arreglo espacial que potencie el desarrollo morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios.

**Novedad científica:**

Se presentan los primeros resultados para el manejo agronómico de *Jatropha curcas* L. en sistemas de asociaciones con cultivos alimenticios, a partir de las alturas de poda, fertilización química nitrogenada y diferentes arreglos espaciales, todo ello constituirá la base para introducir dicha especie en el desarrollo de fincas con fines agroenergéticos, que



propicien un mejor uso de la tierra y la creación de sistemas sostenibles para la producción de alimentos integrada a la generación de energía a partir de fuentes renovables.

**Aporte práctico:**

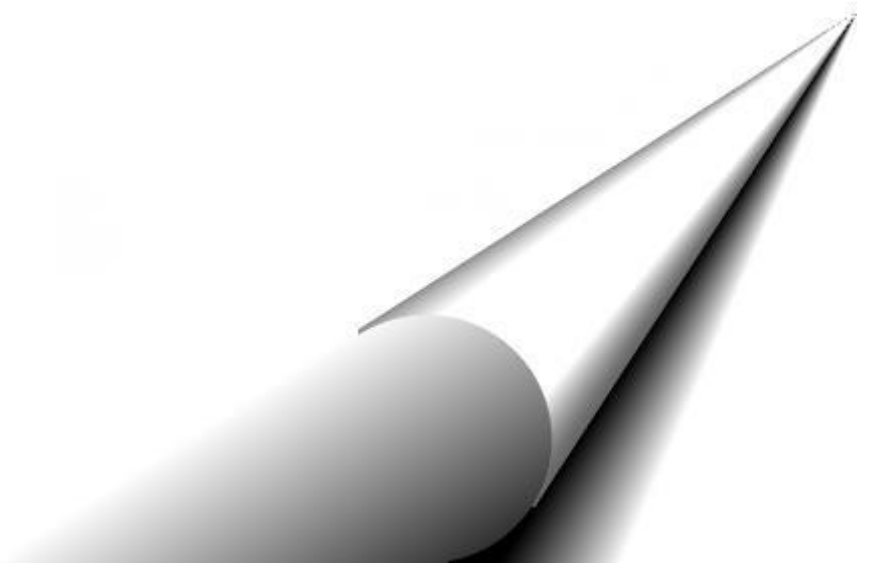
El estudio realizado demuestra la posibilidad de combinar una oleaginosa no comestible con cultivos alimenticios para desarrollar fincas agroenergéticas.

La investigación permite conocer el manejo agronómico a tener en cuenta en *Jatropha curcas* L. para garantizar mayores rendimientos y estabilidad de la producción, a partir de la altura de poda con elementos de la formación estructural de las ramas productivas.

Se establecen las bases que determinan el efecto de la fertilización química nitrogenada en el comportamiento morfo-productivo de *Jatropha curcas* L. asociada a cultivos alimenticios y se conocen las concentraciones foliares y las extracciones de los macroelementos necesarios que realiza la arbórea para su desarrollo.

Se define el arreglo espacial que potencia el rendimiento y la estabilidad productiva de los frutos en *Jatropha curcas* L., sin afectar las cosechas agrícolas de los cultivos alimenticios, así como el efecto que generan dichos sistemas en el uso equivalente de la tierra y se demuestra que las ganancias económicas obtenidas con los arreglos espaciales evaluados, son superiores con respecto a los sistemas de monocultivos.

*Capítulo 1.*  
*Revisión Bibliográfica*



## CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Origen y distribución de la especie *Jatropha curcas* L. en el mundo

El género *Jatropha* pertenece a la familia Euphorbiaceae. Incluye aproximadamente 186 especies distribuidas principalmente en las regiones tropicales de América, África y Asia (Araiza *et al.*, 2021). En México existen 39 especies endémicas, por ello se considera este país como su centro de origen y actualmente el que más áreas destina al cultivo en el continente americano (Li *et al.*, 2017).

Por ser una especie que se reproduce fundamentalmente por polinización cruzada, presenta alta variabilidad y ello ha permitido a *Jatropha curcas* L. adaptarse a un amplio rango de condiciones edafoclimáticas (Tsuchimoto, 2017). Se distribuye desde los 0 hasta 1 500 msnm y puede desarrollarse tanto en climas tropicales, como en regiones áridas (Campuzano *et al.*, 2020).

Los suelos óptimos para su desarrollo son los francos arenosos o arcillo arenosos, bien drenados, ya que no tolera inundaciones (Galaz *et al.*, 2012). La temperatura adecuada para el cultivo está entre 18 y 28,5°C, no soporta heladas y estas provocan una drástica disminución en el contenido de clorofila, en los ácidos grasos insaturados y en la supervivencia de las semillas (Wan *et al.*, 2006). Es una planta resistente a la sequía, aunque desarrolla mejor expresión morfoproductiva con precipitaciones entre 300 y 1 800 mm bien distribuidos durante el año (Carriel y Reyes, 2020).

En la última década se ha extendido el cultivo en América Latina, Asia, África y Oceanía con el interés de obtener biodiesel a partir del aceite de sus semillas, así como elaborar jabones y cosméticos (Borah *et al.*, 2018; Ellison y Kenis, 2018).

En Cuba se encuentra distribuida por toda la isla, con mayor representatividad en las provincias orientales (Suárez *et al.*, 2017). Durante la última década, se ha realizado la extensión del cultivo a pequeña escala en fincas destinadas a la producción de alimentos y energía a partir de recursos naturales.

### **1.2. Clasificación taxonómica**

*Jatropha curcas* L. es una especie perteneciente al reino Plantae, subreino Viridiplantae, división Magnoliophyta, subdivisión Spermatophytina, clase Magnoliopsida, subclase Rosidae, orden Euphorbiales, familia Euphorbiaceae, género *Jatropha* y especie *curcas* (Govaerts *et al.*, 2012).

*Jatropha curcas* recibe diferentes nombres en el mundo como: piñoncillo en México; piñol y piñón blanco en Perú; tempate en Costa Rica y Nicaragua; physic nut en países angloparlantes; coquillo en España; cotoncillo en Honduras; piñón en Guatemala, y también es llamada como coquito, capate, higo del duende, barbasco, higo de infierno, purga de fraile, tua tua y pinhao manso (Valverde y Ávila, 2022). En Cuba se conoce como piñón botija, piñón de cercas o piñón purgante (Bisse, 1988).

### **1.3. Características botánicas de *Jatropha curcas* L.**

*Jatropha curcas* L., es una planta de crecimiento rápido y su altura normal es de 4 a 6 m, pero ocasionalmente puede alcanzar los 8 m (sin podas). Es un cultivo perenne y alcanza su madurez fisiológica entre el quinto y el sexto año. El tronco presenta un fuste ramificado a

poca altura y corteza lisa, de madera suave, médula desarrollada poco resistente, de aproximadamente 20 cm de diámetro y color blanco grisáceo; floema con largos canales que se extienden hasta las raíces por los cuales circula un látex translúcido y su vida productiva oscila entre los 45 y 50 años (Laviola *et al.*, 2017; Van Welzen *et al.*, 2017).

Según Bisse (1988), Joker y Jepsen (2003) esta especie se caracteriza por presentar:

#### *Hojas*

Las hojas de *Jatropha curcas* L. son de tamaño grande y disposición alterna, de color verde intenso en el haz y más claro en el envés, con pelillos finos. Miden tanto de largo como de ancho entre 7 y 16 cm. Se forman de tres a siete lóbulos acuminados, poco profundos y largos pecíolos de 10 a 15 cm.

Es un árbol caducifolio, según Morillo y Barredo (2018), durante la época de pocas precipitaciones, es muy común ver los tallos sin hojas. Este comportamiento también ha sido observado en Cuba en las diferentes zonas donde se encuentra sembrada la especie como Matanzas, Granma, Holguín y Guantánamo (Machado y Suárez, 2009).

#### *Tallos*

Los tallos crecen con discontinuidad morfológica, es decir no hay uniformidad en el crecimiento o no existe un tallo principal que se ramifica en varios tallos (Wulchafo y Geja, 2019). El tronco o fuste está dividido desde la base, en ramas largas, con numerosas cicatrices producidas por la caída de las hojas en la época de menores precipitaciones. La corteza es de color verde amarillenta y casi lisa, con desprendimientos en tiras horizontales (Basu *et al.*, 2017).

Del tallo se puede extraer un látex que tiene varios usos tanto medicinales, como para el control de plagas y en la industria textil (Primandari *et al.*, 2018; Carriel y Reyes, 2020; Rizo *et al.*, 2022).

#### *Raíz*

Si la planta se reproduce por semilla, se forma una raíz pivotante o central y cuatro periféricas, dos son secundarias y dos terciarias, estas son cortas y poco ramificadas. Estas raíces periféricas crecen cerca de la superficie, las cuales pueden proteger los pequeños agregados del suelo contra la erosión generada por el agua de escorrentía (Abe, 2019).

Las plantas provenientes de estacas son de menor tamaño y no poseen raíz pivotante, esto les dificulta la búsqueda de agua en el suelo (Zavala, 2016), por tanto, es conveniente poner los propágulos a enraizar, en sitios que se utilizan para dichos fines y después de 4 a 6 semanas, trasplantar al campo.

#### *Flores, frutos y semillas*

La floración de *J. curcas* es monoica, se forma en el axial terminal de las ramas, en inflorescencia unisexual, con órganos masculinos y femeninos en la misma planta. Las flores miden de 6 a 8 mm y pueden ser de color verde, blanco o amarillas (Chakrabarty *et al.*, 2019). La presencia de flores masculinas es mayor, la relación va desde 13:1 a 29:1. Las femeninas presentan brácteas acuminadas y tres estilos delgados en el gineceo y la vida de la flor es de 5-12 días, tienen diez estambres y el período de vida es de aproximadamente dos días. La viabilidad del polen es relativamente alta. Cada inflorescencia cuajada muestra un racimo de 5 a 10 frutos (Sánchez *et al.*, 2020).

Los frutos son cápsulas drupáceas y ovoides, cuando maduran van cambiando de verde a amarillo hasta volverse café oscuro o negro. Para el desarrollo del fruto transcurren aproximadamente 90 días desde la floración hasta la maduración. Este es trilocular (dividido en tres partes) con semillas en cada cavidad, indehiscente y tiene una cáscara dura y leñosa (Espinoza *et al.*, 2018). Dentro de la envoltura de la semilla hay una capa que cubre la almendra. El peso de la semilla depende de la variedad y de los manejos agrícolas que se realicen en las plantaciones, pero puede oscilar entre 0,55 y 0,79 g. Existe una proporción de 33 a 45 % de cáscara y de 55 a 66 % de almendra y estas contienen entre 25 y 30 % de proteína y entre 55 y 60 % de grasas (Soto *et al.*, 2019).

La floración y la fructificación de *Jatropha* está determinada por el efecto de diversos factores bióticos y abióticos (Wencomo, 2019). En este sentido, Abobatta (2021) planteó que se pueden producir varias cosechas durante el año si la humedad del suelo es buena y las temperaturas son altas.

Otros estudios realizados en Colombia por Gaona (2009) demostraron que en una zona de terraza alta sobre suelos Oxisoles, se obtenían entre 2 y 8 frutos por racimo y en contraste, para el valle intramontano del Tolima cosechaban hasta 10 frutos. Por tanto, se considera que el rendimiento varía en dependencia de las condiciones edafoclimáticas de cada sitio en el que se cultive la especie.

#### **1.4. Utilización e importancia del cultivo de *Jatropha curcas* L.**

Los usos de *Jatropha* han sido diversos. En este sentido, Previante *et al.* (2019) mencionan que los guaraníes utilizaban sus semillas como purgante, sus raíces como agente depurativo; además le atribuían propiedades aromáticas y elaboraban prendas artesanales.

Al respecto, Figueroa *et al.* (2020) señalan que el aceite es usado como antiséptico, para las enfermedades de la piel y para aliviar el dolor del reumatismo. La decocción de las hojas se usa para la tos y el látex sana heridas y también puede tener propiedades antimicrobianas (Anibijuwon, 2018; Gallardo *et al.*, 2019).

Pérez *et al.* (2019) informaron que, en el sureste de México, también se consumen en diversos platillos de una variedad nombrada “Xuta” o “Aishte”; la cuál es reconocida como no tóxica por presentar muy bajos niveles de ésteres de forbol.

En este sentido, el uso comestible de la especie se ha documentado solamente en México, sitio en el que se localizan variedades no tóxicas y tóxicas (Vandepitte *et al.*, 2019). Las denominadas tóxicas, contienen componentes antinutricionales, que pueden ser neutralizados hasta niveles seguros para el consumo humano mediante el calor. Además, se considera que las fuentes no tóxicas y comestibles, son aquellas cuyos contenidos de ésteres de forbol son menores a  $0,20 \text{ mg g}^{-1}$  (Tadano *et al.*, 2021; Zimila *et al.*, 2021). Por tanto, debido a estas características, el cultivo de esta especie se ha asociado casi exclusivamente con aplicaciones para biocombustibles (Mitra *et al.*, 2021).

Al respecto, Gonfa *et al.* (2021) señalan que alrededor de un tercio de la energía en el fruto de *Jatropha* puede extraerse un aceite que tiene un valor energético similar al combustible de diésel. Este aceite puede usarse directamente en motores de diésel agregados al combustible como diluyente, o transesterificado a biodiésel. Según estos autores, a partir de plantas de *J. curcas* cultivadas localmente puede producirse un suplente del diésel, que le proporciona a estas áreas la posibilidad de ser autosuficientes en combustible para usar en las maquinarias.



También a partir del proceso de obtención de biodiésel se pueden obtener más de 400 coproductos, entre los que se encuentran plaguicidas caseros, colorantes y glicerol (Bekalu, 2021). Además, la pasta residual tiene un alto contenido de proteína (60-65 %), la cual puede ser transformada en un excelente alimento balanceado para aves, ganado e incluso peces (Sánchez *et al.*, 2019; Flores *et al.*, 2020).

Por otra parte, debido a su porte arbóreo, tiene la característica de absorber el carbono de la atmósfera, por lo que es evidente el impacto positivo en la mejora de la estructura edáfica y el control de la erosión (Marques *et al.*, 2022a). En este sentido, Ndong *et al.* (2009) determinaron el balance positivo del carbono en el suelo y de generación de gases de efecto invernadero (especialmente el CO<sub>2</sub>) ya que al cambiar el cultivo precedente (algodón) por *J. curcas*, la acumulación aumentó de 140 a 900 kg de Carbono ha<sup>-1</sup>. Otro de los usos reconocidos, ha sido como cerca viva, cuya función es reforzar, proteger y delimitar los corrales (Sabiú *et al.*, 2020).

Por su parte, los frutos son ricos en minerales, fundamentalmente en nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) por lo que de estos también se elaboran biofertilizantes. De la biomasa que generan las podas se obtiene cantidades de materia orgánica, las cuales pueden ser incorporadas de forma directa al suelo o destinadas a la preparación de compost (Abayomi *et al.*, 2018), conjuntamente con los residuos orgánicos obtenidos del despulpado de los frutos (Nguema *et al.*, 2019).

El uso de esta especie en sistemas de intercalamiento con plantas alimenticias y pastos es una técnica ecológicamente viable, económicamente rentable y de excelente aceptación para los productores de fincas familiares (Sotolongo *et al.*, 2007).

A pesar de las características y usos, el potencial de *J. curcas* aún no ha sido completamente estudiado y evaluado. Es una especie en proceso de domesticación y existen varias razones poco documentadas, por las que se presume que se limita la estabilidad y la máxima expresión del rendimiento de los frutos, afectados también por las variables genéticas, ambientales, edáficas y de manejo agronómico.

### **1.5. Influencia de los factores ecológicos y agronómicos en el crecimiento y desarrollo de *Jatropha curcas* L.**

#### **1.5.1. Temperatura**

Según el criterio de Carriel y Reyes (2020) existe una relación directa entre las temperaturas y los rendimientos de los frutos. Al respecto, en estudios realizados en Egipto por Kiefer (1986) se mencionó que las plantas crecieron muy bien aun cuando la temperatura excedía los 40 °C, sin embargo, con el intenso frío de Buenos Aires, se produjo la caída de las hojas, aunque sus tallos se mantuvieron verdes para rebrotar después en la primavera (Falasca y Ulberich, 2008). Estos autores, también aseveran que las temperaturas cercanas al punto de congelamiento pueden ocasionar la muerte del árbol.

#### **1.5.2. Precipitaciones**

La información registrada en cuanto a la necesidad o tolerancia de la planta a las precipitaciones, es muy variada. Al respecto, se informa que la planta necesita niveles de lluvia moderada entre 300 y 1 500 mm al año (Lama *et al.*, 2018a). Sin embargo, en Egipto (Abou y Atta, 2009) determinaron que es necesario para su crecimiento 6 000 mL de agua por semana.

Por otra parte, Maes *et al.* (2009) señalaron que la producción puede llegar a 5 t de semilla por hectárea por año, con un promedio de precipitación anual entre 900 y 2 400 mm. En regiones ecuatoriales donde la humedad no es un factor limitante, la planta puede florecer y fructificar todo el año; no obstante, se debe tener en cuenta que el cultivo no tolera precipitaciones mayores a 3 000 mm ya que aumenta la posibilidad de ataques de hongos y limita el crecimiento de las raíces (Joker y Jepsen, 2003).

En Cuba, *J. curcas* tiene dos picos de producción bien definidos, el primero entre los meses de mayo a septiembre, que coincide con la época de mayores precipitaciones y el segundo de noviembre a febrero (Toral *et al.*, 2008). A pesar de que en los estudios realizados no se ha evaluado dicho efecto, se considera que las precipitaciones anuales pudieran influir en la expresión agrícola de la planta.

### **1.5.3. Suelo**

Sánchez *et al.* (2020) señalaron que la principal ventaja de *Jatropha* es su capacidad para crecer en suelos marginales y su capacidad de restaurar las áreas erosionadas. Al respecto Jones y Miller (1992) precisaron obtener mejores rendimientos en suelos de calidad pobre y con el uso de fertilizantes que contenían cantidades pequeñas de calcio, magnesio y azufre.

Por otra parte, Gaona (2009) coincide con que debe ser cultivada preferiblemente en suelos profundos (>20 cm de profundidad efectiva), bien estructurados y sin compactación, para que el sistema radicular pueda explorar mayor volumen y satisfacer la necesidad de nutrimentos de la planta. Al mismo tiempo, se deben evitar los suelos con más de 40 % de arcilla, poco aireados y de difícil drenaje y no es recomendable cultivarla en terrenos inundables.

#### **1.5.4. Procesos de germinación de las semillas**

*J. curcas* puede ser reproducida por vía sexual o asexual. La propagación por semilla es la más utilizada. Estas no deben exponerse al sol, ya que ello podría influir en la viabilidad, deben ser almacenadas a temperatura ambiente, con un contenido de humedad entre el 8 y el 10 % (Lama *et al.*, 2018b).

Las semillas recién colectadas presentan un porcentaje de germinación del 80 % y pueden germinar bien sin pretratamiento y no se recomienda eliminar la cáscara antes de la siembra, pues, existiría el riesgo de obtener plántulas anormales. La germinación ocurre aproximadamente a los 10 días después de la siembra (Joker y Jepsen, 2003).

#### **1.5.5. Densidades de siembras**

En *J. curcas* se utilizan diversas densidades de siembras en dependencia de los objetivos que se persigan. Se han empleado en cultivo puro 2 500, 2 000, 1 670, 1 250 y 1 100 plantas por hectárea, con distancia de plantación de 2×2m, 2×2,5m, 3×2m, 2×4m y 3×3m, respectivamente (Moreno, 2014). También pueden ser plantadas en hileras dobles o como cerco vivo con distancias de 2,5 a 3 m entre plantas dentro de la hilera (López *et al.*, 2019a). En plantaciones comerciales se puede utilizar una densidad de 400 plantas por hectárea, para marcos amplios de 5×5 m, así se aprovechan los espacios entre surcos para intercalar cultivos alimenticios (Hernández, 2011a). En este sentido, Córdova *et al.* (2015) recomendaron distancias de 4 o 6 metros entre surcos y 2,5 m entre plantas, si el propósito es la asociación; aunque también Hernández (2011b) utilizó 4×1,5 m (1 666 plantas ha<sup>-1</sup>) en sistemas intercalados de la arbórea con *Brachiaria* (Trin.) Griseb., *Cynodon* Rich. y Calabaza (*Cucurbita moschata* Duch).

Al respecto, ha sido reconocido la densidad de plantas como uno de los factores que determinan el desarrollo morfológico y productivo de la especie. Montecé (2019); El Shaieny y Bashandy (2022) precisaron que, con distancias de siembra pequeñas, el crecimiento de las plantas, se acelera, dado por la mayor captura de energía lumínica y las plantas sembradas con marcos más abiertos presentan un crecimiento heterogéneo.

Por otra parte, Gaudio *et al.* (2019), recomienda diferentes arreglos espaciales con variaciones de los marcos de plantación y las densidades de plantas para proporcionarle el espacio necesario a los cultivos alimenticios y que el productor pueda realizar las labores agrícolas. Con dicho propósito las densidades de *J. curcas* pueden variar desde 800 hasta 1 500 plantas ha<sup>-1</sup>, con rendimientos medios de 794 kg ha<sup>-1</sup> de frutos.

#### **1.5.6. Fertilización**

Algunos autores mencionan que *J. curcas* tiene la capacidad de sobrevivir en suelos poco fértiles (Sánchez *et al.*, 2020), sin embargo, esto no significa que exprese alta productividad, sino que la falta de nutrición se refleja en la baja producción de semillas, ocasionado por el aborto de las flores y de los frutos (Ewunie *et al.*, 2020).

Como la mayoría de los cultivos, necesita minerales en proporciones variables, para su desarrollo. Vásquez *et al.* (2017) demostraron que al proporcionar al sustrato fertilizantes a base de N y P fue mayor la producción de la planta. En este sentido, Patil y Parameshwarappa (2007) aplicaron 80:80:80 kg ha<sup>-1</sup> de N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O, respectivamente y obtuvieron 1,5 t ha<sup>-1</sup> de semillas al año. Resultados similares fueron informados por Díaz (2015) en Guatemala, al aplicar 400 kg de N ha<sup>-1</sup> obtuvo rendimientos de 1,6 t de semillas ha<sup>-1</sup>.

En otros estudios realizados por Suriharn *et al.* (2011) se determinó un incremento en la producción de semillas de 1 559 kg ha<sup>-1</sup> año por el efecto de la interacción entre las podas a 75 cm de altura y las aplicaciones de 312,5 kg de N ha<sup>-1</sup> año, el cuál difirió significativamente del tratamiento control y de la mayor aplicación de 625 kg de N ha<sup>-1</sup>, con la que se obtuvo un rendimiento deprimido. Estos resultados reflejaron la importancia de conocer las dosis que necesita el cultivo, no solo para aumentar el rendimiento sino para evitar excesos de aplicaciones de químicos que afectan el medio ambiente e incurren en gastos económicos, lo cual también dependerá de las características químicas y físicas del suelo.

Asimismo, Marrone del Cid (2009) determinó que la ausencia de nitrógeno disminuye severamente la producción de biomasa ya que afecta la altura de la planta, el diámetro basal del tallo y la formación de hojas. Los estudios realizados por Laviola y Dos Santos (2008), informaron que la relación N:K en las hojas fue de 2,3:1 y en los frutos fue de 1,4:1 por lo que se consideró que esta especie realiza mayor movilización del nitrógeno de las hojas y los tallos hacia los frutos que el potasio.

Montenegro (2017) corroboró que el piñón acumula gran cantidad de nitrógeno en los frutos y supera hasta en 3,6 veces a otras oleaginosas como el girasol y la higuierilla y señaló que, si la planta no se fertiliza, se pueden afectar considerablemente los rendimientos productivos, fundamentalmente en la etapa de la formación de los frutos. Por su parte, Ghosh *et al.* (2007) estimaron que en una tonelada de frutos la planta realizó una extracción del suelo, de 14-34 kg de N, 0,7-7 kg de P, y 14-32 kg de K.

Por ello se considera, que la planta realiza una alta extracción de nitrógeno y en igual o menor proporción también de potasio, por lo que ambos son nutrientes necesarios que deben aplicarse en las plantaciones de *J. curcas*.

De igual forma, se ha indicado que la especie responde eficientemente a la combinación de fertilizantes químicos, abonos orgánicos, biofertilizantes y bioproductos. Cuevas (2009) al utilizar composta de residuos orgánicos observó un efecto significativo en la altura y en el peso seco de la raíz.

En correspondencia, Teniente *et al.* (2011) evaluaron el efecto de la fertilización química (N y P) y la aplicación de hongos micorrizógenos arbusculares del género *Glomus* y la bacteria *Azospirillum brasilense* y obtuvieron resultados similares para la cantidad de ramas e inflorescencias desarrolladas, variables estas que determinan el rendimiento de la planta.

También han sido utilizados en la especie otros bioproductos como enraizador Rooting® y *Trichoderma*, con los cuales según reportes de Martiñón *et al.* (2017) se ha incrementado el número de ramas productivas. De igual manera, Kannan y Kannan (2013), con el uso de *Azospirillum + Trichoderma + micorrizas arbusculares*, obtuvieron de 27 a 36 ramas por plantas. Mientras que, Ravikumar *et al.* (2011), inocularon varias especies de *Azospirillum* y encontraron que las plantas incrementaron la altura, la longitud de raíz y la biomasa del tallo y de la raíz.

#### **1.5.7. Métodos de poda e influencia en la formación de ramas productoras de frutos**

La poda es una práctica que estimula el crecimiento de las yemas laterales dado por la interrupción del crecimiento de la yema apical que, al ser cortada, favorece el desarrollo de las demás yemas distribuidas en el tallo (Heller, 2019).

Según Desai *et al.* (2018), la poda es muy importante, ya que se puede controlar desde un inicio la altura a la que se quieren tener los frutos. De igual forma, recomienda realizar las podas de formación en el período seco, después de la cosecha y cuando las plantas alcancen 60 cm, en los primeros seis meses del cultivo, con tijera de podar, cuchillo o machete, a una altura de 35 a 45 cm sobre la base del suelo; de esta forma se elimina la parte apical de la planta y se propicia el desarrollo de ramas laterales. Asimismo, sugiere realizar una poda de mantenimiento, cuando la planta alcance entre 1,50 a 1,60 m, al año de la siembra y así eliminar las ramas enfermas o improductivas.

Sin embargo, existen diversos criterios acerca del momento, la altura y la forma de llevar a cabo la poda de formación. Con respecto a la altura, López *et al.* (2019b) recomendaron efectuar el primer corte a los 30 cm para optimizar el número de ramas laterales y la arquitectura general de la planta. Aspectos similares fueron corroborados por Moreira *et al.* (2019) quienes indicaron que no es conveniente realizar podas a alturas superiores a los 40 cm, debido a que el espacio entre el corte y el suelo es mayor, las plantas pueden formarse con alta bifurcación. En contraste, Díaz (2015) alcanzó altos rendimientos con podas a 200 cm de altura sobre la base del suelo.

En estudios realizados por Echeverría *et al.* (2013) en el que se evaluaron cuatro tratamientos: uno sin poda y los demás con una, dos y tres podas, a una altura de 30 cm del suelo y cada 60 días, obtuvieron un incremento de la productividad directamente proporcional al número de cortes realizados por planta.

Por otra parte, Manrique (2013) no encontró diferencias entre el control sin poda y tres tratamientos de despuntes para obtener una floración precoz y mayor producción; sin



embargo, recomendó realizar las podas ya que facilitan la cosecha y pueden evitar la competencia entre las plantas.

A pesar de considerarse que la bibliografía consultada es ambigua e imprecisa y todavía no se ha logrado determinar el método a seguir en la poda de *J. curcas* para fines de producción, si es posible aseverar que la especie requiere de esta técnica para incrementar la producción de frutos y semillas, ya que como se mencionó anteriormente, la planta emite los racimos de forma proporcional al número de ramas que se forman, lo cual está relacionado con el rendimiento (Echeverría *et al.*, 2013).

#### **1.6. Cosecha y rendimiento de los frutos y semillas de *Jatropha curcas* L.**

Esta planta tiene un amplio período de floración y fructificación que puede durar alrededor de 90 días; por tanto, en el mismo racimo se pueden encontrar flores o frutos verdes, amarillos y secos, por lo que la cosecha debe realizarse de forma escalonada (Alherbawi *et al.*, 2021a). Los frutos verdes deben permanecer en el árbol hasta que se tornen amarillos. Al cosechar los frutos maduros, éstos deben ser secados, expuestos al aire hasta perder la humedad para que puedan ser trillados y sus semillas almacenadas de forma segura (López *et al.*, 2019b).

La planta comienza a producir desde el primer año. Según Silva *et al.* (2018) el rendimiento del cultivo se incrementa anualmente y se estabiliza a partir del quinto año, aunque señalan que podrá variar en dependencia de diversos factores genéticos, climáticos y de manejo agronómico.

Según Francis *et al.* (2005), una planta rinde alrededor de 2 kg de semillas, en suelos relativamente más pobres varía de 0,75 a 1 kg por planta. En experiencias evaluadas en

varios países han informado que los rendimientos nunca serán superiores a 2 t ha<sup>-1</sup> año (Alherbawi *et al.*, 2021b; Neupane *et al.*, 2021).

### **1.7. Valoraciones económicas del cultivo de *Jatropha curcas* L.**

Los resultados que refieren los análisis económicos de *J. curcas* han estado fundamentalmente enmarcados en localidades, donde las características climáticas y edáficas tienen limitantes particulares de cada zona de estudios.

Al respecto, Díaz (2011) no logró determinar la factibilidad económica del cultivo en un rancho de Nuevo León-México, debido a las bajas temperaturas (-3,5°C) de la región, que afectaron la producción de frutos, sin embargo, estimó que posterior al quinto año sería posible lograr el balance positivo.

De igual forma, Aguilera *et al.* (2018), señalaron que la inversión realizada para el establecimiento de esta especie en Yucatán y Quintana Roo en México, no fueron recuperadas en el período esperado, debido al abandono de las plantaciones por los productores. Sin embargo, en los estados de Colima y Puebla, las plantaciones fueron atendidas y se logró estabilidad en la cosecha y en el valor de la producción.

Igualmente, Mariños (2015) consideró que el proyecto fue factible para el desarrollo de fincas en Chepen-Perú, ya que los indicadores medidos resultaron positivos.

Por otra parte, Sotolongo *et al.* (2007) al realizar el análisis en una finca familiar en la cual se encontraba *Jatropha* asociada a cultivos alimenticios anuales, pudieron determinar que el Programa de Desarrollo del Biodiésel en Cuba es viable y sostenible, debido al impacto en la producción de alimentos, biodiésel, bioabonos y glicerol y a la recuperación de la inversión en cortos períodos de tiempo.

En este sentido, se considera que el éxito o el fracaso del cultivo dependerá del manejo que se le realice a la plantación, sin olvidar que el modelo productivo que se propone es a pequeña escala “fincas agroenergéticas”, con el fin de eliminar las contradicciones entre la producción de alimentos y de energía, así como fomentar proyectos que potencien la independencia y la seguridad de dichas premisas.

### **1.8. Efecto de los sistemas de cultivos asociados en los rendimientos y uso equivalente de la tierra**

Los sistemas de asociaciones de *J. curcas* con cultivos alimenticios son una alternativa agrícola que permite un ingreso económico adicional del cultivo y proporciona mayor rentabilidad por el uso intensivo del suelo.

El cultivo asociado puede sembrarse desde el primer año, preferiblemente en distancias superiores a 5 m de separación entre los surcos de la arbórea, para facilitar las labores agrícolas y garantizar el espacio vital de las plantas (Subbulakshmi *et al.*, 2019).

En Perú, existe experiencia de esta especie en sistemas integrados con cultivos alimenticios como el maní (*Arachis hypogaea* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el maíz (*Zea mays* L.), la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), el culantro (*Eryngium foetidum* L.), la piña [*Ananas comosus* (L.) Merr.] y las especies forestales nativas, con los que se han obtenido rendimientos de 50 kg ha<sup>-1</sup> de semilla seca de *J. curcas* durante el primer año de producción (Veen, 2011).

Por su parte, Causarano (2011) al intercalar plantas alimenticias entre los surcos de la arbórea obtuvo producciones de 757 kg ha<sup>-1</sup> de semillas de *Jatropha*. En cuanto a los cultivos asociados, los rendimientos fueron de 500 kg ha<sup>-1</sup> para el ajonjolí (*Sesamum*

*indicum* L.), de 2 306 kg ha<sup>-1</sup> para el maíz; de 1 000 kg ha<sup>-1</sup> para el algodón (*Gossypium herbaceum* L.); y para el frijol y el maní fue de 970 y 1 322 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por ello, Jablonski *et al.* (2017) recomendaron utilizar las asociaciones, de manera que el espacio no ocupado por *J. curcas* pueda ser aprovechado para la producción de alimentos o forraje, o sembrar abonos verdes para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, diversificar los ingresos y mitigar los costos de establecimiento.

Empero, con las asociaciones se produce entre las especies la complementación o la competencia interespecífica, estas interacciones pueden tener efectos inhibidores o estimulantes en los rendimientos (Mazabanda, 2019). Por ello es necesario conocer la mejor combinación, desde el punto de vista del rendimiento, de la distribución estacional, de la persistencia y del uso del suelo.

Actualmente, la siembra de cultivos alimenticios intercalados en *J. curcas* se ha convertido en una práctica importante en las operaciones agrícolas de las áreas destinadas a la arbórea. Con dichas asociaciones se proporcionan ingresos adicionales, incluso antes de que el cultivo perenne alcance su madurez. La adopción de estas alternativas en pequeñas fincas, prometen la obtención de diversos productos y alimentos en un corto período de tiempo y se vuelven interesantes desde un punto de vista socioeconómico (Singh *et al.*, 2019).

No obstante, estos criterios pueden ser corroborados a través de cálculos que indiquen la eficiencia del uso equivalente de la tierra (UET), el cual expresa y evalúa las ventajas o desventajas, en términos de producción biológica, práctica agronómica y la competencia entre cultivos, para determinar si el policultivo es o no más eficiente que el monocultivo.

El UET representa el área de tierra cultivada en monocultivo que se necesitaría para obtener la misma producción que en la asociación, se considera muy bueno cuando se obtienen valores de UET de 1,5 (Casanova *et al.*, 2001).

En *J. curcas* no se ha encontrado bibliografía que refiera estudios del UET en sistemas de policultivos. En otros cultivos, se ha informado la eficiencia del uso equivalente de la tierra al intercalar calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) con soya [*Glycine max* (L) Merr.] y ajonjolí, el cual fue de 1,13 y 1,12, respectivamente (Cárdenas, 2012).

La importancia de estas formas de producción, ha hecho necesario orientar las investigaciones hacia el conocimiento de dichos análisis que demuestren el aporte en la productividad de los agroecosistemas al incluir *J. curcas*.

### **1.8.1. Características generales del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**

En la actualidad se han descrito 50 especies del género *Phaseolus*, de las cuales 5 de ellas han sido domesticadas: *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. polyanthus*, *P. acutifolius* y *P. vulgaris*, que es la más importante, ya que representa el 80 % de la superficie mundial cultivada (Maqueira *et al.*, 2017). Este cultivo se produce en diversos países de América, África, el Medio Oriente, China, Europa y Canadá (Anaya *et al.*, 2021).

El frijol pertenece a la familia de las Fabaceae, es una fuente importante de proteínas (14 a 33 %), de almidón, vitaminas del complejo B, minerales (Ca, Cu, K, Mg, P, y Zn) y fibra alimentaria (Flores, 2018). Las semillas pueden consumirse inmaduras, maduras, frescas o secas (Morales *et al.*, 2017a).

En Cuba, se siembran alrededor de 100 000 ha anuales para su consumo seco con un rendimiento medio de 1,1 t ha<sup>-1</sup> y desde el año 2010, la proyección estratégica para el

cultivo en el país, está basada en el incremento de las áreas de siembra (Maqueira *et al.*, 2017). Sin embargo, el rendimiento del cultivo depende de varios factores tanto ambientales, genéticos, como de manejo agronómico.

El frijol es una planta anual y herbácea, lo que permite que pueda ser utilizada en sistemas de siembras diferentes como es el monocultivo o intercalada con diferentes especies. La principal característica de la asociación es que los rendimientos obtenidos son menores a los logrados en el correspondiente monocultivo.

En estudios realizados por Angulo (1986) halló una reducción del 62,1 % de los granos cuando se utilizó el frijol combinado con maíz. También Vélez *et al.* (2007) coincidieron en que, al utilizar sistemas de asociación, los rendimientos del frijol se reducían en más del 40 %. En contraste Ebel *et al.* (2017) obtuvieron que el maíz y el frijol asociados produjeron 90 % más cosecha por área que en sus respectivos monocultivos.

No obstante, a pesar de los rendimientos que se han obtenido en el frijol cuando se utiliza en sistemas de asociaciones o intercalamiento, se considera que entre las especies se presenta algún tipo de interacción que beneficia su cultivo asociado (Vélez *et al.*, 2007), además hacen demandas diferentes sobre los recursos, disminuye la intensidad de competencia y aumenta la agrobiodiversidad (Ebel *et al.*, 2017).

### **1.8.2. Características generales del cultivo del boniato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]**

El boniato *Ipomoea batatas* (L.) Lam., según Austin y Huáman (1996) pertenece a la familia Convolvulaceae, es originario de América y constituye el sexto cultivo alimentario en orden de importancia a nivel mundial (FAOSTAT, 2020). En Cuba se cultiva desde la época precolombina y constituye en la actualidad una especie de alta demanda popular pues

forma parte de la dieta alimenticia y tiene múltiples usos (Morales, 2014), por ello se siembran alrededor de 110 079 ha anuales, aunque los rendimientos promedios registrados oficialmente son bajos: 9,93 t ha<sup>-1</sup>, esto se debe a la escasa práctica de las atenciones culturales, fundamentalmente la fertilización y el control de plagas (ONEI, 2018).

El tubérculo puede propagarse de dos formas, a partir de las raíces tuberosas que es la vía para la obtención de semilla original o también por esquejes, en la cual se utilizan porciones de tallos rastreros con una longitud de 25 a 30 cm y es la técnica más utilizada y económica (Morales *et al.*, 2017b).

Las distancias de plantación en este cultivo se recomiendan en dependencia de la época de plantación ya que las plantas tienen respuestas diferentes de desarrollo en las distintas estaciones. Por tanto, en los meses de septiembre a febrero (período poco lluvioso), la distancia debe ser de 0,90 m × 0,23 m (650 000 esquejes ha<sup>-1</sup>). Para los meses entre marzo y agosto (período lluvioso) se deberá tener en cuenta distancias de 0,90 m × 0,30 m para una densidad de 500 000 esquejes ha<sup>-1</sup> (Machado, 2020).

El número de raíces tuberosas por planta es un componente importante del rendimiento para el cultivo del boniato, es muy estable y altamente heredable (González *et al.*, 2020). Según Cobeña *et al.* (2017) una planta de boniato puede producir raíces tuberosas de diferentes tamaños, que en promedio pesan 1,48 kg. Dichos autores lograron 39 toneladas de raíces tuberosas comerciales ha<sup>-1</sup>, a nivel experimental en campo.

Otros estudios realizados por Escobar (1975) para evaluar el crecimiento y el rendimiento del boniato en monocultivo y en asociación con frijol, maíz y yuca permitieron dilucidar

que la asociación del boniato con otras especies produce un retraso en su crecimiento y en la tuberización.

En contraste Vargas *et al.* (2021) reconocen que se obtienen excelentes beneficios económicos al utilizarse en asocio con yuca y frijol ya que las afectaciones por tetuán [*Cylas formicarius* (Fabricius)] son significativamente menores. Mientras que, Mbayaki y Karuku (2021) obtuvieron 26,2 t ha<sup>-1</sup> al intercalar el tubérculo con frijol común y destacaron que la asociación fue biológicamente eficiente, con un porcentaje de tierra ahorrada que osciló entre el 8 y el 33 %.

Igualmente, existen diversos criterios que también se refieren al efecto alelopático del boniato, lo cual puede provocar que disminuyan los rendimientos de los cultivos que se asocian; pero, algunos autores lo consideran beneficioso ya que el cultivo puede impedir el desarrollo de especies invasoras (Mbayaki y Karuku, 2021). Por ello, resultará siempre importante conocer que especies se benefician desde el punto de vista fisiológico, ecológico y económico en dichos sistemas de asociaciones.

### **1.8.3. Características generales de la calabaza (*Cucurbita moschata* Duch)**

La calabaza pertenece a la familia Cucurbitaceae (Rios *et al.*, 2018), las especies de esta familia son de gran importancia económica. Se considera que es América el centro de origen y en la actualidad son pocos los países que no cultivan esta especie (MINAG, 2007).

El cultivo puede sembrarse durante todo el año, sin embargo, en los meses más calurosos (julio y agosto) se estimula la emisión de flores masculinas en detrimento de la emisión de las femeninas y a su vez hay una menor fecundación o fructificación, lo cual afecta la producción (MINAG, 2007).



En Cuba existen diferentes variedades. La siembra puede hacerse en áreas de bajos insumos y los rendimientos pueden ser desde 9 hasta 15 t ha<sup>-1</sup> en dependencia de la variedad que se utilice (MINAG, 2007).

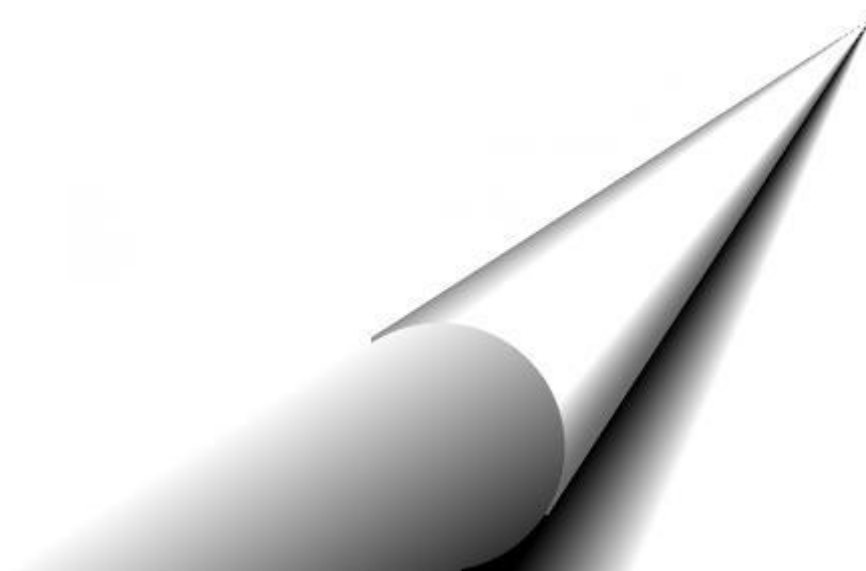
La siembra del cultivo se realiza por semilla disponiéndose de 2 a 3 por nido, que deben quedar separadas entre sí. Se pueden utilizar distancias de 6,0 × 1,0 m; 5,4 × 1,0 m para intercalar otros cultivos (Cruz, 2001). Otros marcos de siembra sugeridos son 2,70×1,80 m; 4,5×1,0 m; 5,0×1,0 m y 2,7×1,8 m (MINAG, 2007).

En países como México, la calabaza es usada frecuentemente como policultivo con maíz y frijol, destacándose que se eleva la rentabilidad económica del agroecosistema y se incrementa la producción de alimentos a favor de la dimensión sociocultural (Osorio *et al.*, 2017; Ebel *et al.*, 2017). Al mismo tiempo, los rendimientos de los frutos pueden llegar a alcanzar valores de 3 715,27 kg ha<sup>-1</sup> en estos sistemas de asociación (Aguilar *et al.*, 2019).

En Cuba, también se reportan asociaciones con girasol y sorgo con rendimientos de 6,41 y 7,09 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (MINAG, 2007). Se considera una especie compatible con diferentes familias de plantas y que puede ser utilizada en intercalamiento con 2 o 3 cultivos que coincidan a la vez en el tiempo y el espacio.

*Capítulo 2.*

*Materiales y Métodos*



## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Ubicación geográfica

Se realizaron tres experimentos en áreas de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” (EEPFIH), situada entre los 22° 48' 7" de latitud Norte y los 81° 2' de longitud Oeste, a 19,01 m s.n.m., en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba.

### 2.2. Características edafoclimáticas

Los experimentos se llevaron a cabo en un suelo de topografía llana, con pendiente de 0,5 a 1,0 % y del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado (Hernández *et al.*, 2015), que se correlaciona con un Nitisol Ródico Lítico, Éutrico (FAO, 2014). La profundidad promedio hasta la roca madre es de 150 cm.

La caracterización de la fertilidad química (tabla 1) se realizó teniendo en cuenta los criterios establecidos por Mesa *et al.* (1984).

**Tabla 1. Algunas características del horizonte cultivable (0-0,20 m) de los suelos existentes en las áreas donde se realizaron los diferentes experimentos**

Experimento	pH H <sub>2</sub> O	MO (g kg)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Cationes intercambiables (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
				K	Na	Ca	Mg
Primero	6,36	30,7	21,65	0,16	0,19	14,20	1,98
Segundo	6,32	38,1	20,15	0,15	0,14	13,81	1,94
Tercero	6,41	40,4	19,64	0,10	0,08	12,16	2,31

Determinaciones analíticas: pH (H<sub>2</sub>O) potenciómetro con relación suelo: solución de 1:2,5 (NC ISO 10390, 1999). M.O. (Materia orgánica) Walkley Black (NC 51, 1999). P asimilable por extracción con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 mol L<sup>-1</sup> con relación suelo: solución 1:25 (NC 52, 1999). Cationes intercambiables (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) por extracción con NH<sub>4</sub>Ac 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7 y determinación por complejometría (Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>) y fotometría de llama (K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>) (NC 65 2000, 1999).

En relación al pH los suelos tuvieron una tendencia ligeramente ácida, mientras que el contenido de materia orgánica (MO) fue medio, en correspondencia con los suelos Ferralíticos Rojos existentes en Cuba (Hernández *et al.*, 2014). Los valores de fósforo disponible, el magnesio (Mg) y el calcio intercambiable (Ca) fueron medios, mientras que para el potasio (K) y el sodio (Na) se encontraron bajas concentraciones. De forma general, los valores fueron similares en cada uno de los experimentos ejecutados.

En la figura 1 se indica el comportamiento de algunos elementos climáticos durante el período experimental (2013-2019), así como el promedio histórico (1997-2019). Según la clasificación de Köppen es un clima Aw, tropical subhúmedo (Inzunza, 2005), y presenta dos estaciones definidas por las lluvias: Período poco lluvioso (PPLL) que abarca los meses de noviembre hasta abril y el período lluvioso (PLL), se enmarca desde mayo a octubre (Academia de Ciencias de Cuba, 1989).

La temperatura media histórica mostró valores de 24,1°C y las anuales presentaron un promedio ligeramente superior a esta, destacándose el año 2015 con los mayores valores (25,2°C).

Relacionado con los volúmenes de precipitaciones, estos fueron superiores al promedio histórico, en los años 2014 y 2018.

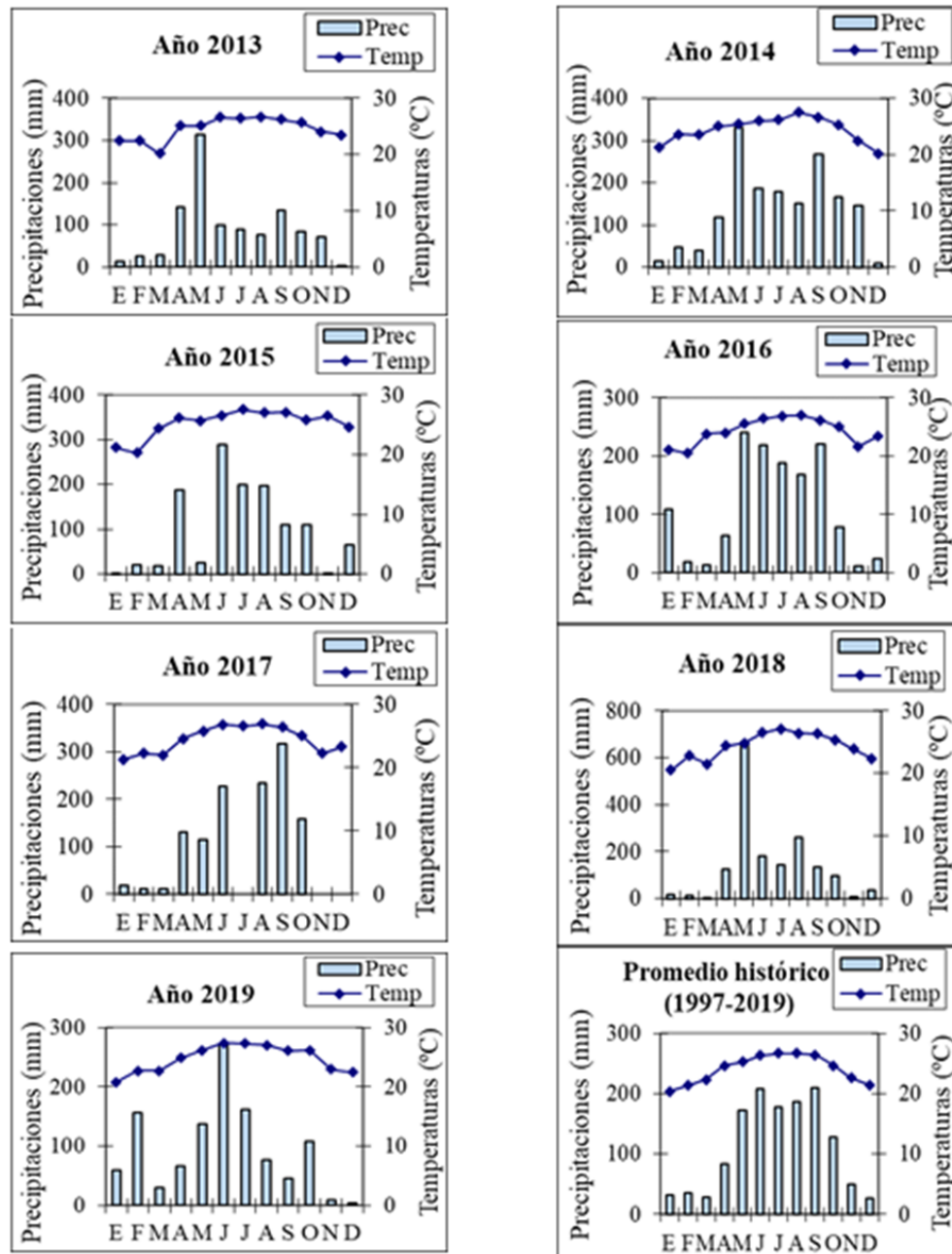


Figura 1. Comportamiento de los elementos climáticos (temperatura media y precipitaciones) durante el período experimental. Estación Agrometeorológica de Indio Hatuey (INSMET, 2016).

Los datos tomados de la Estación Agrometeorológica “Indio Hatuey” 78329, adjunta al Instituto de Meteorología (INSMET, 2016) y ubicada entre los 22°, 48’ y 7” de latitud Norte, y los 81° y 2’ de longitud Oeste, a 19,9 m s. n. m. en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba.

### **2.3. Procedimiento general experimental para *Jatropha curcas* L.**

La siembra de *J. curcas* se realizó tres años antes de comenzar cada estudio, para garantizar estabilidad en la producción de la planta (Lama *et al.*, 2018b).

El suelo se preparó de forma convencional (arado, grada, cruce, grada), para ello se utilizó un tractor YUMZ, un arado ADI-3 y una grada ligera (1 200 kg), con un intervalo entre las labores de 20 días aproximadamente y se realizaron a una profundidad de 20 cm.

Posteriormente se depositaron dos semillas por hoyos de la especie *Jatropha curcas* L. procedencia Cabo verde, identificada como una de las más sobresalientes, en estudios sobre evaluación morfoagronómica realizados por Machado y Brunet (2014).

Los surcos siempre fueron orientados en sentido este-oeste. Un año antes de iniciar los experimentos se realizó un corte de homogenización, con una poda a 10 cm sobre la base del suelo, para retirar el meristemo apical y favorecer la ramificación axilar de todas las plantas (Laviola *et al.*, 2010).

En los experimentos 1 y 2 se utilizó una distancia de siembra de 6 × 2 m (833 plantas ha<sup>-1</sup>). Ambos experimentos se realizaron de forma simultánea, tuvieron una duración de tres años, iniciaron en noviembre de 2013 y se extendieron hasta agosto de 2016. Posteriormente, se llevó a cabo el tercer experimento que también tuvo el mismo período de ejecución y abarcó desde octubre del 2016 hasta septiembre de 2019.

No se utilizó riego ni fertilización en ningún momento en los experimentos 1 y 3.

Por otra parte, en cada uno de ellos se intercalaron entre los surcos de la arbórea los cultivos alimenticios: frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), boniato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] y

calabaza (*Cucurbita moschata* Duch), los cuales fueron sembrados en épocas diferentes teniendo en cuenta las exigencias climáticas de cada especie (anexos 1 y 2).

En los experimentos 1 y 2 los cultivos alimenticios fueron sembrados entre los surcos de *Jatropha*. En el experimento 3 se asociaron en dependencia de los arreglos espaciales que se estudiaron.

En todos los casos, para la siembra de estos cultivos alimenticios, la preparación de suelo se realizó de forma previa a la siembra y se intercalaron dos labores de arado y dos de grada. Se utilizaron las mismas maquinarias e implementos que los empleados en la arbórea. Para realizar las labores agrícolas, se tuvo en cuenta las descritas por las normas técnicas de cada cultivo y fueron evaluadas las variables agronómicas que se consideraron necesarias para estimar el rendimiento en toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ).

#### **2.4. Experimento 1. Efecto de la poda de *Jatropha curcas* L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios.**

El diseño empleado fue de bloques al azar y cuatro réplicas por tratamiento. Se dimensionaron parcelas experimentales de 240 m<sup>2</sup> conformadas por 20 plantas. En el área de cálculo se utilizaron seis plantas ubicadas en el centro de la parcela que correspondían a 72 m<sup>2</sup> (anexo 3) y se evaluaron 24 plantas por tratamiento.

En el mes de febrero del 2013 (Echeverría *et al.*, 2013) se realizaron diferentes podas en las parcelas experimentales, que constituyeron cinco tratamientos, para un total de 20 parcelas.

Los tratamientos fueron:

- T1: control sin poda
- T2: poda a 50 cm sobre la base del suelo sin dejar ramas

- T3: poda a 50 cm sobre la base del suelo dejando dos ramas primarias
- T4: poda a 100 cm sobre la base del suelo sin dejar ramas
- T5: poda a 100 cm sobre la base del suelo dejando dos ramas primarias

Estas podas se realizaron solamente una vez en el período experimental y para ello se utilizó una motosierra. En todo momento el suelo se mantuvo libre de plantas arvenses.

### **2.5. Experimento 2. Efecto de la fertilización química nitrogenada en *Jatropha curcas* L. intercalada con cultivos alimenticios.**

En este experimento se utilizó un diseño de bloques al azar, el factor de estudio fue la fertilización química nitrogenada, para ello se evaluaron tres dosis, cada una replicada cuatro veces, para un total de 12 parcelas, las cuales tenían una dimensión de 240 m<sup>2</sup> conformadas por 20 plantas. En el área de cálculo se utilizaron seis plantas ubicadas en el centro de la parcela que correspondían a 72 m<sup>2</sup> (anexo 3) y se evaluaron 24 plantas por tratamiento.

Los tratamientos fueron:

- T1: Sin aplicación de fertilizante químico nitrogenado (control)
- T2: 300 kg de N ha<sup>-1</sup>
- T3: 600 kg de N ha<sup>-1</sup>

El fertilizante empleado fue la urea (46 % de N), se tuvo en cuenta las dosis según los tratamientos. Las aplicaciones se realizaron cada año, de manera fraccionada, 50 % en el mes de mayo y 50 % en octubre, para garantizar que las precipitaciones mantuvieran la humedad en el suelo, lo cual coincidió con el inicio de los dos momentos de floración que



tiene la especie. Estas se depositaron alrededor de la base del tallo y fueron enterradas en el suelo con la ayuda de un azadón.

Las labores de mantenimiento y el manejo de la plantación fueron similares a las del experimento 1.

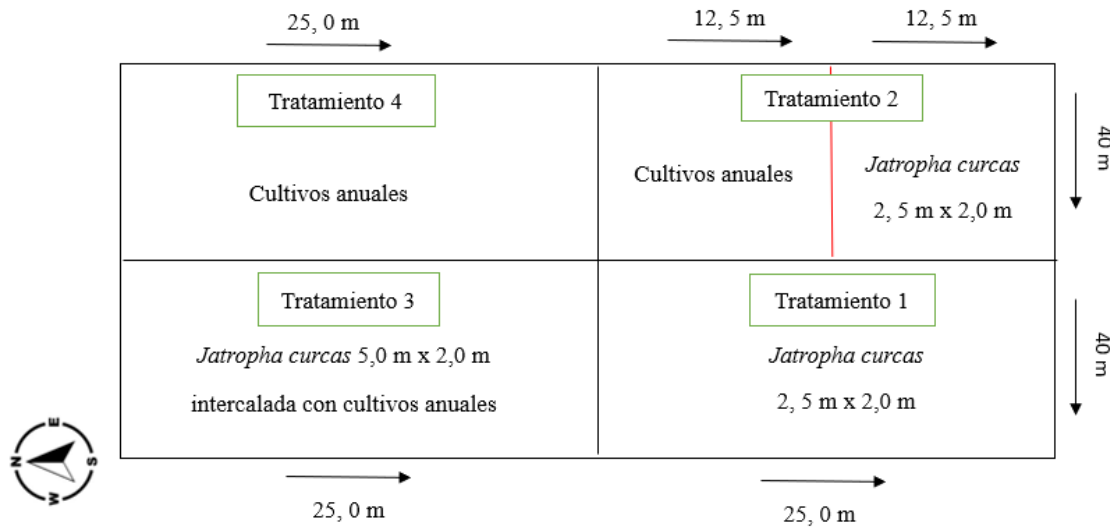
### **2.6. Experimento 3. Efecto de diferentes arreglos espaciales en *Jatropha curcas* L. intercalada con cultivos alimenticios.**

En el experimento 3 se estudiaron cuatro tratamientos y se empleó un modelo cuasi-experimental debido a que los tratamientos estaban localizados en parcelas no aleatorizadas (Sampiere, citado por Guedes, 2010), se consideraron como repeticiones, 15 plantas de *Jatropha* en cada parcela.

Los tratamientos fueron:

1. *Jatropha curcas* (Jc) en monocultivo, sembrada a 2,5 m entre surcos y 2,0 m entre plantas. Compuesto por diez surcos.
2. 50 % del área con *Jatropha curcas* (Jc) sembrada a 2,5 m entre surcos y 2,0 m entre plantas, compuesto por cinco surcos y 50 % del área sembrada de cultivos alimenticios en rotación.
3. *Jatropha curcas* (Jc) intercalada con cultivos alimenticios en rotación sembrada a 5,0 m entre surcos y 2,0 m entre plantas. Compuesto por cinco surcos de la arbórea.
4. Sembrada de cultivos alimenticios en rotación.

El factor en estudio fue el arreglo espacial el cual se evaluó para introducir *Jatropha* en diferentes sistemas agroenergéticos (Figura 2).



**Figura 2. Esquema de distribución de los arreglos espaciales en el campo.**

## 2.7. Procedimiento para el manejo de los cultivos alimenticios intercalados.

### 2.7.1. Características de la siembra del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Se utilizaron semillas de la variedad Cuba-Cueto 25-9 de color negro. La siembra se realizó directamente en el campo, se empleó la distancia de 0,70 m entre surcos y 0,05 m entre plantas (MINAG, 2009). La cosecha se realizó de forma manual, aproximadamente a los 90 días (CIAT, 1984).

En los experimentos 1 y 2 se sembró el frijol en el mes de diciembre de cada año dentro del período del experimento (2013, 2014 y 2015). En la siembra quedaron dispuestos seis surcos de la leguminosa entre dos surcos de *Jatropha*, separados de la arbórea en los extremos a 0,90 m (anexo 4), para un total de 18 surcos en cada parcela.

En el experimento 3 se sembró el frijol en diciembre del 2016 y 2018. Los arreglos espaciales para la asociación estuvieron determinados de la siguiente forma (anexo 5):

Tratamiento 1: *Jatropha curcas* (Jc) en monocultivo

Tratamiento 2: 50 % del área sembrada de *Jatropha curcas* (Jc) más 50 % con frijol a una distancia de  $0,70 \times 0,05$  m, para un total de 17 surcos.

Tratamiento 3: *Jatropha curcas* (Jc) intercalada con frijol. Entre dos surcos de Jc fueron sembrados cinco surcos de la leguminosa, a una distancia de  $0,70 \times 0,05$  m, los surcos de los extremos quedaron separados de la arbórea a 0,75 m.

Tratamiento 4: frijol sembrado en toda el área, a una distancia de  $0,70 \times 0,05$  m, para un total de 35 surcos (frijol en monocultivo).

### **2.7.2. Características de la plantación del boniato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]**

Se utilizó la variedad INIVIT B 98-2. La plantación se realizó a partir de esquejes que median de 25 a 30 cm de longitud, los cuales se depositaron a una distancia de 0,90 m entre surcos y 0,30 m entre plantas. En cada momento la cosecha se llevó a cabo a los 150 días aproximadamente, después de culminar el ciclo vegetativo del cultivo y fueron colectados todos los tubérculos (MINAG, 2012).

En los experimentos 1 y 2 se plantó boniato en el mes de junio de 2013 y nuevamente en el 2015. En la plantación quedaron dispuestos cinco surcos del cultivo alimenticio entre dos surcos de *Jatropha*, separados de la arbórea a 0,75 m en cada extremo (anexo 6), para un total de 15 surcos en cada parcela.

En los años 2017 y 2019 se plantó el boniato en el mes de junio en el experimento 3. Los arreglos espaciales se realizaron en cada caso según la forma de asociación (anexo 7):

Tratamiento 1: *Jatropha curcas* (Jc) en monocultivo

Tratamiento 2: 50 % del área sembrada de *Jatropha curcas* (Jc) más 50 % con boniato a una distancia de  $0,90 \times 0,30$  m, para un total de 13 surcos.

Tratamiento 3: *Jatropha curcas* (Jc) intercalada con boniato. Entre dos surcos de Jc fueron sembrados cuatro surcos de boniato, a una distancia de  $0,90 \times 0,30$  m, los surcos de los extremos quedaron separados de la arbórea a 0,70 m.

Tratamiento 4: boniato sembrado en toda el área, a una distancia de  $0,90 \times 0,30$  m, para un total de 27 surcos (boniato en monocultivo).

### **2.7.3. Características generales de la siembra de la calabaza (*Cucurbita moschata* Duch).**

Se utilizó la variedad INIVIT C-88. En la siembra se depositaron dos semillas por hoyo, posteriormente cuando emergieron de 2 a 3 hojas por planta, se realizó un raleo y se eliminó la más débil en cada caso. La cosecha sucedió después de transcurridos entre 120 y 150 días, en la medida que los frutos alcanzaban la madurez técnica, es decir al tomar la coloración amarilla la parte que estaba en contacto con el suelo (MINAG, 2007).

En el mes de mayo del 2014 se sembró la calabaza en los experimentos 1 y 2, intercalada con *Jatropha* a una distancia de  $6 \times 1$  m, por lo que quedó un surco del cultivo alimenticio entre dos surcos de la arbórea (anexo 8).

En el experimento 3 se sembró la calabaza en el mes de marzo del año 2019. Se utilizó como distancia de siembra  $5 \times 1$  m. Para cada arreglo espacial varió la forma de asociación de la siguiente forma (anexo 9):

Tratamiento 1: *Jatropha curcas* (Jc) en monocultivo.

Tratamiento 2: 50 % del área sembrada de *Jatropha curcas* (Jc) más 50 % con calabaza para un total de 2 surcos.

Tratamiento 3: *Jatropha curcas* (Jc) intercalada con calabaza. Entre dos surcos de Jc se sembró 1 surco de calabaza, a una distancia de  $5 \times 1$  m que quedó dispuesto en el centro de las calles de la arbórea.

Tratamiento 4: calabaza sembrada en toda el área, a una distancia de  $5 \times 1$  m, para un total de cinco surcos (calabaza en monocultivo).

## **2.8. Evaluaciones y determinaciones realizadas en el cultivo de *Jatropha curcas* L.**

Las evaluaciones se realizaron en cada año teniendo en cuenta los dos períodos de fructificación de *J. curcas* para las condiciones climáticas de Cuba, que son entre julio a septiembre y de diciembre a febrero, los cuales coinciden con los períodos lluvioso y poco lluvioso. Para llevar a cabo las mediciones morfológicas y productivas se tomó como base la metodología propuesta por Campuzano (2009). Las variables en que no se identificó el experimento fueron comunes para todos los experimentos.

### **2.8.1. Variables morfológicas**

Las variables morfológicas se midieron en cada período de cada año, cuando la planta comenzaba la fase de reproducción: un mes antes de cada fructificación, en junio (PLL) y en noviembre (PPLL).

- Altura (cm): Se midió desde la base de la planta hasta el ápice del tallo principal, con una regla graduada.
- Grosor del tallo. Este indicador se midió con una cinta métrica, a una altura de 10 cm a partir de la superficie del suelo.
- Diámetro de la copa (cm): con el uso de una cinta métrica se midió la longitud horizontal que proyectaba la copa del árbol en el suelo.

-Número de ramas: Se contó la cantidad de ramas insertadas a partir del tallo principal.

### **2.8.2. Variables productivas**

Las evaluaciones de las variables productivas se llevaron a cabo cuando las plantas se encontraban en fructificación.

Las cosechas se realizaron de forma escalonada, en la medida que los frutos tomaban una coloración amarilla o negra y se realizaron en los meses de julio a septiembre (PLL) y de diciembre a febrero (PPLL) de cada año, en todos los experimentos. Estas fueron:

-Cantidad de racimos: Se contó el total de racimos formados en cada planta.

-Total de frutos cosechados: Se contó la cantidad de frutos colectados en cada cosecha. El número de cosechas en cada período estuvo determinado por el nivel de maduración de los frutos. Al finalizar cada período, se sumaron todos los frutos cosechados por planta.

-Total de semillas cosechadas: Se contó la cantidad de semillas que tenían cada fruto cosechado por planta.

-Rendimiento de los frutos ( $t\ ha^{-1}$ ): Fue estimado teniendo en cuenta la cantidad de frutos cosechados, su peso y la densidad de plantas por hectárea.

-Eficiencia biológica del uso del policultivo, experimento 3: esta variable se calculó para determinar la factibilidad de cada arreglo espacial evaluado. Para ello se tuvo en cuenta el índice equivalente del uso de la tierra (UET) mediante la ecuación propuesta por Casanova *et al.* (2001):

$$UET = \frac{Px}{Ux} + \frac{Py}{Uy}$$

Donde:

Px: rendimiento del cultivo x en policultivo; Ux: rendimiento del cultivo x en monocultivo;  
Py: rendimiento del cultivo y en policultivo; Uy: rendimiento del cultivo y en monocultivo;  
Si:  $UET > 1$ , el policultivo es ventajoso;  $UET < 1$ , no es ventajoso;  $UET = 1$ , resulta indiferente el modo de sembrar.

### **2.8.3. Composición química de hojas y frutos**

-Determinaciones de las concentraciones de N P K en las hojas y los frutos de *J. curcas*, experimento 2: Las muestras fueron tomadas en la última cosecha que se llevó a cabo en el estudio, durante el PPLL. Para ello se colectaron las hojas y los frutos de las seis plantas del área de cálculo en cada parcela (24 plantas por tratamiento).

Los muestreos foliares y de los frutos se realizaron por la metodología propuesta por Olarte *et al.* (2000), que consistió en tomar muestras formadas por 90 hojas y frutos de tamaño similar (15 por árbol, seis árboles por parcela). Las muestras de las hojas fueron tomadas en ramas comprendidas a partir del quinto nudo del ápice, a una altura aproximada de 1,70 m del suelo, con iluminación total y distribuidas en los cuatro puntos cardinales del árbol. Las muestras se tomaron entre las 6:00 y 9:00 h, se guardaron en bolsas de papel etiquetadas durante su transporte al laboratorio. Las muestras de los frutos fueron tomadas al final de la etapa de cosecha, se garantizó que los mismos tuvieran una coloración negra.

Posteriormente las muestras fueron lavadas con agua destilada, se pusieron sobre papel absorbente y se secaron a 70°C en una estufa con circulación forzada de aire. Seguidamente se molinaron y se tamizaron en una malla de 20.

La concentración de N, P, K se determinó como porcentaje de la masa seca de las hojas y los frutos por los siguientes métodos:

- Nitrógeno (N): digestión húmeda con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + Se y determinación colorimétrica con el reactivo de Nessler (AOAC, 2016).
- Fósforo (P): conversión de la forma de fósforo de interés a ortofosfato disuelto y determinación colorimétrica con el reactivo molibdato de amonio (AOAC, 2016).
- Potasio (K): se determinó por fotometría de llama (AOAC, 2016).

Posteriormente se calculó la extracción de nutrimentos realizada en la cosecha, a partir de las concentraciones de los elementos químicos evaluados en las semillas y el rendimiento, mediante la fórmula:

$$\text{Extracción de nutrientes} = \text{rendimiento (t ha}^{-1}\text{)} \times \% \text{ elemento} \div 100$$

## **2.9. Rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) de los cultivos alimenticios**

Para los experimentos 1 y 2 se tuvo en cuenta el área de cálculo en cada cultivo asociado, para ello se tomaron los surcos centrales de cada parcela y se desecharon los metros iniciales y finales de cada surco, en función de las distancias de siembra o plantación empleadas.

Para calcular el rendimiento en el experimento 3 se consideraron como repeticiones, cinco muestras en cada faja. El tamaño de cada muestra fue de un metro lineal y dos surcos en frijol y boniato, para la calabaza se tomó un solo surco. En todos los casos se calculó el rendimiento en t ha<sup>-1</sup> a partir del marco de siembra o plantación empleado.

## **2.10. Análisis estadístico**

En los tres experimentos se analizó primeramente la relación entre las variables morfológicas y productivas. Para ello se utilizó la estadística multivariada, por el método de análisis de componentes principales (ACP) y la interpretación de los resultados se



representó a través de un gráfico Biplot (Gabriel, 1971), donde los tratamientos de cada experimento, fueron ploteados teniendo en cuenta en cada caso los tres años de evaluación y dentro de estos los períodos poco lluviosos (PPLL) y lluviosos (PLL).

Para los experimentos 1 y 2 se realizó un análisis de varianza para cada año y época (PPLL y PLL), en las variables rendimiento de los frutos (RF) y de los cultivos asociados. En cada caso se verificó previamente la normalidad de la distribución de los datos por la prueba modificada de Shapiro Wilk, y la homogeneidad de varianza utilizando la prueba de Levene. La comparación de las medias se realizó a través de la prueba de comparación múltiple de Duncan (1955) a  $p \leq 0,05$ . Además, se utilizaron intervalos de confianza en RF para describir el comportamiento entre los períodos estudiados.

En el experimento 3, el rendimiento de los frutos y de los cultivos asociados se analizaron mediante la interpretación de los intervalos de confianza para un nivel de confianza del 95 %.

Todos los análisis fueron realizados a través del paquete estadístico InfoStat 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2011).

### **2.11. Análisis económico.**

La valoración económica de los resultados del experimento 3 se realizó sobre la base de la metodología propuesta por la FAO (2002), y se evaluaron los siguientes indicadores:

**Valor de la producción** (valor total de la producción en \$ ha<sup>-1</sup>): rendimiento del cultivo multiplicado por el precio de venta de una tonelada del producto.

El precio de venta de *J. curcas* se calculó teniendo en cuenta el margen de utilidad a partir de la siguiente fórmula:

Precio de venta= Costo de producción+(Costo de producción×20 %)

El precio de venta de los cultivos asociados se obtuvo a partir de los datos ofrecidos por la Delegación Municipal de la Agricultura de Colón (2022) (anexo 10).

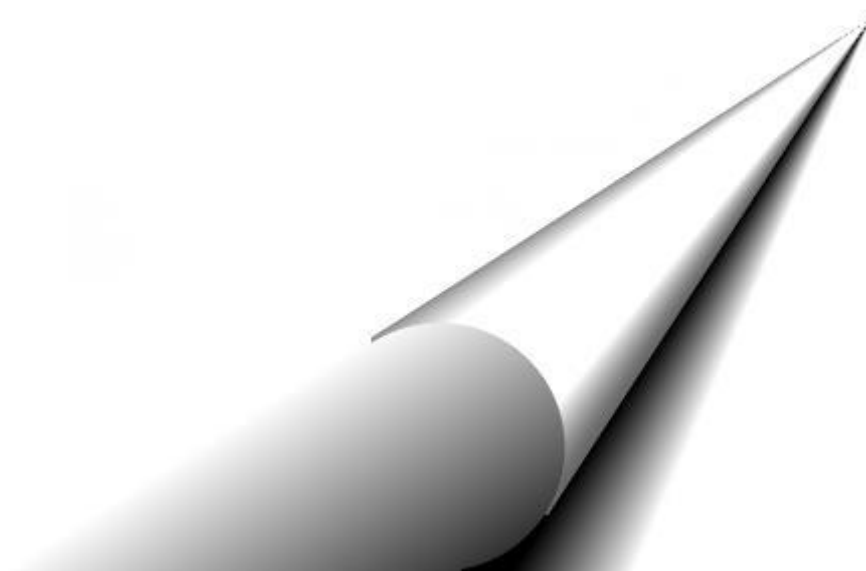
**Costos de producción por hectárea** (costo total en \$ ha<sup>-1</sup>): se tomó el oficialmente establecido en la Ficha de Costo de cada cultivo (anexos 11 A, B,C, D, E, F, G, H e I) (EPPFIH, 2022).

**Ganancia** (\$ ha<sup>-1</sup>): diferencia entre el valor de la producción y los costos de producción.

**Relación V/C** = Valor de la producción/costos de producción

Valores de la relación V/C mayores a 1 indican el aporte de ganancia y un valor de 2 la obtención de un beneficio del 100 %. Valores de 3 o superiores corresponden a ganancias muy notables.

*Capítulo 3.*  
*Resultados y Discusión*



## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Experimento 1. Efecto de la poda de *Jatropha curcas* L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios.

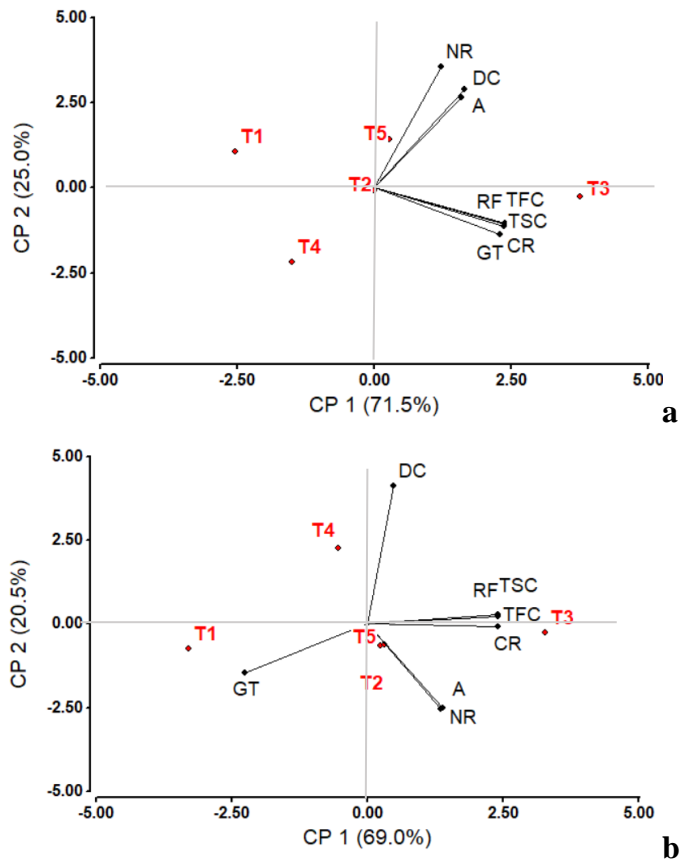
#### 3.1.1. Resultados

En la figura 3 (a) se muestran las componentes principales de las variables morfológicas y productivas durante el primer año del período poco lluvioso (PPLL) representadas a través de un gráfico biplot.

Se detectó una varianza acumulada del 96,5 % con la suma de las dos componentes. En la primera componente (CP1) se explicó el 71,5 % de la varianza y en su formación contribuyó el grosor del tallo (GT), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF); mientras que la segunda componente (CP2) extrajo el 25 % de la varianza y estuvo explicada fundamentalmente por el número de ramas (NR), el diámetro de la copa (DC) y la altura de la planta (A). Para todas las variables se obtuvieron los mayores valores al podar a 50 cm de altura dejando dos ramas (T3).

En el biplot correspondiente al período lluvioso (PLL) del primer año (figura 3 b) se detectó el 89,5 % de la varianza acumulada y la primera componente (CP1) extrajo el 69 % de esta. Las variables que mejor explicaron este porcentaje fueron la altura (A), el número de ramas (NR), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de

semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF) los cuales estuvieron relacionadas positivamente y se alcanzaron los valores más altos al podar a 50 cm dejando dos ramas (T3). El grosor del tallo (GT) también estuvo representado en dicha componente pero interactuó de forma negativa con las variables anteriores.



**Figura 3. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de la poda en *Jatropha curcas* L. en el primer año de evaluación a) período poco lluvioso b) período lluvioso.** (T1: tratamiento sin poda, T2: poda a 50 cm de altura, T3: poda a 50 cm de altura dejando dos ramas, T4: poda a 100 cm de altura y T5: poda a 100 cm de altura dejando dos ramas). A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.

La segunda componente (CP2) explicó el 20,5 % de la variabilidad y solamente el diámetro de la copa (DC) contribuyó en su formación, para la cuál se obtuvo los mayores valores al podar a 100 cm de altura (T4).

Para el período poco lluvioso del segundo año de evaluación (figura 4 a) se obtuvo una variabilidad del 85,1 % explicada en las dos componentes (CP1 68,6 % y CP2 16,5 %).

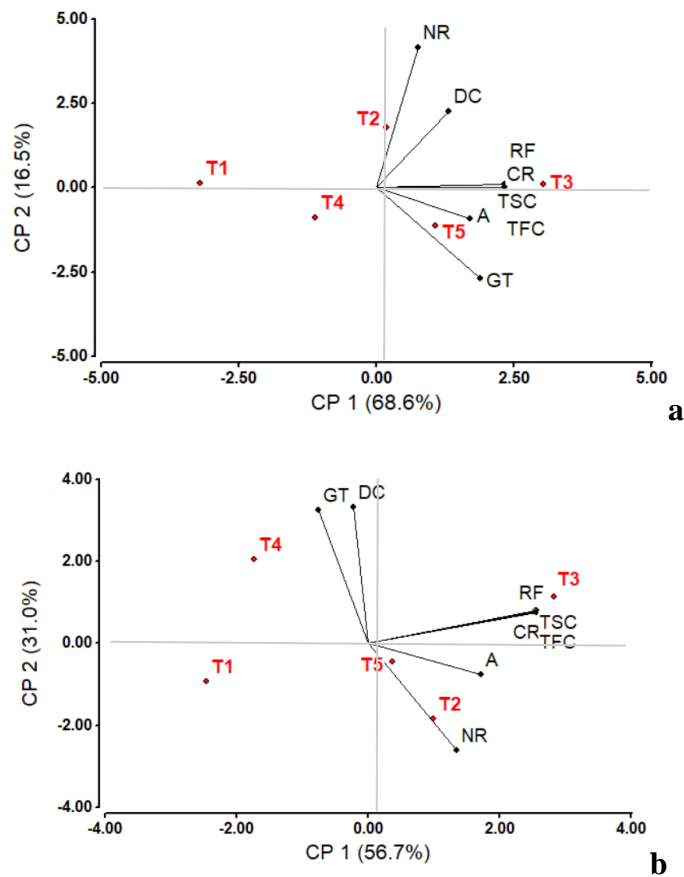
Las variables morfológicas como la altura (A), el diámetro de la copa (DC) y el grosor del tallo (GT), junto a las productivas: cantidad de racimos (CR), total de frutos (TFC) y de semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF) contribuyeron en la formación de la primera componente.

Con respecto a la segunda componente (CP2), se extrajo el 16,5 % de la varianza, en este eje se explicó solamente el número de ramas (NR). Los mayores valores para todas las variables se obtuvieron al utilizar las podas a 50 cm dejando dos ramas (T3).

Con respecto al PLL del segundo año de evaluación (figura 4 b) se explicó el 87,7% de la variabilidad con la suma de las dos componentes representadas en cada eje.

En la CP1 se extrajo el 56,7 % de la varianza y contribuyeron en su formación la altura (A), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos, los valores más altos en dichas variables fueron con las podas a 50 cm dejando dos ramas (T3).

En la CP2 se explicó el 31 % de la varianza y las variables más relacionadas con este eje fueron el diámetro de la copa (DC), el grosor del tallo (GT) y el número de ramas (NR), la cual interactuó en sentido contrario. Además, para DC y GT los valores fueron altos cuando se podó a 100 cm de altura (T4).



**Figura 4. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de la poda en *Jatropha curcas* L. en el segundo año de evaluación a) período poco lluvioso b) período lluvioso. (T1: tratamiento sin poda, T2: poda a 50 cm de altura, T3: poda a 50 cm de altura dejando dos ramas, T4: poda a 100 cm de altura y T5: poda a 100 cm de altura dejando dos ramas).**

A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.

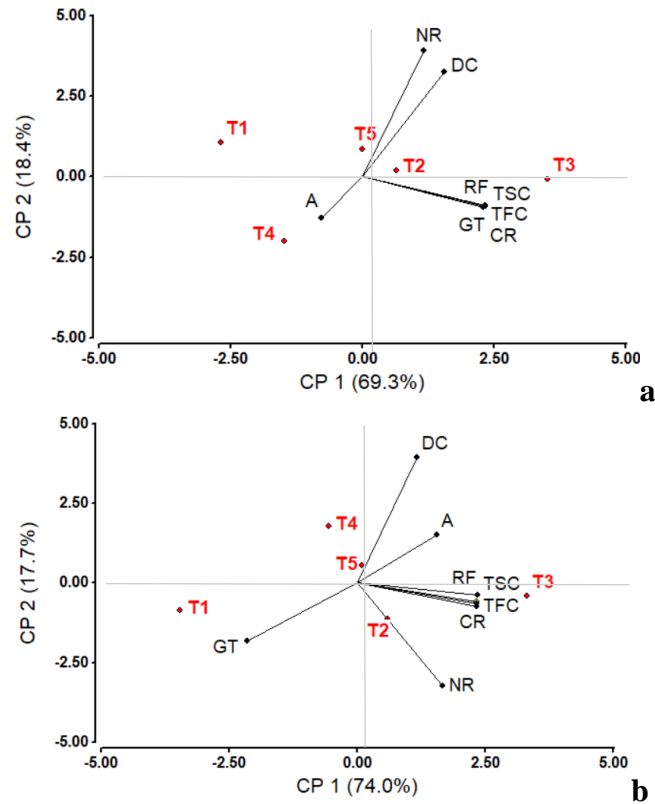
En la figura 5 se representa a través del biplot el análisis de las componentes principales de las variables morfológicas y productivas en *Jatropha curcas* durante el tercer año de evaluación.

En el período poco lluvioso (figura 5 a) se explicó el 87,7 % de la variabilidad total. La primera componente (CP1) extrajo el 69,3 % y contribuyeron en la formación de la misma el grosor del tallo (GT) y todas las variables productivas: cantidad de racimos (CR), total de frutos (TFC) y de semillas cosechadas (TSC) y rendimiento de los frutos (RF), para las que se obtuvieron los mayores valores al podar a 50 cm dejando dos ramas (T3).

En la segunda componente (CP2) se explicó el 18,4 % de la varianza, en dicho eje se relacionaron de forma positiva el número de ramas (NR) y el diámetro de la copa (DC) y en sentido contrario la altura de la planta (A), para esta última se alcanzaron los mayores valores al podar a 100 cm (T4); mientras que para NR y DC fue con T3.

En el período lluvioso (figura 5 b) se muestra a través del biplot que la suma de CP1 y CP2 explicó el 91,7 % de la varianza acumulada. La primera componente extrajo el 74 % y en su formación contribuyeron la altura (A), el número de ramas (NR), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF), para las que se obtuvieron los valores más altos al podar a 50 cm dejando dos ramas (T3). También dentro de esta componente se formó el grosor del tallo (GT) y se relacionó de forma negativa con las variables mencionadas anteriormente. La CP2 extrajo solamente el 17,7 % de la variabilidad y contribuyó en su formación el diámetro de la copa (DC), los mayores valores en dicha variable se alcanzaron al podar a 100 cm (T4).



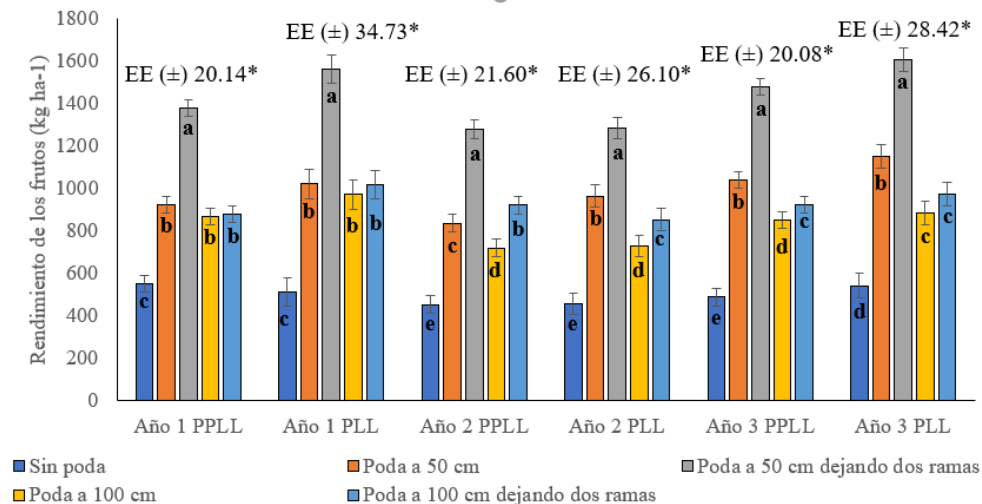


**Figura 5.** Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de la poda en *Jatropha curcas* L. en el tercer año de evaluación a) período poco lluvioso b) período lluvioso. (T1: tratamiento sin poda, T2: poda a 50 cm de altura, T3: poda a 50 cm de altura dejando dos ramas, T4: poda a 100 cm de altura y T5: poda a 100 cm de altura dejando dos ramas).

A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.

Seguidamente, se presentan los resultados del análisis de varianza (figura 6) realizado para el rendimiento de los frutos por la importancia económica que tiene dicha variable (Campuzano *et al.*, 2020) y para conocer el comportamiento productivo en cada momento de evaluación provocado por el efecto de la poda.

Los mayores rendimientos se obtuvieron al realizar los cortes a 50 cm del suelo y dejando dos ramas por planta (T3). Este tratamiento difirió significativamente de los demás ( $p \leq 0,05$ ) en cada período o época, encontrándose medias de 1 380,25 y 1 562,11 kg ha<sup>-1</sup> durante el PPLL y el PLL del primer año, respectivamente.



**Figura 6. Efecto del tipo de poda en el rendimiento de los frutos de *Jatropha curcas* L. durante dos períodos climáticos en tres años de experimentación.**

*Barras con una letra común en cada año y época no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Las líneas verticales indican los intervalos de confianza de cada tratamiento*

En el segundo año, el rendimiento de frutos para T3 fue de 1 277,84 kg ha<sup>-1</sup> (PPLL) y 1 285,01 kg ha<sup>-1</sup> (PLL). Posteriormente, en el tercer año hubo un incremento de estos rendimientos respecto al año anterior, los cuales fueron de 1 477,47 kg ha<sup>-1</sup> en la época poco lluviosa y de 1 604,25 kg ha<sup>-1</sup> en el período lluvioso.

Respecto al rendimiento de los cultivos alimenticios que fueron asociados con *J. curcas* durante el período experimental (tabla 2), no se encontraron diferencias entre los tratamientos, por lo que se pudiera afirmar que esta variable no fue influenciada por el manejo de la poda en el cultivo principal.

**Tabla 2. Efecto de la poda de *Jatropha curcas* L. en el rendimiento de los cultivos intercalados durante el período experimental.**

Tratamientos	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )					
	Frijol			Boniato		Calabaza
	2013	2014	2015	2013	2015	2014
<b>T1</b>	1,95	2,30	2,06	7,33	8,99	13,77
<b>T2</b>	1,91	2,32	1,92	7,85	8,62	12,77
<b>T3</b>	1,97	2,30	2,15	7,86	7,94	13,74
<b>T4</b>	2,03	2,22	2,01	8,01	7,69	14,76
<b>T5</b>	1,89	2,35	2,06	7,26	8,47	13,34
<b>EE <math>\bar{x} \pm</math></b>	0,06 <sup>n.s</sup>	0,06 <sup>n.s</sup>	0,21 <sup>n.s</sup>	0,70 <sup>n.s</sup>	0,69 <sup>n.s</sup>	0,99 <sup>n.s</sup>

*n.s* indica que no hay diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) según Duncan (1955).  
*EE  $\pm$*  indica el error estándar \* $p \leq 0,05$

### 3.1.2. Discusión

Al realizar un análisis global sobre el efecto de la poda de *Jatropha curcas* L. en el comportamiento de las variables productivas es necesario señalar que la cantidad de racimos (CR), el total de frutos (TFC) y semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF), fueron las de mayor importancia, ya que en cada momento evaluado contribuyeron en la formación de la primera componente (figuras 3, 4 y 5) y ello demostró el alto grado de relación existente entre ellas.

Para estas variables, los mayores valores se obtuvieron con el tratamiento a 50 cm de altura de poda dejando dos ramas sin cortar (T3), ello indica que dichas plantas tuvieron la capacidad de suministrar los fotoasimilados para el crecimiento de los frutos, función favorecida por las ramas que no se podaron (Ardila *et al.*, 2015), asociado también a los cortes bajos (50 cm vs 100 cm), que pudo estimular la traslocación de los nutrientes de manera más efectiva, ya que mediaba menos distancia entre las raíces y la región aérea (Rodríguez, 2019).

En correspondencia, se ha comprobado en otros cultivos como *Solanum quitoense* Lam. que al dejar varias ramas sin podar, es posible incrementar la formación de racimos por planta ya que una hoja puede llenar hasta 8 frutos por racimo floral (Ardila *et al.*, 2015) por tanto, el desarrollo de racimos y cuajado de los frutos dependerá del número de hojas presentes en cada rama, no obstante, vale la pena señalar que en dicho proceso pueden influir además varios factores bióticos y abióticos (Lama *et al.*, 2018b).

También Zamarripa y Solís (2013) encontraron en *Jatropha curcas* una alta correlación significativa entre el número de frutos y el rendimiento, lo cual demostró la importancia que tienen estas variables productivas al realizar dichas prácticas de poda.

Por otra parte, el tratamiento control (T1) en el que no se aplicó poda, tuvo una incidencia negativa en las variables mencionadas anteriormente (figuras 3, 4 y 5), ello sucede porque no se estimula el crecimiento de las yemas florales (Ardila *et al.*, 2015) y por tanto se limita el flujo de las auxinas sintetizadas en el ápice hacia los brotes laterales (Lallana y Lallana, 2017).

Resultados similares han sido reportados por Moreira *et al.* (2019) quienes obtuvieron mayor cantidad de frutos en los tratamientos que se aplicaron podas con respecto a los que no se aplicó.

Por otra parte, la relación positiva encontrada entre el total de frutos (TFC) y semillas cosechadas (TSC), para todos los períodos de evaluación, se debe a que más del 70 % de la población de *Jatropha curcas* procedencia Cabo verde, desarrollan frutos con tres semillas y por ello se considera que ambas variables son directamente proporcionales (Machado y Suárez, 2009).

Otro aspecto de notable interés fue el relacionado con los rendimientos de los frutos (figura 6), en los que se encontraron diferencias significativas entre todos los tratamientos.

De acuerdo con los resultados presentados en la figura antes mencionada, se consideró que, con los cortes a 50 cm dejando dos ramas (T3) se conforma la bifurcación adecuada que permite el desarrollo de yemas florales que posteriormente se convierten en frutos (Díaz, 2015), asociado además a las ramas que no se podaron, cuyos órganos foliares garantizaron a través de la función fotosintética el crecimiento, desarrollo y producción, ya que los mayores rendimientos de los frutos correspondieron a este tratamiento.

En *J. curcas* es posible aumentar el número de rebrotes productivos a través de la poda (Góngora *et al.*, 2018), los cuales posteriormente pueden influir en la floración y fructificación (Ramos, 2021). Dicho aspecto pudo ser corroborado, ya que los menores rendimientos de los frutos se obtuvieron con el tratamiento control (T1).

Los rendimientos de frutos (RF) obtenidos con T3 fueron similares a los alcanzados por Zamarripa y Solís (2013), pero se consideran inferiores a los reportados por Campuzano *et al.* (2020) los cuales oscilaron entre 1 298 a 6 712 kg ha<sup>-1</sup>.

La estabilidad productiva lograda en cada tratamiento durante el período experimental (figura 6), pudo estar dada por el comportamiento positivo de las plantas cuando se aplican las podas, aunque también pudieron incidir otros factores, como las características edafoclimáticas favorables para la producción, las atenciones culturales realizadas y las evaluaciones llevadas a cabo, con seguimiento continuo, durante todos los períodos de fructificación.

En contraste, varios autores han mencionado que los rendimientos en *Jatropha curcas* no son estables (Lama *et al.*, 2018a; Gangapur *et al.*, 2018). Sin embargo, Suárez *et al.* (2017) consideraron que ello puede estar relacionado con procedimientos erróneos, basados en inferencias realizadas a partir de una o pocas cosechas, en cuya especie predomina la alogamia y la alta variabilidad (Hawkins y Wigglesworth, 2017).

Dichas características pudieron determinar el comportamiento de la altura (A), el diámetro de la copa (DC), el grosor del tallo (GT) y el número de ramas (NR), ya que se explicaron indistintamente tanto en la primera como en la segunda componente, es decir, debido a la heterogeneidad que presenta esta especie, puede reaccionar de manera diferente según las variaciones de temperaturas y precipitaciones en cada año y por tanto, la expresión de las características morfológicas pueden ser distinta en cada momento (Sama *et al.*, 2018).

Así por ejemplo, el comportamiento expresado por el diámetro de la copa (DC) en cada evaluación pudiera estar asociado a las características caducifolias de *Jatropha curcas*, es

decir, la planta pierde de forma total o parcial las hojas durante determinadas épocas, como estrategia para reducir la pérdida de agua por transpiración y después pueden rebrotar con la aparición de las primeras lluvias (Fernandes, 2013), Además, si se tiene en cuenta que la copa sostiene el tejido fotosintético, es decir a las hojas y las ramas, se ha podido comprobar que al llegar a la senescencia estas caen y se desprenden del árbol (Santos *et al.*, 2012), por tanto, el diámetro de la copa se reducirá en determinados momentos (Laviola *et al.*, 2019).

Los mayores valores para el grosor del tallo (GT) al podar a 50 cm dejando dos ramas (T3) en el período poco lluvioso del primer, segundo y tercer año (figuras 3a, 4a y 5a) corroboran los criterios planteados por Abanto *et al.* (2011), quienes mencionan que mientras el corte se realiza a menor longitud del suelo, la respuesta se orienta al engrosamiento del tallo, ya que este órgano puede servir de almacén de reserva de varios compuestos orgánicos y también pudo estar determinado por la captación de los recursos minerales, hídricos y hormonales a partir de las ramas que se dejaron sin cortar; por tanto, puede que la competencia generada para realizar las funciones fisiológicas de la planta sea menor (Agustí, 2013). En cambio, para los tratamientos en los que se aplicó la poda sin dejar ramas (T2 y T4), la planta se ve obligada a utilizar las reservas acumuladas en el tallo y por ello el grosor del mismo será menor.

Al respecto, también se ha comprobado que, en otras arbóreas como el aguacate (*Persea americana* Mill.), las podas ejercen un efecto significativo en el aumento del grosor del tallo. En este sentido, Darrouy *et al.* (2010) plantearon que ello se debe al aumento en el grosor del *cambium* interfascicular y fascicular, dicha actividad en el *cambium* vascular

permite que el árbol aumente su diámetro, al agregar capas sucesivas de floema y xilema secundarios cuando se realizan cortes. En consecuencia, las podas aumentan el contenido de citocininas con relación al de auxinas y la actividad mitótica del tejido cambial es mayor, lo que induce al rejuvenecimiento y a la formación de los tejidos y de las capas en la base del tallo (Hartmann *et al.*, 1996).

Con respecto a la altura (A) se esperaba que las plantas no alcanzaran los mayores valores obtenidos con las podas a 50 cm del suelo dejando dos ramas (T3) y también al realizar los cortes a 100 cm (T4) (figura 5a), ya que, al no aplicar podas, las plantas deben alcanzar mayor altura porque el cultivo no sufre ninguna manipulación y por tanto, la tendencia natural es seguir su ritmo normal de crecimiento (Manrique, 2013).

También se constató que el número de ramas estuvo relacionado de forma positiva con las variables productivas, aunque de manera más estrecha durante el período lluvioso del primer y tercer año (figuras 3b y 5b). Es importante resaltar que dicho comportamiento llamó la atención, ya que para ambos momentos, las precipitaciones fueron superiores (1280 y 1117,4 mm para el PLL del primer y tercer año, respectivamente) a la media histórica (1082,6 mm) de los años que antecedieron la investigación. Al respecto, es conocido que abundantes lluvias pueden incidir en la caída de las flores y los frutos al ser desprendidas del árbol; sin embargo, es posible que las precipitaciones estuvieran distribuidas durante varios días y por tanto no se afectara dicha etapa fenológica.

En correspondencia con los aspectos planteados anteriormente, se considera que el comportamiento morfológico de la planta está en dependencia de la fusión de diversos factores genéticos, biológicos y ambientales en los cuales no se han realizado suficientes



estudios. Además, la productividad de la especie puede estar mayormente determinada por el manejo agronómico (podas) y la relación con dichos factores y en menor grado con las variables morfológicas (Echeverría *et al.*, 2013).

Con relación a los cultivos asociados (tabla 2), se consideró que los rendimientos obtenidos para el frijol fueron superiores a la producción promedio de este grano en Cuba, los cuales oscilan entre 900 y 1 100 kg ha<sup>-1</sup> en sistemas de monocultivo (ONEI, 2021). No obstante, estuvieron por debajo de los reportados para la variedad Cuba Cueto 25-9 Negro que tiene un rendimiento potencial de 3,3 t ha<sup>-1</sup> (Calero *et al.*, 2018).

Dichos rendimientos también varían en dependencia de las condiciones geográficas y ambientales, así como del cultivar que se emplee. Al respecto, Izquierdo *et al.* (2018) y Martínez *et al.* (2020) obtuvieron en las localidades de Pinar del Río y Villa Clara, Cuba, rendimientos superiores a 1,5 t ha<sup>-1</sup> con los cultivares BAT 304, CUL 156, Buenaventura y Delicias 364. Sin embargo, Domínguez *et al.* (2019) obtuvieron producciones superiores a las 2,0 t ha<sup>-1</sup> en localidades de Matanzas, Cuba.

Para el boniato y la calabaza los rendimientos se consideraron aceptables al compararlos con los reportados en otros estudios para las condiciones de Cuba. Al respecto Hernández *et al.* (2018) obtuvieron valores superiores, de 13,9 t ha<sup>-1</sup> en el cultivo del boniato. Los informados por la ONEI (2018) para la provincia de Pinar del Río, oscilaron entre 5,7 a 7,5 t ha<sup>-1</sup>, similares a los alcanzados en este estudio. No obstante, la media de producción del país está en el rango de 6,8 a 12,6 t ha<sup>-1</sup>.

En cuanto a la asociación de la calabaza, los rendimientos obtenidos fueron superiores a los alcanzados por otros autores. Al respecto Aguilar *et al.* (2019) determinaron que en

policultivos de maíz-frijol-calabaza la producción fue de 1 840,27 kg ha<sup>-1</sup> y para maíz-calabaza fue de 3 715,27 kg ha<sup>-1</sup> las cuales fueron superiores a los rendimientos que alcanzaron para la calabaza en monocultivo.

También Cárdenas (2012) obtuvo valores inferiores comparado a los obtenidos en este estudio, al utilizar calabaza con intercalamiento de soya y ajonjolí, cuyos rendimientos en el cultivo principal fueron de 6,27 t ha<sup>-1</sup>. Ello pudo estar determinado por las especies empleadas en la asociación, las cuales deben haber establecido mayor competencia por el espacio, la luz y los nutrimentos.

En este sentido, es necesario destacar que cuando se intercala un cultivo con otro, lo más importante es obtener los rendimientos mayores en el cultivo principal, sin descartar la posibilidad de obtener buenos rendimientos en el cultivo secundario, por ello deben analizarse dichas asociaciones para obtener beneficios económicos deseados del agroecosistema, además de lograr el eficiente uso del suelo.

En los policultivos generalmente, el rendimiento de un cultivo es altamente determinado por su competencia intraespecífica. Al respecto Iverson (2014), afirma que un policultivo suplementario, una sustitución parcial del cultivo principal por otro incrementa su nivel de producción por una reducción de la competencia intraespecífica, dicha diversidad biológica desempeña un papel clave para el funcionamiento de los sistemas campesinos tradicionales (Aguilar *et al.*, 2019).

### **3.2. Experimento 2. Efecto de la fertilización química nitrogenada en *Jatropha curcas***

#### **L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios.**

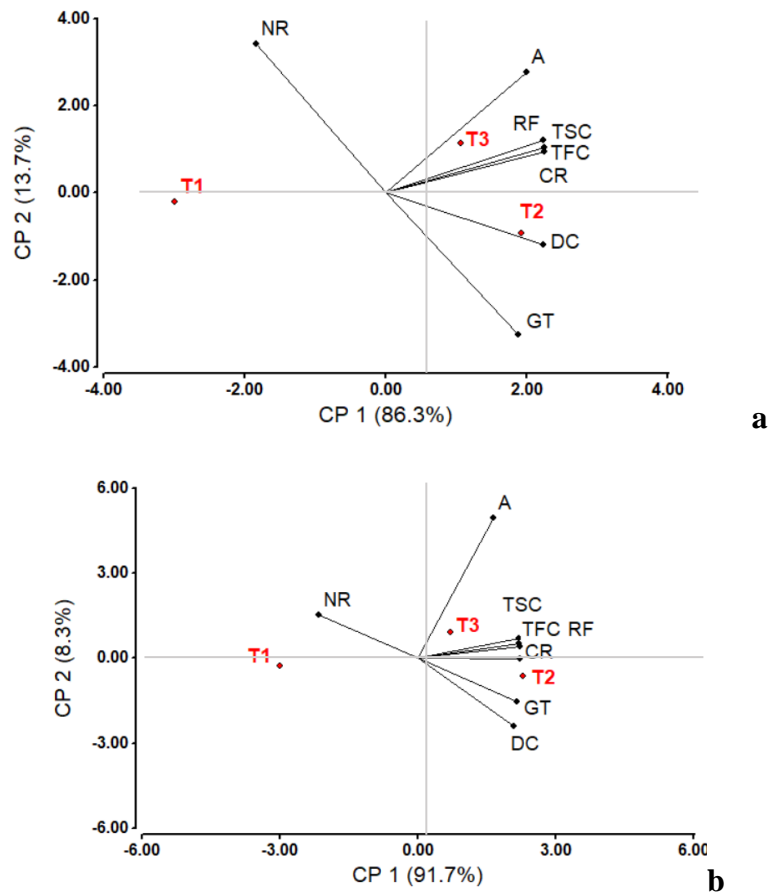
##### **3.2.1. Resultados**

En la figura 7 (a) se observa el gráfico biplot de las componentes principales de las variables morfológicas y productivas formadas en *J. curcas* por efecto de la fertilización química nitrogenada durante el período poco lluvioso del primer año.

Para ese momento se detectó una sola componente (CP1) en la que todas las variables contribuyeron a expresar la varianza extraída (86,3 %) las cuales se relacionaron generalmente de forma positiva, excepto el número de ramas (NR) que interactuó de manera negativa. Con este análisis se corroboró la estrecha relación entre los indicadores.

Con el tratamiento 2, es decir al aplicar 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2), se obtuvieron los mayores valores para el grosor del tallo (GT), el diámetro de la copa (DC), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF).

En el período lluvioso (PLL) el comportamiento fue similar, ya que se formó una sola componente, la cual extrajo el 91,7 % de la varianza total (figura 7 b). En ese momento, todas las variables evaluadas explicaron este porcentaje, en el mismo sentido se encontró la altura (A), el grosor del tallo (GT), el diámetro de la copa (DC), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF), obteniéndose los mayores valores en cada una, al utilizar 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2). Dentro de esta componente también se encontró el número de ramas (NR), la cual interactuó en sentido contrario y los mayores valores fueron alcanzados con el tratamiento control (T1).



**Figura 7.** Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de la fertilización química nitrogenada en *Jatropha curcas* L. en el primer año de evaluación a) período poco lluvioso b) período lluvioso (T1: 0 kg de N ha<sup>-1</sup>, T2: 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, T3: 600 kg de N ha<sup>-1</sup>).

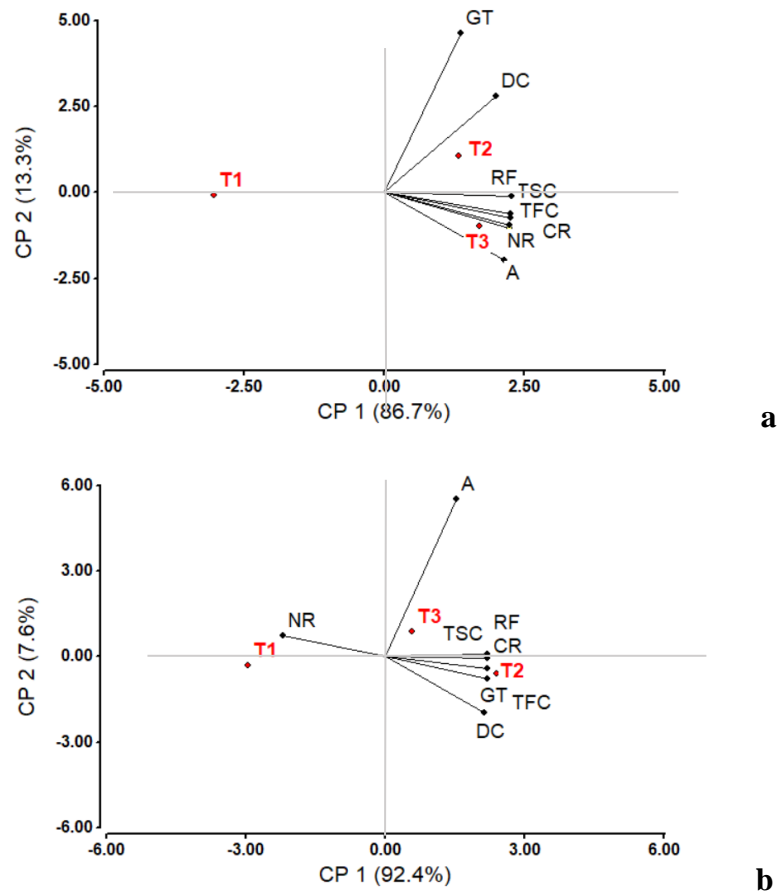
A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.

En la figura 8 (a) se muestra el análisis de las componentes principales (biplot) de las variables evaluadas durante el período poco lluvioso (PPLL) del segundo año de estudio. Se detectó una varianza acumulada del 100 %, con la suma de CP1 (86,7 %) y CP2 (13,3 %). En la formación de la primera componente contribuyeron la altura (A), el diámetro de la copa (DC), el número de ramas (NR), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos (TFC) y semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF); mientras que la segunda componente (CP 2) estuvo explicada principalmente por el grosor del tallo (GT).

Los mayores valores para las variables productivas (CR, TFC, TSC y RF) y las morfológicas (A y NR) se obtuvieron al utilizar la mayor dosis de fertilización química nitrogenada, es decir 600 kg de N ha<sup>-1</sup> (T3). En cuanto al DC y el GT, los valores más altos fueron al aplicar 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2).

En el período lluvioso (PLL) la varianza total acumulada fue de 100% (figura 8 b). Con la primera componente se extrajo el 92,4 %. Las variables que mejor explicaron este porcentaje de variación fueron el diámetro de la copa (DC), el grosor del tallo (GT), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos, para los que se obtuvieron los mayores valores al aplicar 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2), también dentro de esta componente se relacionó el número de ramas (NR) pero de forma negativa con respecto a las variables mencionadas anteriormente y en este caso, se alcanzaron los mayores valores con el tratamiento control (T1), en el que no se utilizó fertilización química.

La segunda componente (CP2) extrajo solamente el 7,6 % de la varianza y en su formación contribuyó la altura de la planta (A).



**Figura 8.** Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de la fertilización química nitrogenada en *Jatropha curcas* L. en el segundo año de evaluación a) período poco lluvioso b) período lluvioso (T1: 0 kg de N ha<sup>-1</sup>, T2: 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, T3: 600 kg de N ha<sup>-1</sup>).

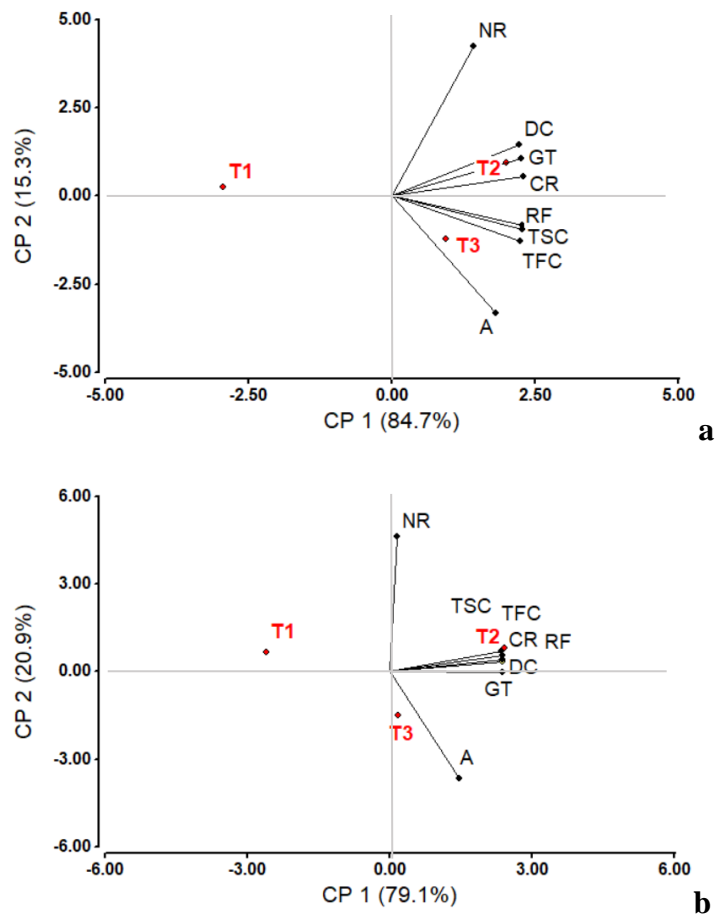
A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.

En el período poco lluvioso del tercer año de evaluación (figura 9 a) se detectó una varianza del 100 %. La primera componente (CP1) extrajo el 84,7 % de la variabilidad, para la formación de la misma contribuyó la altura de la planta (A), el diámetro de la copa (DC), el grosor del tallo, la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF); mientras que en la segunda componente (CP2) el número de ramas (NR) explicó el 15,3 % de la varianza.

Los mayores valores para todas las variables se obtuvieron al aplicar 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2). En el gráfico biplot (figura 9 b) se observa el período lluvioso del tercer año de evaluación, en ese momento también se extrajo el 100 % de la varianza, entre la CP1 (79,1 %) y la CP2 (20,9%).

Las variables que mejor explicaron la primera componente (CP1) fueron el diámetro de la copa (DC), el grosor del tallo (GT), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos (TFC) y semillas cosechadas (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF). Para todas se obtuvieron los mayores valores con la dosis de 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2).

En la segunda componente se relacionaron de forma negativa el número de ramas (NR) y la altura (A), obteniéndose para esta última los mayores valores con 600 kg de N ha<sup>-1</sup> (T3).



**Figura 9.** Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de la fertilización química nitrogenada en *Jatropha curcas* L. en el tercer año de evaluación a) período poco lluvioso b) período lluvioso (T1: 0 kg de N ha<sup>-1</sup>, T2: 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, T3: 600 kg de N ha<sup>-1</sup>).

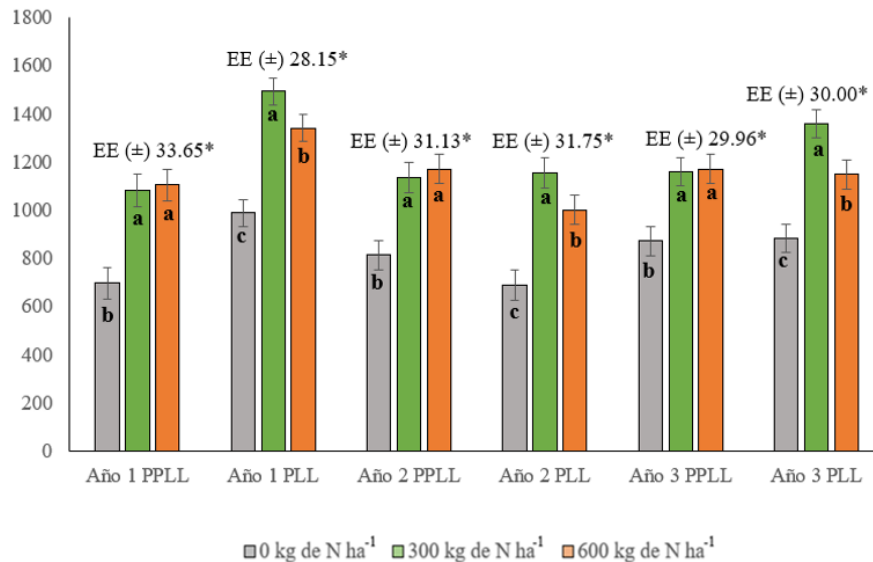
A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.



El rendimiento de los frutos estuvo determinado por el efecto de la fertilización química nitrogenada (figura 10). Para todos los momentos evaluados se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos en los que se realizaron aplicaciones con respecto al control.

La dosis de 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2) fue con la que se encontraron los mayores rendimientos en cada época evaluada, sin diferir de la aplicación de 600 kg de N ha<sup>-1</sup> (T3) durante el PPLL en cada año de estudio.

Es válido destacar que, con las aplicaciones de fertilizantes, las medias fueron superiores a los 1 000 kg de frutos ha<sup>-1</sup> para los tratamientos T2 y T3, lo cual no fue encontrado con el tratamiento control.



**Figura 10: Efecto de la dosis de fertilización química nitrogenada en el rendimiento de los frutos de *Jatropha curcas* L. durante dos períodos climáticos en tres años de experimentación.**

*Barras con una letra común en cada año y época no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Las líneas verticales indican los intervalos de confianza de cada tratamiento.*

En la tabla 3 se muestra la concentración de N P K presentes en las hojas y los frutos al finalizar el período experimental. En todos los casos, el tratamiento control mostró los menores valores de cada macroelemento en ambos órganos de la planta.

Además, la concentración de nitrógeno y de potasio en las hojas fue mayor cuando se utilizó la dosis de 600 kg de N ha<sup>-1</sup> (T3), para un 37,4 y 14,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. En cuanto al fósforo, se detectó mayor concentración en las hojas de las plantas fertilizadas con 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2), con medias de 5,3 g kg<sup>-1</sup>.

Con respecto al nitrógeno encontrado en los frutos, se obtuvieron los mayores valores de 26,4 g kg<sup>-1</sup>, con T3. Para el P y el K las concentraciones más elevadas fueron alcanzadas con T2, para un 1,6 y 18,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabla 3. Concentraciones de N P K (g kg<sup>-1</sup>) en hojas y frutos de *Jatropha curcas* L., al finalizar el período experimental.**

Tratamientos	Hojas			Frutos		
	N	P	K	N	P	K
0 kg de N ha <sup>-1</sup>	21,1 <sup>c</sup>	2,1 <sup>c</sup>	11,2 <sup>c</sup>	12,4 <sup>c</sup>	0,9 <sup>c</sup>	16,5 <sup>c</sup>
300 kg de N ha <sup>-1</sup>	34,8 <sup>b</sup>	5,3 <sup>a</sup>	13,6 <sup>b</sup>	21,2 <sup>b</sup>	1,6 <sup>a</sup>	18,2 <sup>a</sup>
600 kg de N ha <sup>-1</sup>	37,4 <sup>a</sup>	4,3 <sup>b</sup>	14,7 <sup>a</sup>	26,4 <sup>a</sup>	1,4 <sup>b</sup>	17,4 <sup>b</sup>
EE (±)	1,8*	0,2*	0,9*	1,0*	0,1*	0,8*

*Letras distintas indican diferencias significativas  $p \leq 0,05$  según Duncan (1955). EE ± indica el error estándar \* $p \leq 0,05$*

En la tabla 4 se muestran los resultados de la exportación de los minerales realizada por los frutos de *J. curcas* al finalizar el período experimental. Al respecto, se obtuvo que la planta exportó mayor contenido de nitrógeno siempre que fue fertilizada con 300 y 600 kg de N ha<sup>-1</sup>. Además, hubo mayor exportación de P y K en las plantas que fueron tratadas con T2.

Por otra parte, cuando no hubo aplicación de fertilización química nitrogenada (T1) la planta exportó más potasio (14,55 kg ha<sup>-1</sup>) que nitrógeno (10,93 kg ha<sup>-1</sup>).

**Tabla 4. Exportación de N P K (kg ha<sup>-1</sup>) en los frutos de *Jatropha curcas* L., al finalizar el período experimental.**

Tratamientos	Frutos		
	N	P	K
0 kg de N ha <sup>-1</sup>	10,93 <sup>b</sup>	0,79 <sup>c</sup>	14,55 <sup>c</sup>
300 kg de N ha <sup>-1</sup>	28,77 <sup>a</sup>	2,17 <sup>a</sup>	24,71 <sup>a</sup>
600 kg de N ha <sup>-1</sup>	30,28 <sup>a</sup>	1,61 <sup>b</sup>	19,96 <sup>b</sup>
EE (±)	2,40*	0,07*	1,66*

*Letras distintas indican diferencias significativas  $p \leq 0,05$  según Duncan (1955). EE ± indica el error estándar \* $p \leq 0,05$*

En la tabla 5 se aprecia el rendimiento de los cultivos que fueron asociados a *J. curcas*. En esta etapa experimental se comprobó que el efecto de la fertilización aplicada a la arbórea fue significativo ( $p \leq 0,05$ ) solo para el boniato sembrado en el año 2015, ya que se obtuvieron rendimientos superiores al aplicar 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2).

**Tabla 5. Efecto de la fertilización química nitrogenada de *Jatropha curcas* L. en el rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) de los cultivos intercalados durante el período experimental.**

Tratamientos	Frijol			Boniato		Calabaza
	2013	2014	2015	2013	2015	2014
0 kg de N ha <sup>-1</sup>	2,04	2,08	1,64	7,55	7,24 <sup>c</sup>	12,12
300 kg de N ha <sup>-1</sup>	2,07	2,10	1,66	8,07	8,89 <sup>a</sup>	12,42
600 kg de N ha <sup>-1</sup>	2,06	2,07	1,70	8,20	8,17 <sup>b</sup>	12,68
EE (±)	0,03 <sup>n.s</sup>	0,02 <sup>n.s</sup>	0,07 <sup>n.s</sup>	0,75 <sup>n.s</sup>	0,38*	0,73 <sup>n.s</sup>

*Letras distintas indican diferencias significativas  $p \leq 0,05$  según Duncan (1955). EE ± indica el error estándar \* $p \leq 0,05$*

### 3.2.2. Discusión

Conocer las necesidades nutricionales de un cultivo es fundamental para poder recomendar planes de fertilización que contribuyan a aumentar la producción en equilibrio con los

sistemas. Los estudios realizados en este trabajo, constituyen los primeros pasos en Cuba en una especie que se encuentra en proceso de domesticación, aún silvestre, con pretensiones de ser introducida en fincas agroenergéticas diversificadas.

Dentro de los principales macronutrientes, el nitrógeno (N) es considerado el más requerido para suplir las demandas metabólicas de los frutos (Taiz y Zeiger, 2004), en *Jatropha curcas* además, interviene en la formación de las hojas, es esencial para la asimilación del carbono, por ser una planta que tiene una alta tasa de crecimiento y también actúa en la formación de nuevos órganos (Laviola y Dos Santos, 2008). Estos aspectos pudieran explicar el comportamiento encontrado en la mayoría de las variables estudiadas ante el efecto de las aplicaciones del fertilizante nitrogenado.

Como se pudo apreciar, para el diámetro de la copa (DC), el grosor del tallo (GT), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos (TFC) y semillas cosechados (TSC) y el rendimiento de los frutos (RF) se obtuvieron los mayores valores al aplicar 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (T2) en casi todos los momentos evaluados (con excepción del PPLL del segundo año) (figura 8 a), ello indicó que bajo las condiciones que se realizó el estudio, no necesariamente aumentar la dosis de N fue favorable para el desarrollo del cultivo, dicho efecto es conocido como consumo de lujo (Marques *et al.*, 2022b), en el cual la planta puede absorber el nutrimento por encima de la capacidad requerida para sostener el crecimiento, pero no significa que la producción sea mayor (Lambers *et al.*, 1998).

Al respecto, Montenegro (2017) refiere que esta planta demanda grandes cantidades de N y sugiere un suministro superior a 150 kg de N ha<sup>-1</sup> para estimular el crecimiento, desarrollo y la producción de la especie. No obstante, también se han encontrado incrementos

significativos en el diámetro basal del tallo al aplicar dosis menores de 80 kg de N ha<sup>-1</sup> (Patil y Parameshwarappa, 2007).

Los mayores valores obtenidos en las variables mencionadas anteriormente, al aplicar 600 kg de N ha<sup>-1</sup> (T3) en el período poco lluvioso del segundo año de evaluación (figura 8 a), pudieron estar relacionados con las precipitaciones ocurridas, las cuales fueron superiores al promedio histórico (292 vs 256,2 mm); por tanto, fue evidente que hubo lavado de nutrimentos en el suelo, por lo que pudo quedar mayor disponibilidad del nitrógeno asimilable en el tratamiento de mayor nivel de aplicación con respecto al de menor. Por tanto, todo indica que las plantas pudieron absorber el nutrimento para satisfacer sus funciones metabólicas sin manifestar un consumo de lujo (Azcón y Talón, 2013).

Con relación a la altura de la planta, se pudo comprobar que hubo mejor respuesta al emplear la mayor dosis (600 kg de N ha<sup>-1</sup>), dichos resultados se corresponden con los de Banegas (2009) quien hace alusión a la importancia que tiene el nitrógeno para incrementar la altura en esta especie.

En otros estudios, Segura (2010) sugirió comenzar las aplicaciones en la etapa vegetativa de *J. curcas* con dosis de 180 kg de N ha<sup>-1</sup> por año, e incrementar gradualmente según la fase de desarrollo del cultivo, debido a que la demanda de este elemento aumenta por la velocidad de crecimiento que caracteriza a este cultivo.

Las evaluaciones morfológicas de este experimento comenzaron cuando la plantación tenía tres años de establecida y por la respuesta de la especie a la fertilización, se considera que también en la etapa de adultez la planta necesita el nitrógeno para su desarrollo productivo. Aunque debe tenerse en cuenta que dosis elevadas pueden causar un desarrollo

descontrolado en la elongación y el crecimiento del tallo, lo cual provoca menor lignificación y por tanto más partes blandas (Chuncho *et al.*, 2019).

En otros cultivos como los cítricos, también se ha determinado que el exceso de nitrógeno puede manifestarse con un desarrollo abundante del follaje, sin embargo, no es beneficioso, ya que el rendimiento de los frutos será pobre (Azcón y Talón, 2013).

Por otra parte, se detectó una alta relación positiva entre la mayoría de las variables, las cuales generalmente contribuyeron en la formación de la primera componente (CP1) en casi todos los momentos evaluados, excepto para el número de ramas (NR) que en ocasiones se relacionó de forma negativa (figuras 7a; 7b y 8b) lo cual pudiera ser atribuido a la heterogeneidad que presenta esta especie, dado por su condición de planta alógama, por tanto, responderá de manera diferente según las condiciones del medio, y los caracteres morfoproductivos tendrán un comportamiento variable (Wencomo *et al.*, 2020).

Estos resultados discrepan de los obtenidos por Banegas (2009) al concluir que el nitrógeno es determinante para obtener mayor número de ramas. Sin embargo, se corresponden con los obtenidos por Segura (2010) y por Iguarán *et al.* (2019) quienes encontraron que esta variable fue influenciada por el efecto del ecotipo.

No obstante, a pesar de que en determinados momentos las variables morfológicas respondieron de manera diferente a los tratamientos de fertilización estudiados, no sucedió así para las productivas, las cuales, si mostraron un comportamiento favorable a favor de las aplicaciones nitrogenadas, principalmente con el tratamiento 2.

En este sentido, Negussie *et al.* (2016) revelaron que en *J. curcas*, el rendimiento es significativamente bajo cuando no se fertiliza. En correspondencia a dicho criterio, se constató que los menores valores de los rendimientos fueron obtenidos en las plantas a las

que no se aplicó fertilización nitrogenada (figura 10), lo cual indica que cuando hay déficit de dicho macroelemento en el suelo, la translocación del N hacia la formación de frutos, es baja (Montenegro, 2017).

Kalannavar (2009) también obtuvo los mayores rendimientos de frutos en *J. curcas* (3 937 kg ha<sup>-1</sup>) al aplicar fertilización completa de 100 kg de N, 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 150 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, con diferencias marcadas con respecto al control. Asimismo, Suriharn *et al.* (2011) corroboraron el incremento significativo de los rendimientos (1 559 kg de semillas ha<sup>-1</sup>) al emplear 312,5 kg de N ha<sup>-1</sup> y también comprobaron que con dosis mayores la producción se redujo.

Por todo lo anterior se considera que existen diversos criterios acerca de la dosis óptima que potencie la producción agrícola de este cultivo, en el que además, se deben tener en cuenta diversos factores como los edáficos, los climáticos, la fase vegetativa de la especie, entre otros; sin embargo queda claro que cuando la planta se utiliza a escala productiva, será necesario reponer al suelo los nutrimentos que intervienen en su desarrollo, fundamentalmente el nitrógeno (Cabrales *et al.*, 2022).

A partir de los análisis realizados para determinar las concentraciones de N P K (tabla 3) se corroboró que el nitrógeno fue el macroelemento más demandado para la fotosíntesis, ya que se encontraron mayores concentraciones de este en las hojas, lo cual puede favorecer la alta tasa de crecimiento que caracteriza esta especie (Laviola y Dos Santos, 2008).

El contenido de nitrógeno en los frutos tuvo un comportamiento similar al de las hojas, para cada tratamiento, por ello se estima que estas actuaron como almacenes de N durante la etapa de producción, ya que la demanda de este nutrimento cambia durante el ciclo de vida del cultivo (Montenegro, 2017). En la fase de reproducción, el N presente en las hojas se

moviliza fundamentalmente para alimentar a los órganos más jóvenes de la planta, en este caso los frutos (Balta *et al.*, 2015).

Por otra parte, cuando el suministro de N desde el medio edáfico no es suficiente, la cantidad y el tamaño de los frutos se afecta (Martínez *et al.*, 2008), como ocurrió con el tratamiento control, en el que se observaron los menores rendimientos y además las menores concentraciones de este elemento.

No obstante, la exportación de todos los macroelementos fue elevada (tabla 4), incluso en el tratamiento sin fertilización química (Laviola y Dos Santos, 2008), por ello es necesario profundizar en otros estudios sobre la nutrición de esta especie, de forma tal de poder optimizar la nutrición del cultivo sin afectar las reservas de nutrimentos del suelo.

En los estudios realizados por Laviola y Dos Santos (2008) obtuvieron que en la fase de producción, la relación N:K fue de 1,4:1 por lo que consideraron que en ese momento la planta requiere mayor concentración de N. Dichos resultados se corresponden con los obtenidos en este experimento, ya que las concentraciones de nitrógeno siempre fueron superiores a las de potasio, solo en el tratamiento 1 se encontró mayor concentración de K en los frutos.

Es importante mencionar, que las concentraciones de P y K encontrados en las hojas y en los frutos, se consideran en el rango de los que se han determinado para esta especie en otras condiciones edafoclimáticas (Laviola y Dos Santos, 2008; Montenegro, 2017).

Por otra parte, las plantas realizaron mayor demanda de K que de P, si se tiene en cuenta que no se utilizaron portadores de estos elementos en la fertilización, se puede considerar que el cultivo realizó una fuerte extracción del K disponible en el suelo, por lo que se



estima sea el segundo macroelemento más importante para el desarrollo del fruto, después del N (Laviola y Dos Santos, 2008).

El contenido de P determinado en los suelos (tabla 1) donde se realizó el estudio (20,15 mg kg<sup>-1</sup>, equivalente a 40,3 kg ha<sup>-1</sup>), fue suficiente para la exportación que realizó el cultivo (0,79; 2,17 y 1,61 kg ha<sup>-1</sup> para las dosis de 0, 300 y 600 kg ha<sup>-1</sup> de N año<sup>-1</sup>, respectivamente). En los primeros años, *J. curcas* realiza mayor demanda de este elemento, pero a medida que la planta crece, el área de exploración del sistema radicular se expande y la eficiencia de recuperación del P aumenta (Prezotti, 2001).

De acuerdo con los resultados presentados en las tablas anteriormente mencionadas, se corroboró que la exportación por concepto de frutos fue elevada, incluso en el tratamiento control, por ello se considera que es importante fertilizar, fundamentalmente en la etapa productiva de esta especie.

Con respecto a los cultivos que fueron asociados a *J. curcas* (tabla 5) no mostraron señales de afectaciones por competencia intraespecífica, ya que no hubo reducción del desarrollo vegetativo, ni de la productividad. Los rendimientos obtenidos en cada caso, se encuentran acordes a los encontrados en la literatura para cada especie (Osorio *et al.*, 2017; ONEI, 2018).

Si se tiene en cuenta que el frijol fue sembrado entre los meses de diciembre a febrero de cada año que se realizó el estudio, es de suponer que la fertilización no tuviera un efecto significativo en la herbácea, ya que las aplicaciones fueron realizadas de forma fraccionada, en dos ocasiones durante la época de mayores precipitaciones (mayo-octubre) por lo que se presume que pudo haber lavado de nutrimentos en el suelo.

Por otra parte, en el caso específico del frijol se considera que no existió competencia, debido a la capacidad de fijación biológica de este cultivo para ese elemento y al igual que para la calabaza también pudo influir la forma que se aplicó el fertilizante, ya que se hizo de manera localizada alrededor del tallo de la arbórea.

Además, se presume que, aunque todas las especies hagan demandas similares de los mismos recursos, no establecen competencia ya que sus diferencias morfológicas y fisiológicas les permiten adaptarse (Vélez *et al.*, 2007).

En cuanto al comportamiento obtenido para el boniato sembrado en el 2015 (tabla 5), pudo estar dado por el momento que se aplicó el fertilizante en la arbórea, ya que el cultivo asociado había alcanzado un adecuado desarrollo morfológico y por tanto, pudo realizar una mayor absorción del nitrógeno asimilable presente en el suelo, y por ende, al incrementar el peso y el tamaño de los tubérculos, los rendimientos fueron mayores en las plantas que se encontraban asociadas a la *Jatropha* que se les aplicó fertilización química nitrogenada (MINAG, 2012).

Dichos criterios se corresponden con los encontrados por Espinosa *et al.* (2015), quienes señalaron que el cultivo responde a la aplicación de nitrógeno, en dependencia del grado de disponibilidad de dicho elemento en el suelo y del equilibrio nutricional.

Sin embargo, Giletto *et al.* (2013) consideraron que elevadas dosis de N en el boniato, promueven el crecimiento del follaje, pero retrasa el inicio de la tuberización y reduce el rendimiento. Estos aspectos difirieron con los resultados obtenidos en esta investigación, ya que los rendimientos del boniato no se afectaron por el efecto de las elevadas dosis nitrogenadas aplicadas a *J. curcas*, así como tampoco la producción del frijol y de la calabaza.

En sentido general, se pudo constatar que el rendimiento de los cultivos asociados (frijol, boniato y calabaza) no se afecta, sino que es posible obtener diversas especies agrícolas y realizar un mayor uso del espacio y del suelo.

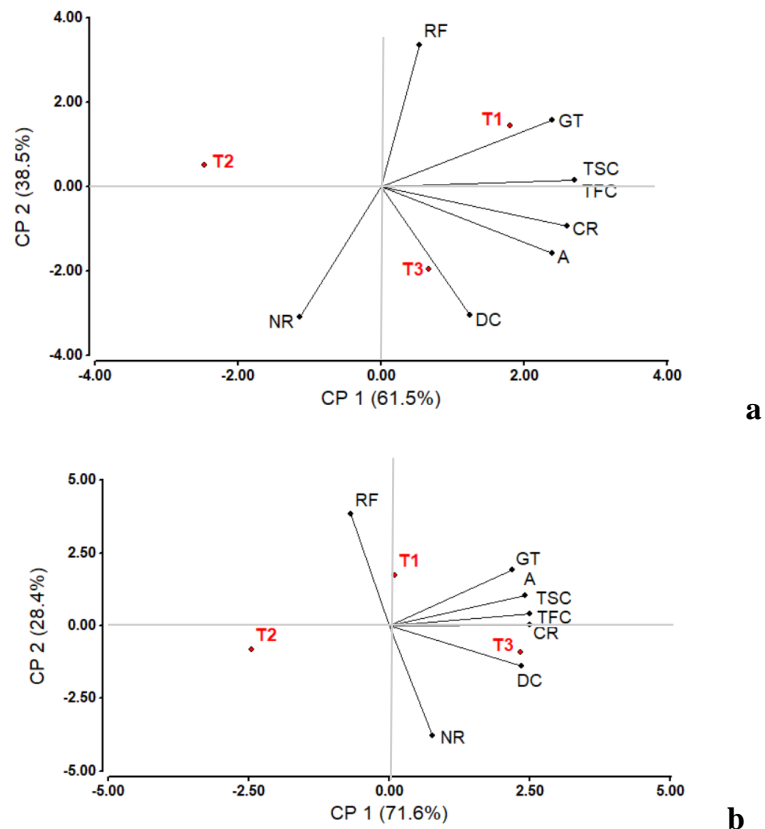
### **3.3. Experimento 3. Efecto de diferentes arreglos espaciales en *Jatropha curcas* L. en asociación con cultivos alimenticios.**

#### **3.3.1. Resultados**

Los gráficos biplot muestran las componentes principales de las variables morfológicas y productivas en *Jatropha curcas* por efecto de diferentes arreglos espaciales en el primer año de evaluación (figuras 11 a y b).

Durante el período poco lluvioso (PPLL) se explicó el 100 % de la varianza (figura 11 a). La primera componente (CP1) extrajo el 61,5 % y contribuyeron en su formación la altura (A), el grosor del tallo (GT), la cantidad de racimos (CR), y el total de frutos (TFC) y semillas cosechadas (TSC), las cuales estuvieron relacionadas de forma positiva y los mayores valores se alcanzaron con el monocultivo de *Jatropha* (T1).

En la segunda componente (CP2) se detectó una varianza del 38,5 % y fue explicada fundamentalmente por las variables rendimientos de los frutos (RF) y relacionadas de manera negativa estuvieron el número de ramas (NR) y el diámetro de la copa (DC), los mayores valores para estas últimas se alcanzaron al intercalar *J. curcas* con cultivos alimenticios (T3), mientras que para RF fueron con T1.



**Figura 11. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de los arreglos espaciales en *Jatropha curcas* L. en el primer año de evaluación. a) período poco lluvioso b) período lluvioso.**

(T1: Jc monocultivo, T2: 50 % Jc + 50% cultivo alimenticio, T3: Jc intercalada con cultivo alimenticio).

A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.

Para el período lluvioso (PLL) se explicó el 100 % de la varianza total (figura 11 b). La CP1 (71,6 %) estuvo explicada por la altura (A), el diámetro de la copa (DC), el grosor del tallo (GT), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos (TFC) y semillas cosechadas (TSC). Para dichas variables se obtuvieron los mayores valores con T3.

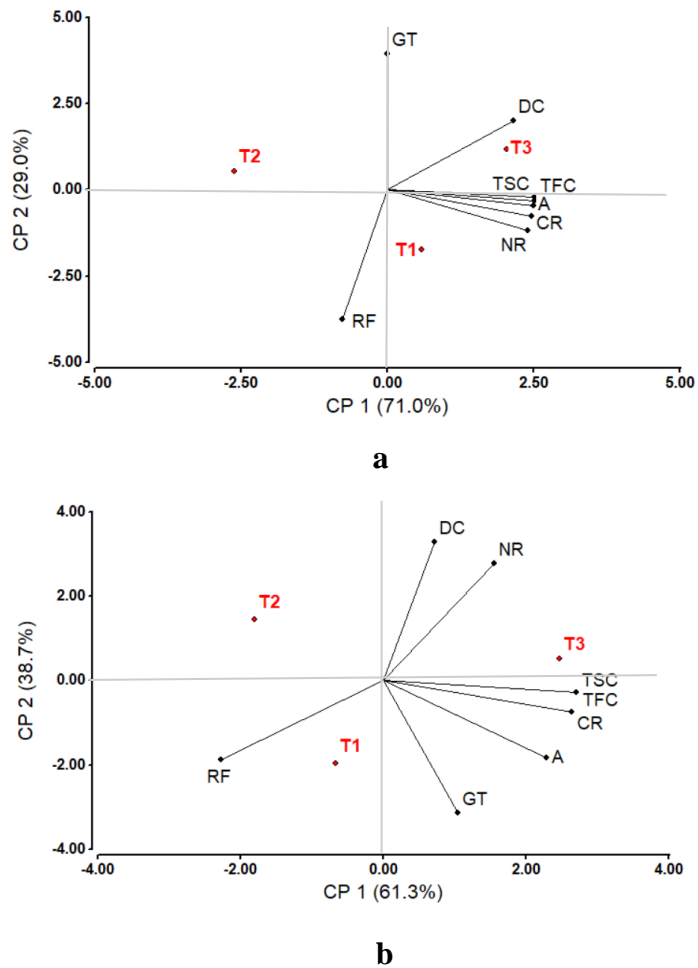
La variabilidad extraída en la segunda componente fue de 28,4 % y en su formación contribuyeron el rendimiento de los frutos (RF) y el número de ramas (NR), las cuales estuvieron relacionadas de forma negativa. Para RF los mayores valores se encontraron con el tratamiento control utilizado para la arbórea (T1).

En el biplot que representa el período poco lluvioso (PPLL) del segundo año de evaluación (figura 12 a), se obtuvo una varianza acumulada del 100 %. En la CP1 (71 % de la variabilidad total) se detectó una estrecha relación positiva entre la altura (A), el diámetro de la copa (DC), el número de ramas (NR), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos (TFC) y de semillas cosechados (TSC). Para dichas variables los mayores valores se encontraron al utilizar *Jatropha* intercalada con los cultivos asociados (T3).

En la CP2 (29 % de la varianza total) hubo una correspondencia negativa entre el grosor del tallo (GT) y el rendimiento de los frutos (RF), para la cual se alcanzaron los mayores valores con T1 (*Jatropha* en monocultivo).

Para el período lluvioso (PLL) también se explicó el 100 % de la varianza total (figura 12 b). En la primera componente se extrajo el 61,3 %. Las variables que mejor explicaron este porcentaje fueron la altura (A), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC) y el total de semillas cosechadas (TSC), para las cuales se alcanzaron los mayores valores al utilizar *J. curcas* intercalada con cultivos alimenticios (T3).

En la segunda componente se explicó el 38,7 % de la varianza y contribuyeron en su formación el diámetro de la copa (DC), el número de ramas (NR) y en sentido contrario a estas variables interactuaron el grosor del tallo (GT) y el rendimiento de los frutos (RF), para esta última los valores más altos se encontraron al utilizar *Jatropha curcas* en monocultivo (T1).



**Figura 12. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de los arreglos espaciales en *Jatropha curcas* L. en el segundo año de evaluación. a) período poco lluvioso b) período lluvioso.**

(T1: Jc monocultivo, T2: 50 % Jc + 50% cultivo alimenticio, T3: Jc intercalada con cultivo alimenticio).

A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.

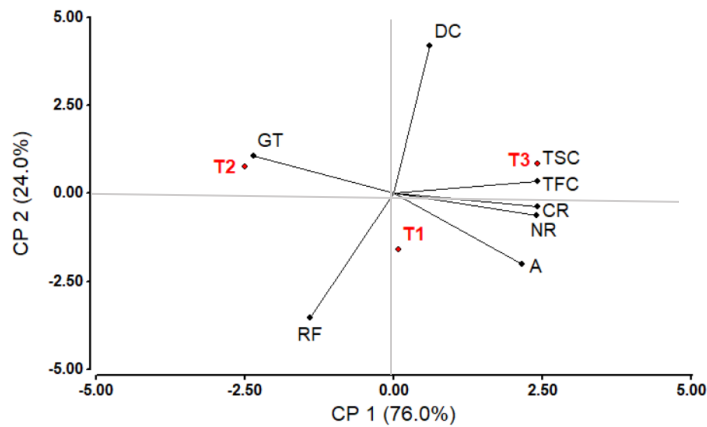
En el período poco lluvioso del tercer año de evaluación (figura 13 a) la varianza total acumulada fue nuevamente alta, de 100 %. En la formación de la primera componente (76 %) contribuyeron la altura de la planta (A), el número de ramas (NR), la cantidad de racimos (CR), el total de frutos cosechados (TFC), el total de semillas cosechadas (TSC) y el grosor del tallo (GT), el cual se relacionó de manera negativa con respecto a las demás variables y para el que se alcanzaron los mayores valores al utilizar 50 % del área sembrada de *J. curcas* más 50% con cultivo alimenticio (T2). Sin embargo, para las primeras fueron más altos con el arreglo espacial en el que se intercaló la arbórea con los cultivos alimenticios (T3).

En CP2 se extrajo el 24 % de la variabilidad, dentro de esta componente se explicaron el diámetro de la copa (DC) y en sentido opuesto el rendimiento de los frutos (RF), para el cual se alcanzaron los mayores valores al utilizar *Jatropha* en monocultivo (T1).

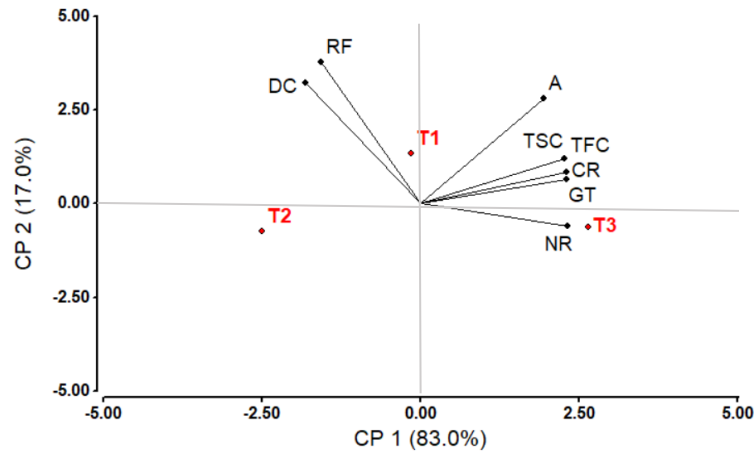
En la figura 13 b se representa el biplot correspondiente al período lluvioso (PLL) del tercer año de evaluación. La varianza acumulada en ese momento fue de 100 %, la cual se explicó en la primera y segunda componente, al 83 % y 17 %, respectivamente.

En la CP1 contribuyeron en su formación la altura de la planta (A), el grosor del tallo (GT), el número de ramas (NR) la cantidad de racimos (CR), el total de frutos (TFC) y semillas cosechadas (TSC), las cuales estuvieron relacionadas de forma positiva. También dentro de esta componente, pero con una relación negativa estuvo el diámetro de la copa (DC).

Además, al utilizar el arreglo espacial en el que se intercalaba *J. curcas* con los cultivos alimenticios (T3) se alcanzaron los mayores valores para A, GT, NR, CR, TFC y TSC.



a



b

**Figura 13. Análisis de componentes principales (gráfico biplot) de las variables morfológicas y productivas por efecto de los arreglos espaciales en *Jatropha curcas* L. en el tercer año de evaluación. a) período poco lluvioso b) período lluvioso**

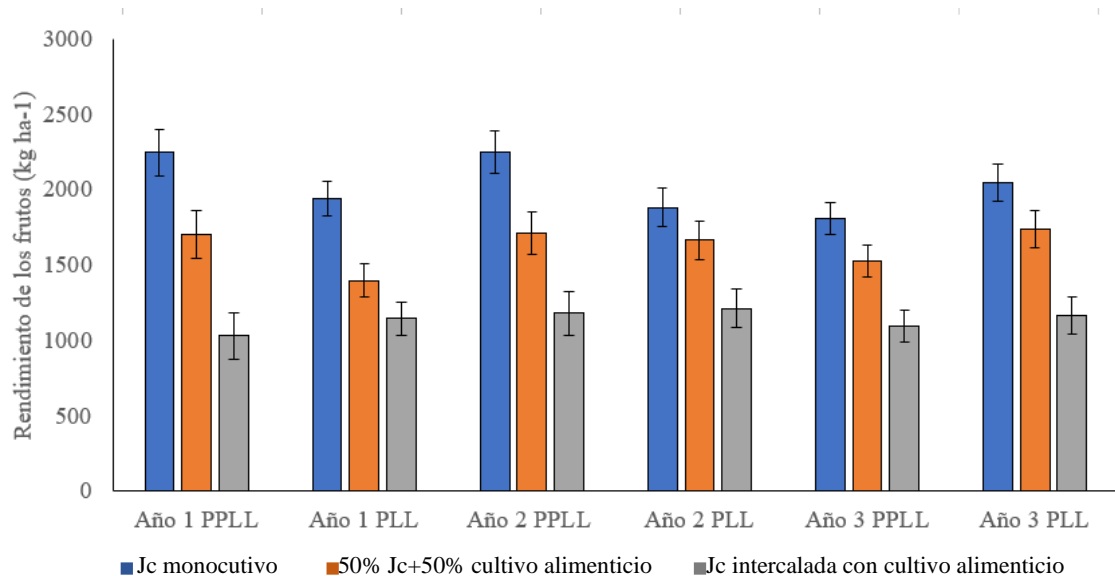
(T1: Jc monocultivo, T2: 50 % Jc + 50% cultivo alimenticio, T3: Jc intercalada con cultivo alimenticio).

A: Altura; DC: Diámetro de la copa; GT: Grosor del tallo; NR: Número de ramas; CR: Cantidad de racimos; TFC: Total de frutos cosechados; TSC: Total de semillas cosechadas; RF: Rendimiento de los frutos.



Para CP2, el rendimiento de los frutos (RF) fue la variable de mayor peso en la formación de este eje, para esta se obtuvieron los mayores valores con el tratamiento control de la arbórea (T1).

A continuación, se presentan los resultados del efecto de los arreglos espaciales sobre el rendimiento de los frutos (figura 14). Como se puede observar, los valores de esta variable fueron mayores cuando se sembró *Jatropha* en monocultivo (T1), con rendimientos aproximados o superiores a las 2 t ha<sup>-1</sup> en cada cosecha.



Las líneas verticales indican los intervalos de confianza de cada tratamiento.

No se muestran resultados en el tratamiento 4 porque presentaba solo cultivos alimenticios en rotación

**Figura 14: Efecto de los arreglos espaciales en el rendimiento de los frutos de *Jatropha curcas* L. durante dos períodos climáticos en tres años de explotación.**

Además, los rendimientos del tratamiento 50 % *Jatropha* + 50 % cultivo alimenticio (T2) fueron superiores a los obtenidos con *Jatropha* intercalada con cultivo (T3) y a su vez fueron similares a T1 en el período lluvioso del segundo año. De igual forma con T3 se

obtuvieron los rendimientos más estables, ya que no se observaron diferencias entre los años evaluados.

En la tabla 6 se muestran los rendimientos de los cultivos que fueron asociados a *Jatropha curcas* (Jc) durante el período experimental, para lo cual se tomaron tanto los resultados de cada uno de los arreglos espaciales en combinación con la arborea (T2 y T3), como del monocultivo del alimenticio (T4).

Para el frijol sembrado en ambos momentos (2016 y 2018) no se encontraron diferencias entre los arreglos espaciales 50 % Jc +50 % de cultivo alimenticio (T2) y Jc intercalada con cultivo alimenticio (T3) con respecto al monocultivo (T4). Para T2 los rendimientos fueron ligeramente inferiores a la media nacional, la cual es de 0,89 t ha<sup>-1</sup> (ONEI, 2021).

Relacionado con el cultivo del boniato, en el 2017 se encontraron diferencias entre todos los tratamientos evaluados. Con el control (T4) se obtuvieron las mayores producciones, de 10,17 t ha<sup>-1</sup> los cuales fueron superiores a la media nacional del país (9,3 t ha<sup>-1</sup>) según reportes de la ONEI (2018). Sin embargo, en el 2019 no hubo diferencias entre el monocultivo (T4) y al utilizar Jc intercalada con el cultivo alimenticio (T3).

Con respecto a la calabaza, los mayores valores se obtuvieron con el monocultivo (T4) y con Jc intercalada con cultivo alimenticio (T3), los cuales no difirieron entre ellos, pero si con respecto al arreglo espacial 50 % Jc + 50 % cultivo alimenticio (T2) que alcanzó rendimientos inferiores, que además estuvieron por debajo de la media nacional, la cual oscila sobre las 10 t ha<sup>-1</sup> (INIVIT, 2014).

**Tabla 6. Efecto de diferentes arreglos espaciales en el rendimiento de cultivos alimenticios asociados a *Jatropha curcas* L. durante el período experimental.**

Tratamientos	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )				
	Frijol		Boniato		Calabaza
	2016	2018	2017	2019	2018
<b>T2</b>	0,86	0,78	6,85	7,25	6,59
<b>T3</b>	0,91	0,84	8,25	8,37	11,89
<b>T4</b>	0,94	0,93	10,17	9,15	13,83
<b>IC (±)</b>	0,14	0,08	0,85	1,04	1,13

\*No se muestran los resultados del tratamiento 1 porque presentaba *Jatropha* en monocultivo.

T2: 50 % Jc + 50 % cultivo alimenticio, T3: Jc intercalada con cultivo alimenticio; T4: monocultivo del cultivo alimenticio

IC (±): Intervalos de confianza (95 %)

La eficiencia biológica de los policultivos fue positiva, el uso equivalente de la tierra (UET) fue superior a uno en todas las combinaciones (tabla 7). Sin embargo, los mayores valores se obtuvieron con el arreglo espacial correspondiente al tratamiento 2, para la mayoría de los cultivos, excepto para la calabaza que fue de 1,35 en T2 y 1,50 en T3.

**Tabla 7. Comportamiento del Uso Equivalente de la Tierra (UET), según las variantes de arreglo espacial.**

Tratamientos	UET				
	Frijol		Boniato		Calabaza
	2016	2019	2017	2019	2018
<b>T2</b>	1,66	1,68	1,39	1,63	1,35
<b>T3</b>	1,43	1,50	1,40	1,47	1,50

T2: 50 % Jc + 50 % cultivo alimenticio, T3: Jc intercalada con cultivo alimenticio

\*No se presentan los tratamientos 1 y 4 porque se utilizaron como controles ya que no hubo cultivos intercalados en estos arreglos espaciales.

### 3.3.2. Discusión

Las variables productivas cantidad de racimos (CR), total de frutos (TFC) y semillas cosechadas (TSC), estuvieron positivamente relacionadas dentro de la primera componente en cada período, lo que denotó el alto grado de complementariedad existente en estos rasgos estructurales.

Además, con el mayor espaciamiento entre los surcos que permitió la disposición intercalada de los cultivos (T3) fue posible obtener elevados valores en cada una de estas variables, ello indicó que dichos sistemas de consorcio fueran efectivos en el tiempo (Galon *et al.*, 2021).

La menor distancia de siembra que se utilizó en el monocultivo de *J. curcas* (T1) y el 50 % de Jc+ 50 % de cultivo alimenticio (T2) determinaron la menor cantidad de racimos (CR), lo cual pudo estar asociado al espacio reducido entre las plantas arbóreas y por tanto menor incidencia de la radiación por lo que la actividad fotosintética puede disminuir y afectarse la etapa productiva, mientras que en los arreglos más abiertos ocurre lo contrario (Agustí, 2013).

Al respecto, se conoce que la fotosíntesis es un proceso de gran importancia que convierte la energía lumínica en química la cual es aprovechada por las plantas para su crecimiento y desarrollo e influye directamente en la fructificación. Aunque, por otra parte, en el proceso de formación de racimos en *Jatropha curcas*, ocurre la interacción de diferentes factores endógenos como son, las características de la variedad, el balance hormonal, la proporción de flores masculinas y femeninas, el aborto, la polinización y la incidencia de factores

exógenos relacionados con el clima (Dotto *et al.*, 2018). Por ello, se considera que la combinación de todos estos factores determinó la respuesta a favor del tratamiento 3.

Por otra parte, la variabilidad existente en función del rendimiento de los frutos (RF), fue explicada en la segunda componente (CP2) y los mayores valores se obtuvieron cuando se utilizó *Jatropha* en monocultivo (T1) por ello se consideró que, al realizar la estimación de dicha variable, tuvo mayor influencia la alta densidad de plantas por hectárea para este tratamiento. Ello pudo corroborarse al observar que en orden le siguió el tratamiento 2 (figura 14), el cual responde a igual distancia de plantación y densidad de plantas, comparado con el control (T1).

Además, se resalta en cada año la estabilidad productiva de los arreglos espaciales (figura 14), por lo que se considera que la forma de distribuir las plantas resultó efectiva en cada tratamiento, fundamentalmente al intercalar la arbórea con los cultivos alimenticios (T3).

Al analizar los indicadores morfológicos se obtuvo que los menores valores de altura (A) se obtuvieron con T1 y T2, por ello se consideró que al acortar la distancia entre las plantas se incrementara la competencia para asimilar recursos necesarios, los cuales pudieron estar limitados y por tanto influir en el crecimiento desde el primer año del estudio (Li-chao *et al.*, 2018; Rehling *et al.*, 2021).

Sin embargo, para el diámetro de la copa (DC), el grosor del tallo (GT) y el número de ramas (NR), se detectó que dichos caracteres fueron muy variables, ya que se encontraron indistintamente representadas en las dos componentes de forma positiva o negativa, lo cual pudo estar determinado por la heterogeneidad genética de la especie (Rincón *et al.*, 2016).

Los mayores valores de diámetro de la copa (DC) mostrados con T3 durante las primeras evaluaciones indican que las plantas pudieron alcanzar su máximo desarrollo vegetativo dado por el mayor espacio entre los surcos (5 x 2 m), aspecto que varió una vez que llegaron a la total adultez o madurez fisiológica (Alegría, 2016).

Estos resultados contrastan con los obtenidos por Mejía *et al.* (2015) quienes encontraron que el crecimiento horizontal de las ramas fue mayor con los marcos de plantación más estrechos. También Ccasani (2012) determinó una respuesta diferente para el diámetro de la copa, al obtener que no hubo diferencias significativas entre los distintos marcos de plantación empleados (2,0 x 2,5 m; 2,5 x 2,5 m; 2,5 x 3,0 m y 3,0 x 3,0 m). Es importante señalar que dichos estudios no tuvieron en cuenta el comportamiento en el tiempo. Además, las plantas de reproducción sexual, como *J. curcas*, sufren variación fenotípica al estar sometidos a diferentes situaciones de competencia en el campo, fundamentalmente en las asociaciones con otros cultivos (Muñoz, 2003).

También para el número de ramas (NR) se detectaron los mayores valores con T3, por tanto se presume que las plantas pudieron desarrollar un patrón de crecimiento proyectado en la ramificación lateral determinado por la mayor distancia.

Similares resultados han sido obtenidos en otras oleaginosas, como el maní (*Arachis hypogaea* L.) y también en otras arbóreas como el café (*Coffea arabica* L.) y la moringa (*Moringa oleifera* Lam.) (Morla *et al.*, 2017; Araque y Duque, 2019; Alvarado *et al.*, 2020; Rendón, 2021), en la que se detectó que el número de ramas por planta disminuye con el aumento de la densidad.

Sin embargo, para el grosor del tallo (GT), no hubo una respuesta precisa a favor de ningún tratamiento, ya que en cada momento el comportamiento varió. Vale la pena mencionar que para cada arreglo espacial los valores se consideraron óptimos desde los primeros años ya que se detectaron rangos cercanos a los 20 cm, ello indica la máxima expresión de dicha variable desde edades tempranas (Basu *et al.*, 2017).

En este sentido, Díaz *et al.* (2015) afirman que la dilatación o contracción del grosor del tallo es considerado un indicador importante del estado hídrico de la planta. Teniendo en cuenta dichos criterios, fue posible inferir que las plantas suplieron las necesidades hídricas con las precipitaciones caídas, dada por la respuesta expresada desde el primer año hasta el final del período evaluativo, ya que los valores del grosor no fluctuaron. Estos aspectos corroboran que *J. curcas* alcanza un máximo desarrollo morfoproductivo cuando el rango de lluvia oscila entre 300 y 1 800 mm (Kremer *et al.*, 2020), las cuáles se corresponden con los acumulados encontrados para cada año de la etapa experimental.

Por otra parte, los rendimientos del frijol, el boniato y la calabaza se consideraron bajos, al compararlos con la media nacional del país (ONEI, 2021). Para la calabaza, la producción fue menos favorable, debido probablemente a las precipitaciones ocurridas en el año 2018, que se sembró este cultivo, las cuales tuvieron un acumulado de 1 688,6 mm y fueron superior a la media histórica (1 338,8 mm).

Al mismo tiempo, se infiere que los menores rendimientos encontrados para T2, pudieron estar asociados a la forma en que se encontraban distribuidas las plantas de calabaza en este arreglo espacial, las cuales quedaban desprotegidas y por tanto las intensas lluvias causaron

daños severos. Mientras que con T3 las plantas herbáceas quedaron entre los surcos de *Jatropha* y por tanto la arbórea brindaba protección al cultivo asociado.

Aunque no se lograron altos rendimientos en los cultivos alimenticios, se considera que el agroecosistema se favorece, por la diversidad de especies y beneficios que brindan estas plantas. En *J. curcas* se obtiene biodiesel y otros coproductos con múltiples propósitos y, por otra parte, los cultivos asociados contribuyen a la alimentación humana (Hernández, 2011a).

En correspondencia, dicha evidencia se corrobora a través del positivo uso equivalente de la tierra (UET) obtenido en los tratamientos 2 y 3. Por ello, se consideró factible el uso de los policultivos, fundamentalmente en la disposición estudiada para 50 % Jc + 50 % cultivo alimenticio (T2), que generalmente fue superior a Jc intercalada con cultivo alimenticio (T3), solo mostró un UET inferior cuando se utilizó la calabaza asociada y fue causado por los bajos rendimientos de la herbácea.

Estos resultados se corresponden con los encontrados por Hernández (2011a) en sistemas de asociación de *Jatropha* con calabaza y con pastos de los géneros *Bachiaria* y *Cynodon* quienes refieren mayor uso equivalente de la tierra en los sistemas de asociaciones, comparado con los monocultivos.

No obstante, se debe tener en cuenta que no todas las especies que son asociadas, constituyen sistemas viables, ya que dependerá también de otros factores característicos de cada cultivo, como hábitos de crecimiento, patrones de ramificación, demandas de nutrimentos y exigencias de atenciones culturales (Khanal *et al.*, 2021). En consecuencia, a la hora de elegir los cultivos es conveniente tener en cuenta las interacciones negativas



(competencia o alelopatía), para optimizar los recursos invertidos en la producción de las especies vegetales (Vera *et al.*, 2020). Por ello resulta interesante determinar las combinaciones “idóneas” entre diferentes especies de plantas, ya que el principal objetivo es lograr una sostenibilidad de estos agroecosistemas, a través de la biodiversidad agrícola.

### **3.4. Consideraciones económicas en los diferentes arreglos espaciales de *Jatropha curcas* L. en asociación con cultivos alimenticios.**

En la tabla 8 se presenta algunas consideraciones económicas realizadas para cada arreglo espacial estudiado en el experimento 3. Puede observarse en la mayoría de los períodos analizados la relación valor/costo fue superior a tres para los tratamientos 2 y 3 correspondientes a 50 % de *Jatropha curcas* + 50 % cultivo alimenticio (frijol, boniato, calabaza) y *J. curcas* intercalada con cultivos alimenticios, ello indica que se pueden obtener ganancias muy notables (FAO, 2002) independientemente de la especie que se utilizó en la asociación.

En el PPLL del segundo año de estudio, no se obtuvieron cosechas de los cultivos alimenticios, pero la relación valor/costo fue superior a uno, lo que implicó retornos económicos a partir de los rendimientos obtenidos con *Jatropha curcas* y las ganancias positivas indican que una vez establecida la arbórea, los costos de producción no se incrementan ya que las labores agrícolas son distribuidas según la necesidades del cultivo, fundamentalmente en la cosecha de los frutos y para mantener las plantaciones libres de arvenses.

Además, las ganancias fueron positivas en todos tratamientos, sin embargo, cuando se cosechó boniato o calabaza fueron superiores con los monocultivos de las plantas alimenticias debido a sus precios competitivos en el mercado.

**Tabla 8. Consideraciones económicas relacionadas en los arreglos espaciales de *Jatropha curcas* L. en asociación con cultivos alimenticios.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Valor de la producción (\$ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Costo de producción (\$ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ganancia (\$ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>relación V/C</b>
<b>período poco lluvioso del primer año de estudio</b>				
Jc monocultivo (T1)	32 314,74	26 928,95	5 385,79	1,20
50 % Jc + 50 % frijol (T2)	99 998,44	42 853,39	57 145,05	4,64
Jc intercalada con frijol (T3)	104 338,44	42 853,39	61 485,05	4,84
frijol (T4)	81 592,00	27 531,61	54 060,39	2,96
<b>período lluvioso del primer año de estudio</b>				
Jc monocultivo (T1)	32 314,74	26 928,95	5 385,79	1,20
50 % Jc + 50 % Boniato (T2)	114 537,44	32 489,51	82 047,93	9,05
Jc intercalada con Boniato (T3)	132 765,44	32 489,51	100 275,93	10,65
Boniato (T4)	132 413,40	17 167,73	115 245,67	7,71
<b>período poco lluvioso del segundo año de estudio</b>				
Jc monocultivo (T1)	32 314,74	26 928,95	5 385,79	1,20
50 % Jc + 50 % calabaza (T2)†	25 350,44	21 125,36	4 225,07	1,20
Jc intercalada con calabaza (T3)†	25 350,44	21 125,36	4 225,07	1,20
calabaza (T4)†				
<b>período lluvioso del segundo año de estudio</b>				
Jc monocultivo (T1)	32 314,74	26 928,95	5 385,79	1,20
50 % Jc + 50 % calabaza (T2)	96 851,94	32 286,74	64 565,20	7,61
Jc intercalada con calabaza (T3)	154 356,94	32 286,74	122 070,20	12,76
calabaza (T4)	150 055,50	16 964,96	133 090,54	8,85
<b>período poco lluvioso del tercer año de estudio</b>				
Jc monocultivo (T1)	32 314,74	26 928,95	5 385,79	1,20
50 % Jc + 50 % frijol (T2)	93 054,44	42 853,39	50 201,05	4,32
Jc intercalada con frijol (T3)	98 262,44	42 853,39	55 409,05	4,56
frijol (T4)	80 724,00	27 531,61	53 192,39	2,93
<b>período lluvioso del tercer año de estudio</b>				
Jc monocultivo (T1)	32 314,74	26 928,95	5 385,79	1,20
50 % Jc + 50 % boniato (T2)	119 745,44	32 489,51	87 255,93	9,51
Jc intercalada con boniato (T3)	134 327,84	32 489,51	101 838,33	10,79
boniato (T4)	119 133,00	17 167,73	101 965,27	6,94

† en el período poco lluvioso del segundo año de estudios, estaba sembrada la calabaza como cultivo alimenticio pero no se cosechó debido al ciclo de vida del cultivo.

Cabe mencionar que los resultados logrados fueron obtenidos a partir del cuarto año de establecida la arbórea y en cada año hubo dos picos de cosecha. Este aspecto es importante tenerlo en cuenta ya que varios autores mencionan que los costos de producción en *J. curcas* son altos durante los primeros años y como la planta no estabiliza la producción hasta después del tercer año de la siembra, consideran no rentables los sistemas de monocultivos de esta especie (Rucoba y Mungía, 2013; Avila *et al.*, 2018).

En sentido general, los resultados económicos indicaron que los arreglos espaciales de *Jatropha* que incluyen cultivos alimenticios generan ganancias superiores a los sistemas de monocultivos de cada una de las especies utilizadas, ya que es posible distribuir los mismos insumos y la mano de obra en estos. Además, se logra mayor eficiencia de los recursos ambientales disponibles que determinan el rendimiento (Domínguez *et al.*, 2019).

Al considerar que el propósito de intercalar cultivos alimenticios en las áreas destinadas a *J. curcas* es aprovechar el espacio y obtener una producción diversificada, el ingreso adicional que producirá el cultivo intercalado, después de cumplir la condición de ninguna o mínima competencia, dependerá del manejo que se le haga a dichos cultivos teniendo en cuenta los aspectos estudiados en este documento con el propósito de estabilizar la producción de la arbórea e introducirla a pequeña escala en los sistemas energéticos agrícolas con un enfoque diversificado.

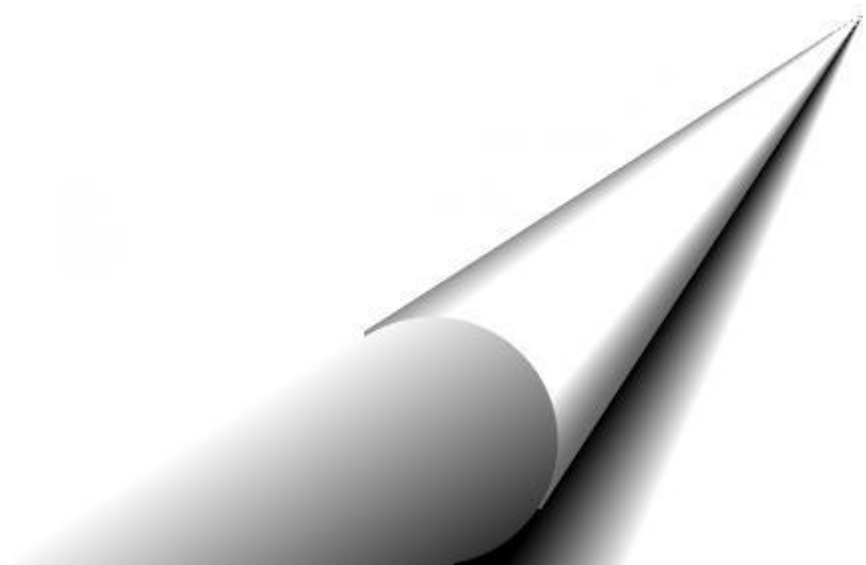
Cuando se establecen diversos cultivos aumentan los rendimientos por unidad de superficie, se diversifica la producción y se incrementa la diversidad de los enemigos naturales, de tal manera que se estabilizan las comunidades de insectos en los sistemas de cultivo, lo cual genera una tendencia directa hacia la sostenibilidad (García, 2018).

Al respecto Tamayo y Alegre (2022) consideran que la sostenibilidad es una característica inherente de los sistemas de policultivos, porque conciben principios básicos que relacionan aspectos ecológicos, económicos y sociales. En el caso de los sistemas estudiados se considera que la sostenibilidad podrá amplificarse, si además se tuviera en cuenta la diversidad de productos, co-productos y subproductos que se pueden obtener de *J. curcas*; los distintos fines para los que se pueden utilizar, como la fitorremediación, la captura de carbono, la recuperación de suelos y por sus capacidades melíferas; y las condiciones favorables económica, ambiental y social en que pueden establecerse los cultivos.

Vale la pena considerar a esta producción como una opción que va más allá de la obtención de biocombustibles, porque es una propuesta ampliamente integral, que permite que los campesinos puedan obtener múltiples beneficios.

Los resultados de esta investigación, además, demostraron las diferencias que se establecen entre los sistemas de monocultivo respecto al de asociaciones, en una especie en proceso de domesticación, considerada hasta el momento heterogénea y poco rentable, pero con posibilidades reales de utilizar en sistemas diversificados y ampliar sus usos, para generar intereses en los productores y eficiencia económica desde dicha perspectiva.

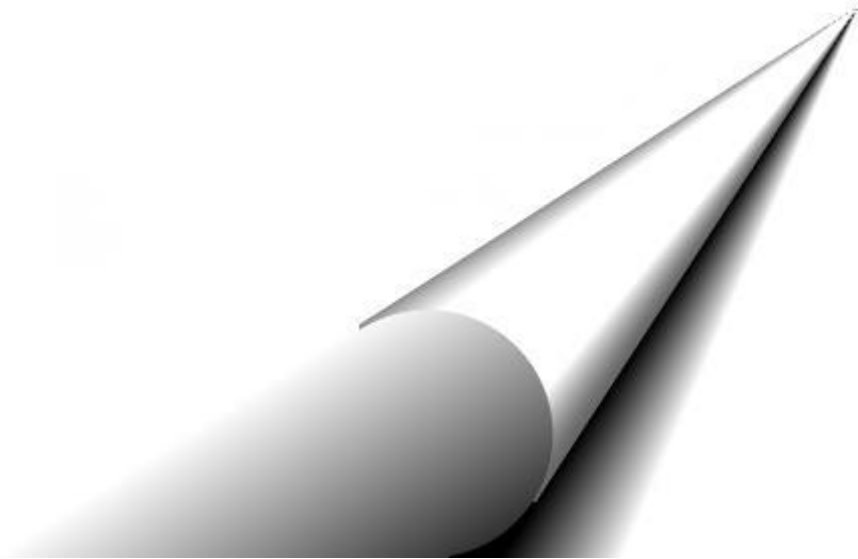
# *Conclusiones*



## CONCLUSIONES

1. Con la poda a 50 cm de altura sobre la base del suelo y al dejar dos ramas sin podar, se obtienen los mayores valores del rendimiento y sus componentes.
2. Con la dosis de 300 kg N ha<sup>-1</sup> que se aplicó de forma fraccionada en dos momentos del año, se obtienen los mayores rendimientos de los frutos de *Jatropha curcas* L., sin comprometer las producciones de los cultivos alimenticios que se asocian y favorece la concentración y exportación de los nutrimentos, en las hojas y los frutos de la oleaginosa.
3. Con el arreglo espacial 50 % *Jatropha curcas* L. y 50 % cultivos alimenticios se logran los mayores rendimientos de frutos en la oleaginosa. También son positivas la eficiencia biológica (dada por la diversificación y el mejor uso de la tierra) y las ganancias económicas que se obtienen a partir del uso de las diferentes asociaciones de la arbórea y los cultivos asociados.

# *Recomendaciones*

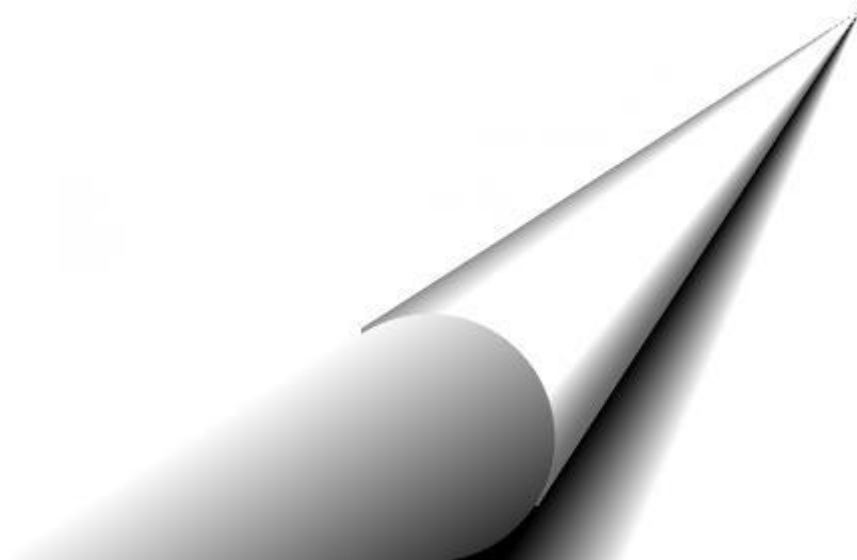


## RECOMENDACIONES

1. Continuar con diferentes estudios de manejo agronómico a través del tiempo para lograr mayor conocimiento del comportamiento productivo de *Jatropha curcas*.
2. Realizar estudios sobre la variabilidad genética de *Jatropha curcas* que permitan establecer la selección de variedades productivas y de comportamiento agrícola estable a través de los años.
3. Considerar, como una alternativa agroenergética sostenible de pequeñas fincas, la inclusión de *Jatropha curcas* en sistemas diversificados con cultivos alimenticios.
4. Tomar en consideración los resultados alcanzados para llevar a cabo el manejo de *Jatropha curcas* en sistemas agroenergéticos diversificados.
5. Este documento de tesis puede servir como material de consulta de estudiantes de pregrado y posgrado que cursen disciplinas relacionadas con las ciencias agrícolas.



# *Referencias Bibliográficas*



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abanto, C.; Sánchez, J.; Saldaña, W.; Paifa, M. & Alves, E. Efecto de la altura de poda de formación en la arquitectura de plantas de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh) en la estación experimental del IIAP, Ucayali, Perú. *Scientia Agropecuaria* 2: 73 – 81. 2011.
2. Abayomi, A.; Solomon, O. & Adebayo, J. Influence of compost supplemented with *Jatropha* cake on soil fertility, growth, and yield of maize (*Zea mays* L.) in a degraded soil of Ilorin, Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 7: 67–73. 2018.
3. Abe, J. Root anatomical structure of *Jatropha curcas* Seedlings-A Short Report. *American Journal of Plant Sciences*. 10 (3): 491-495. 2019. DOI:<https://doi.org/10.4236/ajps.2019.103035>.
4. Abobatta, W.F. *Jatropha curcas*, a novel crop for developing the marginal lands. *Methods Mol. Biol.* 2290: 79-100. 2021.
5. Abobatta, W.F. *Jatropha curcas*: an overview. *J. Adv. Agric.* 10:1650-1656. 2019. DOI:10.24297/jaa.v10i0.8145.
6. Abou, A.A. & Atta, N.M. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy* 33: 1343–1350. 2009.
7. Academia de Ciencias de Cuba. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana. p. 41. 1989.
8. Aguilar, C.E.; Galdámez, J.; Martínez, F.B.; Guevara, F., & Vázquez, H. Eficiencia del policultivo maíz-frijol-calabaza bajo manejo orgánico en la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Científica Agroecosistemas*. 7 (3): 64-72. 2019.
9. Aguilera, E.; Mijangos, J. & Pérez, Daysi. El género *Jatropha* en México, punto de partida para el análisis del potencial del cultivo comercial *Jatropha curcas* L. En: *Jatropha curcas* en México. Avances y perspectivas de un cultivo bioenergético. López, Guadalupe y Uc, A. (Eds). Diseño editorial de cubierta, infografía, gráficos y formación Paola Marfil Lara: 17-50. 2018.

10. Agustí, M. Crecimientos y maduración del fruto. En: Fundamentos de Fisiología Vegetal. Segunda edición. Azcón, J. y Talón, M. (Eds.). Barcelona, España. 669 p. 2013.
11. Alegría, W. Texto básico para profesional en Ingeniería Forestal en el área de Fisiología Vegetal. Perú. 224 p. 2016.
12. Alherbawi, M.; McKay, G.; Mackey, H. & Al-Ansari, T. A novel integrated pathway for jet biofuel production from whole energy crops: A *Jatropha curcas* case study. Energy Conversion and Management. 229 (113662): 1-21. 2021a.
13. Alherbawi, M.; McKay, G.; Mackey, H. & Al-Ansari, T. *Jatropha curcas* for jet biofuel production: Current status and future prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 135 (110396). 2021b.
14. Alvarado, E.R.; Garay, J.R.; Estrada, B.; Martínez, J.C.; Rojas, A.R. y Cancino, J.S. Variación morfológica en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de población. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 24 (Número especial): 165-176. 2020.
15. Anaya, J.L.; Ibarra, F.J.; Rodríguez, F.G.; Ortega, P.F.; Acosta, J.A. & Chiquito, Elizabeth. Leguminosas de grano en México: variedades mejoradas de frijol y garbanzo desarrolladas por el INIFAP. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 25 (Número especial): 63-75. 2021.
16. Angulo, N. Comportamiento agronómico de selecciones avanzadas de fríjol voluble con maíces en asocio y en unicultivo. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 89 p. 1986.
17. Anibijuwon, I.; Gbala, I.; Adedokun, A. & Ifayefunmi, O. Antibacterial activity of *Jatropha curcas* against isolates of clinical origin. Covenant Journal of Physical Life Science. 6 (2). 2018.
18. AOAC. International. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC International Suite 300 2275 Research Blvd Rockville, Maryland. 20850–3250. USA. 2016.
19. Araiza, Nidia; Angulo, M.A.; Reynoso, T.; Cruz, P.; Calderón, C. & Alcaraz, Lilia. Variabilidad genética de *Jatropha curcas* silvestre en el noroeste de México. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 24 (49): 1-7. 2021.

20. Araque, H. & Duque, H. Variables agronómicas determinantes de la productividad del cultivo de café en fincas del departamento de Caldas. *Revista Cenicafé*. 70 (1): 81-92. 2019.
21. Ardila, G.; Fischer, G. & García, J.C. La poda de tallos y racimos florales afecta la producción de frutos de lulo (*Solanum quitoense* var. septentrionale). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 9 (1): 24-37. 2015.
22. Austin, D.F. & Huáman, Z. A synopsis of *Ipomoea* (Convulvulaceae) in the Americas, *Taxon*. 45: 3-38. 1996.
23. Avila, E.; García, J.A. & Valtierra, E. Competitividad de la producción de *Jatropha curcas* en la región de La Frailesca, Chiapas, México. *Madera y Bosques*. 24 (2): 1-11. 2018.
24. Azcón, J. & Talón, M. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Segunda edición. Azcón, J. y Talón, M. (Eds.). Barcelona, España. 669 p. 2013.
25. Balta, R.A.; Rodríguez, A.M.; Guerrero, R.; Cachique, D.; Alva, E.; Arévalo, L. & Lol, O. Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú. *Folia Amazónica*. 24 (2): 123-130. 2015.
26. Banegas, C.E. Influencia de la fertilización con N, P y K en el establecimiento en campo de *Jatropha curcas* L. en la finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras. Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Ciencia y Producción Agropecuaria en el Grado Académico de Licenciatura. Universidad de Zamorano, Honduras. 23 p. 2009.
27. Basu, A.; Rao, L. & Sahoo, L. Morphometric characterization of *Jatropha curcas* germplasm of North-East India. *African Journal of Biotechnology*. 16 (13): 648-656. 2017. DOI: 10.5897/AJB2016.15428.
28. Bekalu, Y. Environmental, economical and social implication of *Jatropha*: A systematic review. *Journal of Resources Development and Management*. 74: 1-10. 2021.
29. Bisse, J. *Árboles de Cuba*. Editorial Científico-Técnica. Ciudad de La Habana, Cuba. p. 154. 1988.

30. Borah, N.; Mapelli, S.; Pecchia, P.; Mudoj, K.D.; Chaliha, B.; Gogoi, A.; Doley, A.; Kotoky, R. & Saikia, S.P. Variability of growth and oil characteristics of *Jatropha curcas* L., in India. *Biofuels*:1472979. 2018. DOI:10. 1080/17597269.2018.1472979.
31. Cabrales, R.; Betancur, C.A. & Rodríguez, L.A. Cultivo del piñón (*Jatropha curcas* L.); manejo nutricional y usos en Córdoba, Colombia. Primera edición. 91 p. 2022.
32. Calero, A.; Quintero, Elieni; Olivera, D.; Pérez, Yanery; Castro, I.; Jiménez, Janet & López, E. Respuesta de dos cultivares de frijol común a la aplicación foliar de microorganismos eficientes. *Cultivos Tropicales*. 39 (3); 5-10. 2018.
33. Campuzano, L.F. Perspectivas de la investigación de *Jatropha curcas* L. en Colombia parte I: Componente genético. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 62 (3): 1-9. 2009.
34. Campuzano, L.F.; Gualdrón Acosta, R. & Chávez Oliveros, L.F. Desempeño productivo y adaptación de *Jatropha curcas* L. en tres ecorregiones en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*. 31 (2): 277-290. 2020. DOI:10.15517/am.v31i2.39213.
35. Cárdenas, C. Efecto del intercalamiento de Soya (*Glycine max* (L). Merrill.) y Ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) en el cultivo de la Calabaza (*Cucurbita moschata* Duch.). Tesis en opción al Título Académico de Master en Agricultura Sostenible. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba. 79 p. 2012.
36. Carriel, Angie Nicole & Reyes, Yajaira Cristina. Análisis bibliográfico del uso de esterres de forbol de semilla *Jatropha curcas* (Piñón) para control de plagas del sector agrícola. Trabajo de titulación presentado como requisito previo para optar por el grado de químicas y farmacéuticas. Universidad de Guayaquil. Ecuador. 74p. 2020.
37. Casanova, A.; Hernández, A. & Quintero, P.L. Policultivos. En: Transformando el campo cubano, avances de la agricultura sostenible. F. Funes *et al.* (Eds). La Habana: Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF). 2001.
38. Causarano, H.J. Avances de investigación sobre *Jatropha curcas* en Paraguay. Facultad de Ciencia Agrarias. Universidad Nacional de Asunción. Paraguay. 82 p. 2011.
39. Ccasani, Carmen. Densidades de siembra, durante el primer año de establecimiento del cultivo de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.) en un ultisol de Pucallpa. Tesis para optar

- por el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. Perú. 92 p. 2012.
40. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Morfología de la planta de frijol común. Guía de estudio. Debouck, D.G. y Hidalgo, R. Cali. Colombia. 56 p. 1984.
  41. Cobeña, Gloria; Cañarte, E.; Mendoza, Alma; Cárdenas, Flor & Guzmán, A. Manual Técnico de cultivo de Camote. Manual N° 106. INIAP Estación Experimental Portoviejo. Manabí-Ecuador. 88 p. 2017.
  42. Córdova, L.; Bautista, E.; Zamarripa, A.; Rivera, J. A.; Pérez, A.; Sánchez, O.; Martínez, J. & Cuevas, A. Diagnóstico y plan estratégico de la Red *Jatropha* spp. en México. SNICS. SINAREFI. México. 116 p. 2015.
  43. Cruz, J.A. Estudio de intercalamiento en el cultivo de la calabaza (*Cucurbita moschata* Duch). Tesis para optar por el título de Master of Science en Agricultura Sostenible (Mención Producción Vegetal). 75 p. 2001.
  44. Cuevas, C.V. Growth Performance of *Jatropha curcas* L. Seedlings and some properties of acidic, low fertility grassland soil amended with biowaste compost. Philipp Agric Scientist. 92 (3):15-319. 2009.
  45. Chakrabarty, S.; Aminul, A.; Sultana, Nasrin & Chakraborty, P. Genetic diversity of *Jatropha curcas* L. genotypes: A potential biofuel crop in Bangladesh, Biofuels: 1-10. 2019. DOI: 10.1080/17597269.2019.1655213
  46. Chuncho, G.; Chuncho, C. & Aguirre, Z. Anatomía y morfología vegetal. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 134 p. 2019.
  47. Darrouy, Nicole; Castro, Mónica; Cautín, R.; Kort, L. & Bozzolo, R. Efecto de la posición de la yema y de la poda en plantas de aguacate destinadas a la clonación. Rev. Fitotec. Mex. 33 (3): 249 – 256. 2010.
  48. Dasumiati; Miftahudin; Triadiati & Hartana, A. Morphological and growth characters of andromonoecious *Jatropha curcas*. Advances in Intelligent Systems Research (AISR). Atlantis Press. 149. International Conference on Science and Technology (ICOSAT 2017): 133-139. 2018.
  49. De La Cruz, M.; Huaroto, D. & Espinoza, L. Determinación de ésteres de forbol en semilla de *Jatropha curcas* de la Región Piura del Perú. 16<sup>th</sup> LACCEI International

- Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Innovation in Education and Inclusion”. Lima, Perú. 2018.
50. Delegación Municipal de la Agricultura de Colón, Matanzas. Cuba. Precio de venta del frijol, el boniato y la calabaza. 8 de junio de 2022.
51. Desai, M.; Dobriyal, M.; Tandel, M.; Patel, S.; Pathak, J. & Prajapati, V. Effect of pruning and intercrops on *Jatropha* and Sapota under Sapota-*Jatropha* based Horti-Silvi system. International Journal of Chemical Studies. 6(4): 519-522. 2018.
52. Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.A.; Tablada, E.M. & Robledo, C.W. InfoStat Software Estadístico. Córdoba, Argentina. 2011.
53. Díaz, A. Determinación de la factibilidad técnica y económica del cultivo de *Jatropha curcas* L. en un área de la zona citrícola de Nuevo León, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 64 p. 2011.
54. Díaz, I.A. Efecto de podas y fertilización sobre la curva de producción de Piñón (*Jatropha curcas*); finca San Luis, Retalhuleu, Retalhuleu. Trabajo presentado para el título de Ingeniero Agrónomo con énfasis en Cultivos Tropicales en el grado académico de Licenciado. Universidad Rafael Landívar. Sede regional de Escuintla. Guatemala. 53 p. 2015.
55. Díaz, Y.; Torrecillas, A. & Rodríguez, P. Fluctuaciones del diámetro del tronco como indicador de estrés en frutales y su uso en el manejo del riego. Cultivos Tropicales. 36 (Número especial): 59-66. 2015.
56. Domínguez, Amalia; Darias, R.; Martínez, Y. & Alfonso, Elianis. Tolerancia de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) a condiciones de sequía en campo. Revista Centro Agrícola. 46 (3): 22-29. 2019.
57. Dotto, M.C.; Erasmo, E.A.L.; Santos, T.M.C.; Borges, K.S. & Bandeira, S.B. Ação de reguladores de crescimento no desenvolvimento de plantas de pinhão manso. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia. 11 (39): 101-111. 2018. DOI: 10.5935/PAeT.V11.N3.10.
58. Duncan, D.B. Multiple range and multiple F test. Biometrics. 11:1. 1955.
59. Ebel, R.; Pozas, J.G.; Soria, F. & Cruz, J. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. Terra Latinoamericana. 35: 149-160. 2017.

60. Echeverría, R.; Rengifo, L. & Valles, Ayda. Manual de producción de Piñón blanco *Jatropha curcas* Linn. Proyecto Desarrollo de Ecotipos a través de la Investigación del cultivo de piñón (*Jatropha curcas* L.) en la Región San Martín, Perú. 128 p. 2013.
61. Echeverría, R.; Valles, A.; Pezo, A. & Cueva, A. Efecto de número de podas en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas* L.), en el distrito de Juan Guerra -San Martín. Artículos científicos proyecto piñón. INIA, San Martín, Perú: 92-98. 2015. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/877>. [Consultado: mayo del 2022].
62. EEPFIH. Fichas de costo de las producciones agrícolas, *Jatropha*, frijol negro, boniato y calabaza. Departamento de Economía. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, código 223.0.6787. Ministerio de Educación Superior. 2022.
63. El Shaieny, A.A. & Bashandy, T. Effect of planting dates on growth, yield and physiological traits of Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench.), and field evaluation for heat tolerance. *Journal of Plant Production*. 13 (5): 141-150. 2022.
64. Ellison, C. & Kenis, M. ¿Por qué los agricultores abandonan el cultivo de *Jatropha*?. *Energía para el Desarrollo Sostenible*. 42: 77-86. 2018.
65. Escobar, R. Análisis del crecimiento y rendimiento del Camote en monocultivo y en asociación con Frijol, Maíz y Yuca. Tesis sometida a la consideración de la comisión de estudios de postgrados del programa conjunto UCR-CATIE para optar por el grado de Magister Scientiae. Universidad de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 101 p. 1975.
66. Espinosa, A.; Ruiz, L.; Rivera, R. & Espinosa, E. Efecto del Nitrógeno y hongos micorrízicos arbusculares en dos clones comerciales de boniato sobre un suelo Pardo mullido carbonatado. *Centro Agrícola*. 42 (2):39-46. 2015.
67. Espinoza, M.; Ríos, A.M.; Martínez, A.L.; Ramírez, J.V.; García, C. & Arévalo, M.L. Recubrimiento comestible con base de Piñón mexicano (*Jatropha curcas*), sobre la calidad de chayote minimamente procesado. *Agroproductividad*. 11 (9): 3-8. 2018.
68. Ewunie, G.A.; Morken, J.; Lekang, O.I. & Yigezu, Z.D. Factors affecting the potential of *Jatropha curcas* for sustainable biodiesel production: A critical review. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 137 (110500). 2020.



69. Falasca, Silvia Liliana & Ulberich, Ana. Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con *Jatropha sp.* (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*). Revista Virtual REDESMA: 101-115. 2008.
70. FAO. Los fertilizantes y su uso. Guía de bolsillo para los oficiales de extensión. Cuarta edición. FAO – IFA. 77 p. 2002.
71. FAO. World reference base for soils resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO. World Soil Resources Reports 106. 191 p., 2014.
72. FAOSTAT. Comercio. Cultivos y productos de ganadería. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/TP>. 2020. [Consultado: enero del 2022].
73. Fernandes, J. D. Fenologia e produção do pinhão manso cultivado com diferentes fontes de adubação. Revista Ciência Agronômica. Fortaleza. 44 (2): 339-346. 2013.
74. Figueroa, M.; Montero, L. & Sánchez, O. Aproximación etnohistórica sobre el uso y semidomesticación de la xuta (*Jatropha curcas* L.) en la Nueva España. Relaciones Estudios de Historia y Sociedad. 41 (162): 62-85. 2020. DOI: 10.24901/rehs.v41i162.790.
75. Flores, A.R. Composición de aminoácidos en poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.). Tesis para obtener el grado de maestro en Ciencias Alimentarias. Universidad Veracruzana. 91 p. 2018.
76. Flores, Teresa de Jesús; Adriano, María de Lourdes; Ovando, I. & Ruiz, Sonia. Detoxificación de la torta residual de *Jatropha curcas* L. mediante hongos endófitos. IBCIENCIAS. 3 (1): 7-16. 2020.
77. Francis, G.; Edinger, R. & Becker, K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. 24 p. 2005.
78. Gabriel, K.R. The Biplot graphic display of matrices with applications to principal components analysis. Biometrika, 58 (3): 453-467. 1971.
79. Galaz, Rosa; Avilez, R.; Ucan, C.; Chan, J.; & Loyola, V. *Jatropha curcas* una alternativa para la obtención de biodiésel sin afectar al sector alimentario. Biotecnología. 16 (2): 94–114. 2012.

80. Galon, L.; Gabiatti, R.L.; Renata, Luciane; Weirich, Sabrina Natalia; Radün, A.L.; Brandler, Daiani; Brunetto, L.; Loureiro, A.M.; Aspiazú, I. & Perin, G.F. Competition between corn hybrids with weeds. *SAS*. 2 (1) e 21101: 1-26. 2021.
81. Gallardo, G.; Chávez, Elvira & Contreras, Martha. Evaluación del efecto antibacteriano del látex de *Jatropha curcas* “piñón” frente a *Staphylococcus aureus*. *Duazary*. 16 (1): 105 – 114. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21676/2389783X.2533>.
82. Gangapur, D.; Agarwal, P. & Agarwal, P. Molecular markers for genetic diversity studies in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). *AIMS Environmental Science*. 5 (5): 340–352. 2018.
83. Gaona, J.A. Identificación de áreas aptas para el cultivo del Piñón (*Jatropha curcas* L.) en Colombia, como alternativa de obtención de biocombustible. Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ecólogo. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. 2009.
84. García, P. Los arreglos espaciales en la producción comercial del maíz tropical. *Rev. Tayacaja*. 1 (1): 61-68. 2018.
85. Gaudio, Noémie; Escobar, A.; Casadebaig, P.; Evers, J.; Gérard, F.; Louarn, G.; Colbach, Nathalie; Munz, S.; Launay, Marie; Marrou, Hélène; Barillot, R.; Hinsinger, P.; Bergez, J.E.; Combes, D.; Durand, J.L.; Frak, Ela; Pagès, L.; Pradal, C.; Saint-Jean, S.; Van Der Werf, W. & Justes, E. Current knowledge and future research opportunities for modeling annual crop mixtures (Review). *Agronomy for Sustainable Development*. 39: 20 p. 2019.
86. Ghosh, A.; Patolia, J.S.; Chaudhary, D.R.; Jitendra, S.N.; Kumar, R.D.; Boricha, G.N. & Zala, A. Response of *Jatropha curcas* under different spacing to *Jatropha* de-oiled cake. Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and genetics. Wageningen, the Netherlands: March 26-28. 2007.
87. Giletto, C.; Monti, M.C.; Ceroli, P. & Echeverría, H. Efecto de la fertilización con nitrógeno sobre la calidad de tubérculos de papa (Var. Innovator) en el sudeste Bonaerense. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 14 (2): 217-222. 2013.

88. Gonfa, Yadessa; Adane, L. & Marchetti, J.M. Effects of different extraction solvents on oil extracted from *Jatropha* seeds and the potential of seed residues as a heat provider. *BioEnergy Research*. 14:1207–1222. 2021.
89. Góngora, C.C.; Martínez, G.; Uc, A. & López, Guadalupe. El cultivo de *Jatropha curcas* L. en el Sureste de México. Paquete tecnológico. (Ed. Marfil, Paola). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). México. 69 p. 2018.
90. Gonzales, L. Optimización de la poda de renovación en plantas establecidas de Piñón blanco *Jatropha curcas* en Picota – San Martín – Perú. Tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. 88 p. 2011.
91. González, C.; Giménez, Laura & Burgos, Angela. Evaluación del rendimiento potencial de cuatro cultivares de batata (*Ipomoea batatas* (L.) (Lam.) en Corrientes. *Agrotecnia*. 30: 89-96. 2020.
92. Govaerts, R.; Frodin, D.G.; Radcliffe, A. & Carter, S. Royal botanic gardens kew world checklist and bibliography of Euphorbiaceae (with Pandaceae). *World Checklists and Bibliographies*. vol 4. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, UK. 2012.
93. Guedes, A. Tipos de desenhos de investigacao: experimentais, quase experimentais e nao experimentais. <http://www.ininvestigalog.com/investigacion/tipos-de-desenhos-de-investigacao-experimentais-quase-experimentais-e-nao-experimentais/>. [Consultado: septiembre de 2020]. 2010.
94. Hartmann, H.T.; Kester, D.E.; Davies, F.T. & Geneve, R.L. *Plant Propagation: Principles and Practices*. 6th ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 770 p. 1996.
95. Hawkins, D. & Wigglesworth, T. Too good to burn: *J. curcas* Sector Review. Hardman Agribusiness. London, United Kingdom. 56 p. 2017.
96. Heller, J. *Jatropha curcas* L. Promoción de la conservación y uso de cultivos subutilizados y desatendidos: 293–302. 2019.
97. Hernández, A.; Morales, M.; Borges, J.; Vargas, D.; Cabrera, J.A.; Ascanio, M.O. y col. Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la

- “Llanura Roja de La Habana”, por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias, Proyecto de Innovación Agropecuaria Local. 155p. 2014.
98. Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D. & Castro, N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Instituto de Suelos. Cuba. 91p. 2015.
99. Hernández, J.D. Evaluación de *Jatropha curcas* en sistemas agroforestales para la producción de biocombustibles en el norte de Veracruz. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 102 p. 2011b.
100. Hernández, Lisandra; Santan, Y.; Carrodegua, S.; Del Busto, A.; Doval, A.; Lugo, B.; Pita, A. & Hernández, R. Respuesta agronómica de clones de boniato y afectación por tetuán del boniato en Pinar del Río. Revista Centro Agrícola. 45 (4): 90-94. 2018.
101. Hernández, M. Guía técnica para la producción de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) en Michoacán. Folleto Técnico (2). 52 p. 2011a.
102. Iguarán, C.J.; Cabrales, R. & Marrugo, J.L. Determinación de la fertilización en la producción y calidad del aceite de piñón (*Jatropha curcas* L.). Temas Agrarios. 24 (1): 9-16. 2019.
103. INSMET. Hojas de asentamiento de las variables meteorológicas diarias. Estación agrometeorológica de Indio Hatuey. Instituto de Meteorología. CITMA. Cuba. 2016.
104. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). INIVIT C-2010 nueva variedad de calabaza. Boletín INIVIT. Año 4 (1). 8 p. 2014.
105. Inzunza, J.C. Clasificación de los climas de Köppen. Ciencia Ahora. 15 (8). 2005.
106. Iverson, A.L. Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. Journal of Applied Ecology. 51: 1593-1602. 2014.
107. Izquierdo, María; Santana, Y.; García, Adalmarys; Carrodegua, S.; Aguiar, Irisley; Ruiz, M.; Faure, B. & Monrabal, Leticia. Respuesta agronómica de cinco cultivares de frijol común en un agroecosistema del municipio Consolación del Sur. Revista Centro Agrícola. 45 (3): 11-16. 2018.

108. Jablonski, S.; Kulazynski, M.; Sikora, Ilona & Lukaszewicz, M. The influence of different pretreatment methods on biogas production from *Jatropha curcas* oil cake. *Journal of Environmental Management*. 203: 714-719. 2017.
109. Joker, D. & Jepsen, J. Seed leaflet. *Jatropha curcas* L. 2003. [http://www.dfsc.dk/pdf/Seedleaflets/jatropha\\_curcas\\_83.pdf](http://www.dfsc.dk/pdf/Seedleaflets/jatropha_curcas_83.pdf). [Consultado: mayo de 2021].
110. Jones, N. & Miller, J.H. *Jatropha curcas*: A multipurpose species for problematic sites. The World Bank, Washington D.C., USA, ASTG Technical Papers-Land Resources. 1:1-12. 1992.
111. Kalannavar, V.N. Effect of major nutrients on growth and yield of *Jatropha curcas* L. *Karnataka J. Agric. Sci.* 22:1095-1096. 2009.
112. Kannan, R. & Kannan, S. Influence of bioinoculants on growth parameters of *Jatropha curcas*. *Inter. J. Sci. Res.* 2 (8): 5-6. 2013.
113. Khanal, U.; Stott, K.J.; Armstrong, R.; Nuttall, J.G.; Henry, F.; Christy, B.P.; Mitchell, M.; Riffkin, P.A.; Wallace, A.J.; McCaskill, M.; Thayalakumaran, T. & O'Leary, G.J. Intercropping—Evaluating the Advantages to Broadacre Systems (Review). *Agriculture*. 11 (453): 1-20. 2021.
114. Kiefer, J. Die PurgiernuB (*Jatropha curcas* L.) Ernteprodukt, Vervendungsalternativen, Wirtschaftliche Überlegungen. Diploma thesis University Hohenheim, Stuttgart. 1986.
115. Kremer, C.; Parada, F.; Homer, I. & Seguel, O. Eficiencia del uso del agua transpirada (w) y normalizada (kDa) en plantas jóvenes de *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.), en la región de Coquimbo, Chile. *IDESIA (Chile)*. 38 (4): 65-72. 2020.
116. Lallana, V.H. & Lallana, María del Carmen. Manual de prácticas de fisiología vegetal. Primera edición. Universidad Nacional Entre Ríos. Paraná. 226 p. 2017.
117. Lama, A.D.; Kim, J.; Martiskainen, O.; Klemola, T.; Salminen, J.P. & Niemelä, P. Impacts of simulated drought stress and artificial damage on concentrations of flavonoids in *Jatropha curcas* (L.), a biofuel shrub. *J. Plant Res.* 129:1141-1150. 2018 a. DOI:10.1007/s10265-016-0850-z.

118. Lama, A.D.; Klemola, T.; Saloniemi, Irma; Niemela, Pekka & Vuorisalo, T. Factors affecting genetic and seed yield variability of *Jatropha curcas* (L.) across the globe (Review). *Energy for sustainable development*. 42: 170-182. 2018b.
119. Lambers, H.; Chapin, F.S. & Pons, T.L. Photosynthesis, respiration, and long distance transport. *Plant Physiological Ecology*. 153 p. 1998.
120. Laviola, B.G. & Dos Santos L.A. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de Pinhão-manso. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:1969-1975. 2008.
121. Laviola, B.G. & Rodrigues, E.V. Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Agroenergia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF: Embrapa. 423 p. 2019.
122. Laviola, B.G.; Medeiros, D. & Marana, J.C. Avaliação de genótipos de Pinhão manso em diferentes sistemas de condução. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1. João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais. Campina grande: Embrapa Algodão: 1568-1572. 2010.
123. Laviola, B.G.; Rodrigues, E.V.; Teodoro, P.E.; Peixoto, L. de A. & Bhering, L.L. Biometric and biotechnology strategies in *Jatropha* genetic breeding for biodiesel production. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 76: 894-904. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.116>.
124. Li, H.; Tsuchimoto, S.; Harada, K.; Yamasaki, M.; Sakai, H.; Wada, N.; Alipour, A.; Sasai, T.; Tsunekawa, A.; Tsujimoto, H.; Ando, T.; Tomemori, H.; Sato, S.; Hirakawa, H.; Quintero, V.P.; Zamarripa, A.; Santos, P.; Hegazy, A.; Ali, A.M. & Fukui, K. Genetic tracing of *Jatropha curcas* L. from its Mesoamerican origin to the world. *Plant Sci.* 07. 2017. DOI:<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01539>.
125. Li-chao, Z.; Rui-zhi, X.; Bo, M.; Shao-kun, L. & Da-ling, M. Evaluation and analysis of intraspecific competition in maize: A case study on plant density experiment. *Journal of Integrative Agriculture*. 17(10): 2235–2244. 2018.
126. López, G.; Chamé, E.; Gómez, J. & Barrera, J. First Report of *Trigona fuscipennis* and *T. nigerrima* Chewing Tissues of *Jatropha curcas* L. in Southern Chiapas, Mexico, Southwestern. *Entomologist*. 44 (2): 503-507. 2019a.

127. López, G.; Solís, J.L.; Beu, Biaani; Herrera, Elizabeth & Zamarripa, A. Agronomy of *Jatropha curcas* in Mexico. In: *Jatropha*, Challenges for a New Energy Crop. Vol. 3: A Sustainable Multipurpose Crop. Sujatha Mulpuri; Bir Bahadur & Nicolas Carels (Eds.): 255-272. 2019b.
128. Machado, Magalys. Evaluación productiva de cuatro clones de boniato en el litoral de Campechuela. REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local. 16: 391-400. 2020.
129. Machado, R. & Brunet, J. Colecta y caracterización de procedencias de *Jatropha curcas* L. Pastos y Forrajes. 37 (2): 145-150. 2014.
130. Machado, R. & Suárez, J. Comportamiento de tres procedencias de *Jatropha curcas* en el banco de germoplasma de la EEPF “Indio Hatuey”. Pastos y Forrajes. 32 (1): 29-37. 2009.
131. Maes, W.H.; Achten, W.M.J.; Reubens, B.; Raes, D.; Samson, R. & Muys, B. Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. Journal of Arid Environments. 73: 877–884. 2009.
132. Manrique, A. Evaluación de la producción de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.) con tres densidades de siembra y tres tipos de poda en el distrito de la banda de Shilcayo-San Martín-Perú. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto-Perú. 104 p. 2013.
133. Maqueira, L.; Rojan, O.; Pérez, S. & Torres, W. Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la localidad de los Palacios. Cultivos Tropicales. 38 (3): 58-63. 2017.
134. Mariños, Emily. Estudio de prefactibilidad para la producción de piñón blanco (*Jatropha curcas*) en 410,73 has. en el fundo San Alberto-Chepen-La Libertad. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Trujillo. Perú. 143 p. 2015.
135. Marques, O.J.; Rodrigues, F.S.; Pedrotti, A.; Vidal, L.D. & Silva, Renata. Root system of *Jatropha curcas* provides resistance and strength to the soil. Communications Soil Science and Plant Analysis. 2022a. DOI: 10.1080/00103624.2022.20

136. Marques, P.R.; Donato, S.L.; São José, A.R.; Rosa, R. & Arantes, A. Nutritional status and production of 'Prata-Anã' (AAB) and 'BRS Platina' (AAAB) banana plants with organic fertilization. *Nativa Sinop.* 10 (1): 60-68. 2022b.
137. Marrone del Cid, J.A. Efecto de las deficiencias nutricionales en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*). Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura. Universidad de Zamorano, Honduras. 35 p. 2009.
138. Martínez, F.E.; Sarmiento, Jenny; Fischer, G. & Jiménez, F. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana.* 26 (3): 389-398. 2008.
139. Martínez, S.J.; Gil, V.D.; Rodríguez, Gudelia; Quintero, E. & Colás, Ariany. Regionalización de cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en la provincia Villa Clara. *Revista Centro Agrícola.* 47 (4): 5-11. 2020.
140. Martiñón, A.; Figueroa, R.; Piña, J.; Castro, C.; Leana, J.L. & Aguilar, D. Evaluación de biofertilizantes y enraizador hormonal en *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 8 (2): 463-469. 2017.
141. Mazabanda, A.O. Determinación del rendimiento y rentabilidad del maíz (*Zea mays* L.) y fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) sembrados en sistema de cultivos asociados en la zona de Babahoyo. Trabajo Experimental presentado como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. 40 p. 2019.
142. Mbayaki, C. & Karuku, G. Growth and yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) monocrops versus intercrops in the semi-arid Katumani, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 24 (99): 1-16. 2021.
143. Mejía, Nelly; Mendoza, H.; López, J.; Cedeño, L. & Ponce, W. Rendimiento inicial de líneas de piñón (*Jatropha curcas* L.) bajo dos métodos de siembra. *Revista La Técnica.* 15: 46-56. 2015.
144. Mesa, A.; Naranjo, M.; Cancio, R.; Martí, A.; Clemente, B. & Suárez, O. Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos. 2 ed. Ciudad de La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación. 1984.



145. Ministerio de la Agricultura (MINAG). Guía Técnica para el cultivo del frijol en Cuba. La Habana. Instituto de Investigaciones Horticolas Liliana Dimitrova. 2009.
146. Ministerio de la Agricultura (MINAG). Instructivo técnico del cultivo de la calabaza. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales. Cuba. 11 p. 2007.
147. Ministerio de la Agricultura (MINAG). Instructivo Técnico sobre el cultivo del boniato. SEDARI/AGINFOR. Ciudad de la Habana, Cuba: 24 p. 2012.
148. Mitra, S.; Ghose, A.; Gujre, N.; Senthilkumar, S.; Borah, P.; Paul, A. & Rangan, L. A review on environmental and socioeconomic perspectives of three promising biofuel plants *Jatropha curcas*, *Pongamia pinnata* and *Mesua férrea*. Biomass and Bioenergy. 151 (106173). 2021.
149. Molina, Dilma Aurora. Comportamiento del cultivo de café (*Coffea Arabica* L.) en un sistema agroforestal establecido, en la parroquia Peñaherrera, Imbabura. Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria. Universidad técnica del norte. Ibarra. Ecuador. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10505>. [Consultado: junio de 2021]. 2020.
150. Montecé, M.K. Distancias de siembra, frecuencias de corte y altura de rebrote en la producción y calidad del forraje de moringa (*Moringa oleífera*). Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniera Zootécnica. Universidad técnica estatal de Quevedo-Ecuador. 66 p. 2019.
151. Montenegro, O. Absorción de macronutrientes por *Jatropha curcas* L. para la producción de Biodisel en un inceptisol de Colombia. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. 180 p. 2017.
152. Morales, A.T. Mejoramiento genético del boniato (*Ipomoea batatas* L. Lam) en Cuba. Curso Internacional en la corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Disponible en: [http://cadenahortofruticola.org/admin/bibli916mejoramiento\\_genetico\\_COL.pdf](http://cadenahortofruticola.org/admin/bibli916mejoramiento_genetico_COL.pdf). [Consultado: septiembre de 2020]. 2014.

153. Morales, A; Tejón, A; Rodríguez del Sol, Dania; Pastrana, I & Méndez, Claudia. Origen, evolución y distribución del boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) (Revisión). Rev. Agricultura Tropical. 3 (1):1-13. 2017b.
154. Morales, Martha; Peña, Cecilia; García, A.; Aguilar, Gisela & Kohashi, J. Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. Agrociencia. 51: 43-62. 2017a.
155. Moreira, I.; Arnáez, E.; Castillo, M.; Briceño, E. & Arias, D. Use of pruning in the agricultural management of *Jatropha curcas* (jatropha) for the plant flower development, in Costa Rica. Tecnología en Marcha. 32 (1): 68-76. 2019.
156. Moreno, J.G. Experiencias en el manejo del cultivo de *Jatropha* bajo condiciones de riego y temporal en el norte de Sinaloa. Resultados de proyectos. Centro de Validación y Transferencia de Tecnología de Sinaloa. 25 p. 2014.
157. Morillo, I.R., & Barredo, F. Desarrollo y estructura ontogénica del embrión, semilla y fruto de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). Revista Sudafricana de Botánica. 93: 1-8. 2018.
158. Morla, F.; Giayetto, O.; Cerioni, G. & Fernández, Elena. Arreglo espacial y densidad de plantas. En: El cultivo de maní en Córdoba. Segunda Edición ampliada. Córdoba. Argentina. Fernández, Elena M. y Giayetto O. (Eds). 16 p. 2017.
159. Müller, M.D.; Paciullo, D.S.C.; Martins, C.E.; Da Rocha, W.S.D. & De Castro, C.R.T. Desenvolvimento vegetativo de pinhão manso em diferentes arranjos de plantio em sistemas agrossilvipastoris. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 49 (7): 506-514, 2014.
160. Muñoz, C. Prueba de cuatro densidades y tres arreglos espaciales de siembra en plátano. Tecnología en Marcha. 16 (1): 40-54. 2003.
161. Ndong, R.; Montrejaud, Mireille; Saint, O.; Gabrielles, B.; Pirot, R.; Domergue, Marjorie & Sablayrolles, Caroline. Life cycle assessment of biofuels from *Jatropha curcas* in West Africa: a field study. GCB Bioenergy. 1: 197–210. 2009.
162. Negussie, A.; Achten, W.; Norgrove, L.; Mekuria, W.; Meles, K.; De Both, Greta; Leroy, B.; Hermy, M. & Muys, B. Initial effects of fertilization and canopy management on flowering and seed and oil yields of *Jatropha curcas* L. in Malawi. Bioenerg. Res. 9:1231–1240. 2016.

163. Neupane, D.; Bhattarai, D.; Ahmed, Z.; Das, B.; Pandey, S.; Solomon, J.; Qin, R. & Adhikari, Pramila. Growing *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) as a potential second-generation biodiesel feedstock. *Inventions*. 6 (60): 1-23. 2021.
164. Nguema, P.; Ndoutoume, A.; Oye, Corine Coretta; Nzola, Fabiola Priscille; Ognalaga, M. & Ella, C. Régénération du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) sur un substrat à base de compost de *Jatropha curcas* L. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(2): 1043-1053. 2019.
165. Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI). Anuario Estadístico de Cuba 2020. Capítulo 9: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. República de Cuba. <http://www.onei.cu>. [Consultado: abril de 2021]. 2021.
166. Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI). República de Cuba. Sector agropecuario. Indicadores seleccionados. <http://www.onei.cu> pdf. [Consultado: septiembre de 2020]. 2018.
167. Oficina Nacional de Normalización. Calidad del suelo. Determinación de pH. NC ISO 10390. La Habana: Oficina Nacional de Normalización. 1999.
168. Oficina Nacional de Normalización. Calidad del suelo. Determinación del por ciento de MO. NC 51. La Habana: Oficina Nacional de Normalización. 1999.
169. Oficina Nacional de Normalización. Calidad del Suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio. NC 52. La Habana: Oficina Nacional de Normalización. 12 p. 1999.
170. Oficina Nacional de Normalización. Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes intercambiables del suelo. NC 65 2000. La Habana: Oficina Nacional de Normalización. 10 p. 1999.
171. Olarte, O.; Almaguer, G. & Espinoza, J.R. Efecto de la fertilización foliar en el estado nutricional, la fotosíntesis, la concentración de carbohidratos y el rendimiento en naranjo Valencia Late. *Terra*. 18: 339-347. 2000.
172. Osorio, H.; Leyva, A. & Toledo, E. Evaluación de cultivos de ciclo corto en Rambután (*Nephelium lappaceum* L.) en México utilizando IET. *Cultivos Tropicales*. 38 (3): 7-13. 2017.

173. Patil, S. & Parameshwarappa, K. Silvicultural management of jatropha (*Jatropha curcas* L.) under rainfed conditions, National seminar on changing global vegetable oil scenario: Issues and challenges before India. ISOR: 371-372. 2007.
174. Pérez, E.B. Efecto de la resina de "piñón blanco" *Jatropha curcas* Linn, en control de la "polilla barrenadora" *Hypsipyla grandella* Zeller, en plantaciones de "caoba" en Tabalosos San Martín. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión. 93p. 2018.
175. Pérez, Guadalupe; Islas, J.; Guevara, Mirna & Suárez, R. The sustainable cultivation of Mexican nontoxic *Jatropha curcas* to produce biodiesel and food in marginal rural lands. Sustainability. 11 (5823): 2-19. 2019.
176. Previante, Rebeca; Rabal, Carolina; Gaspareto, Lidiane; Cherubin, Lilian; Valli, Marília; Monteiro, A.F.; Cavalheiro, J.A.; Regina, A.; Castro, I.; Furlan, Maysa; Da Silva, V. & Siqueira, Dulce Helena. Plant species from the Atlantic forest biome and their bioactive constituents. Brazilian Medicinal Plants: 217-256. 2019.
177. Prezotti, L.C. Fertilização do cafeeiro. In: Zambolim, L. Tecnologias de produção de café com qualidade. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa: 607-615. 2001.
178. Primandari, Sri Rizki; Aminul, A.K.M.; Yaakob, Zahira & Chakrabarty, Swapan. *Jatropha curcas* L. biomass waste and its utilization. In: Advances in biofuels and bioenergy. (Eds) Nageswara, M. and Soneji, Jaya. 292 p. 2018. DOI: 10.2772/intechopen.72803.
179. Ramos, Diana. Caracterización fisicoquímica del piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) como fuente de aceite no convencional para la generación de biocombustibles. Tesis para obtener el título de Ingeniero Petrolero. Instituto Tecnológico de Huimanguillo. México. 84 p. 2021.
180. Ravikumar, S.; Syed, A. & Villiammal, N. Biofertilizer effect of halophilic *Azospirillum* on the growth of *Jatropha curcas* L. seedlings. Ann. Biol. Res. 2 (2):153-157. 2011.
181. Rehling, F.; Sandner, T. & Matties, D. Biomass partitioning in response to intraspecific competition depends on nutrients and species characteristics: A study of 43 plant species. Journal of Ecology. 109: 2219-2255. 2021.

182. Rendón, J.R. Producción de café variedad castillo® en altas densidades de siembra con uno y dos tallos por sitio. *Revista Cenicafé*. 72 (1): 94-104. 2021.
183. Rincón, M.; Vargas, Laura I.; Adriano, Lourdes; Vázquez, A.; Salvador, M. & Ovando, I. Reproductive biology of the biofuel plant *Jatropha curcas* in its center of origin. *PeerJ*. 4: 1819-1831. 2016.
184. Rios, E.; González, R.; Cadena, J. & Mera, L. Distribución de las especies cultivadas y parientes silvestres de calabaza (*Cucurbita* L.) en México. *Productividad*. 11 (9): 21-28. 2018.
185. Rizo, A.; Soca, Mildrey; García, D.E.; Arece, J. & Giuponi, Patricia. Efecto repelente del aceite de las semillas de *Jatropha curcas* L. en larvas de *Rhipicephalus (Boophilus microplus)* Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). *Pastos y Forrajes*. 45: 1-7. 2022.
186. Rodríguez, Geosmary. Análisis de Ciclo de Vida de la producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas*. Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”. Cuba. 62 p. 2018.
187. Rodríguez, J.A. Propiedades fisico-mecánicas del guayabo (*Psidium guajava* L.). Trabajo de diploma. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba. 96 p. 2019.
188. Rucoba, A. & Mungía, A. Rentabilidad de *Jatropha curcas* en asociación con cultivos y monocultivo en tierras de temporal en Yucatán. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 33: 565-575. 2013.
189. Sabiu, M.; Gökçekus, H.; Mahmoud, S. & Yunusa, N. An overview study of *Jatropha curcas* as a sustainable green energy and its economic impacts to local farmers in Kano State, Nigeria. *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 8 (3): 1060-1068. 2020.
190. Sama, H.; Ouattara, B.; Hilou, A.; Derra, A.; Yélémou, B. & Hien, V. Variability of morpho-metric traits and oleaginous biofuel potential of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) seeds in Burkina Faso. *African Journal of Agricultural Research*. 13 (52): 2911-2918. 2018.

191. Sánchez, C. Desarrollo rural sostenible: Experiencias de producción de *Jatropha curcas* en dos regiones de México. Tesis presentada para obtener el grado de Doctora en Ciencias en Agrarias. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 243 p. 2021.
192. Sánchez, O.; Valdés, Ofelia; Martínez, J. & Sánchez, Diana. El piñón mexicano no tóxico (*Jatropha curcas* L.): importancia y fundamentos prácticos para su propagación, siembra y cuidados. Instituto Literario de Veracruz. México. 82 p. 2020.
193. Sánchez, X.M.; Corzo, L.J.; Martínez, J.; Cardor, A. & Jiménez, C. Effect of thermal treatment on the extraction efficiency, physicochemical quality of *Jatropha curcas* oil, and biological quality of its proteins. *Journal of Food Science and Technology*. 56: 1567–1574. 2019.
194. Santos, F.; Rodrigues, Lucimar; Galvao, R.; Barbosa, A.; Fernando, R.; Oliva, M.A. & Dos Santos, L.A. Physiological characterization of leaf senescence of *Jatropha curcas* L. populations. *Biomass and Bioenergy*. 45: 57-64. 2012.
195. Segura, M. Efecto de N, P, K y Mycoral sobre el desarrollo vegetativo en el primer año de *Jatropha curcas* L. var. Cabo Verde. Zamorano, Honduras: 4-6. 2010.
196. Senger, Elisa. Characterization and management of *Jatropha curcas* L. germplasm. Dissertation submitted to the Faculty of Agricultural Sciences. Institute of Plant Breeding, Seed Science and Population Genetics. University of Hohenheim, Germany. 59 p. 2018.
197. Silva, R.; De Azevedo, L.; Teodoro, P.E.; Aparecida, Lidiane; Vitario, Erina; Vilela, M.D; Laviola, B.G. & Lopes, L. Selection of *Jatropha curcas* families base on temporal stability of genetic values. *Industrial Crops and Products*. 119: 290-393. 2018.
198. Singh, Y.P.; Mishra, V.K.; Dixit, H. & Gupta, V.K. *Jatropha* (*Jatropha curcas*) based intercropping systems: An alternate land use for rehabilitation of degraded sodic lands. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 89 (1): 9–15. 2019.
199. Soto, F.; Alcaraz, Lilia & Angulo, M.A. Seed oil content and composition of *Jatropha curcas* (L.) and grafted *Jatropha curcas* (L.) on *Jatropha cinerea* (Ortega) Muell. Arg. rootstock. *Rev. FCA UNCUYO*. 51(2): 68-77. 2019.

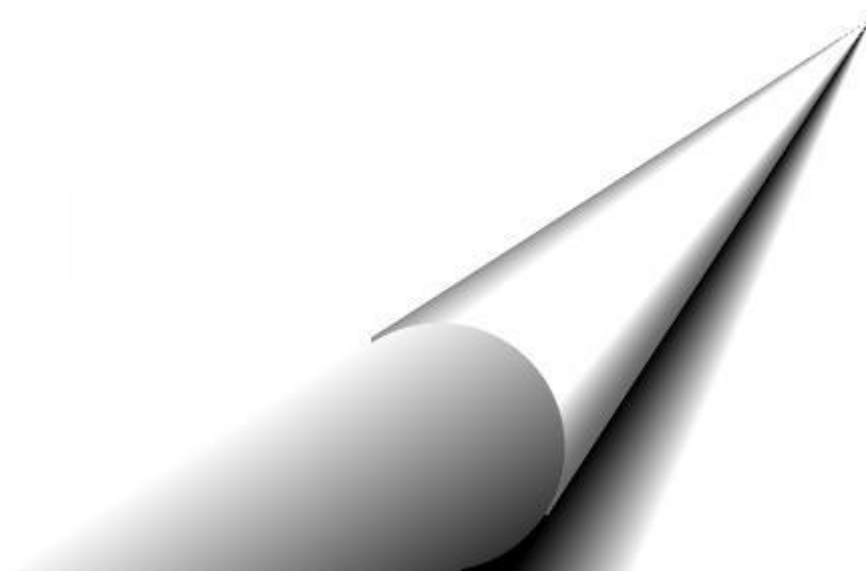
200. Sotolongo, J.A.; Díaz, A.; Montes de Oca, Sofía; del Valle, Yadiris & García, Soraya. Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L. en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo. Tecnología Química. XXVII (2): 76-82. 2007.
201. Suárez, J.; Martín, G.; Cepero, L.; Blanco, D.; Savran, Valentina; Sotolongo, J.A.; López, A.; Fernando, D.; González, O.; Peña, A.; Hernández, M. & Hernández, Milayda. Producción integrada de alimentos y bioenergía: la experiencia cubana. Agroecología. 12 (1): 47-55. 2017.
202. Subbulakshmi, V.; Srinivasan, K.; Divya, M.P. & Mani, S. Effect of spacing and intercropping on the growth of *Jatropha curcas* and availability of light under Aaroforestry system in Tamil Nadu, India. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 8 (6): 995-1002. 2019.
203. Suriharn, B.; Sanitchon, J.; Songsri, P. & Kesmala, T. Effects of pruning levels and fertilizer rates on yield of physic nut (*Jatropha curcas* L.). Asian Journal of Plant Sciences. 10 (1): 52-59. 2011.
204. Tadano, S.; Chiyapo, G.; Ishimoto, Y.; Konaka, T.; Mazereku, C.; Tsujimoto, H. and Akashi, K. Multivariate analysis of seed chemical diversity among *Jatropha curcas* in Botswana. Agronomy. 11 (1570): 1-16. 2021.
205. Taiz, L. & Zeiger, E. Fisiología vegetal. 3.ed. Porto Alegre, Artmed. 719p. 2004.
206. Tamayo, C.V. & Alegre, J.C. Asociación de cultivos, alternativas para el desarrollo de una agricultura sustentable. Siembra. 9 (1): 1-21. 2022.
207. Teniente, O.R.; Tapia, V.L.; Zamarripa, C.A.; González, A.A.; Bonilla, S.J.; Martínez, V.B. & Hernández, M.M. Guía técnica para la producción de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) en Michoacán. Folleto técnico (2). 52 p. 2011.
208. Toral, Odalys; Iglesias, J.M.; Montes de Oca, Sofía; Sotolongo, J.A.; García, Soraya & Torsti, M. *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. Pastos y Forrajes. 31 (3): 191-207. 2008.
209. Tsuchimoto, S. Ed. The *Jatropha* genome. Kalyani, India: Springer International Publishing. 2017.

210. Valverde, Diana Julissa & Ávila, J.E. Respuesta adaptativa de cuatro híbridos comerciales foráneos y dos clones locales de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) en la granja Andil. Trabajo de titulación modalidad proyecto de investigación. Universidad estatal del sur de Manabí. Ecuador. 71 p. 2022.
211. Van Welzen, P.C.; Sweet, F.S.T. & Fernández, F.J. A revision of *Jatropha* (Euphorbiaceae) in Malesia. *Blumea*. 62: 58–74. 2017. DOI:<https://doi.org/10.3767/000651917X695421>.
212. Vandepitte, K.; Valdés, O. A.; Sánchez, O.; De Kort, H.; Martínez, J.; García, E.; De Meyer, T.; Pérez, A.; Muys, B. & Honnay, O. High SNP diversity in the non-toxic indigenous *Jatropha curcas* germplasm widens the potential of this upcoming major biofuel crop species. *Annals of Botany*. 124: 645–652. 2019.
213. Vargas, H.; Menéndez, Fabienne & Paulino, C. Evaluación geoespacial de principales factores limitantes agroproductivos de los suelos de la granja Guayabal. *Revista Científica Educacional de la Provincia Granma*. 17 (2): 30-45. 2021.
214. Vásquez, Marcela; Fuchs, E.J.; Hernández, E.J.; Herrera, F.; Hernández, J. & Moreira, Ileana. Molecular characterization and genetic diversity of *Jatropha curcas* L. in Costa Rica. *Peerj*. 5. e 2931. 2017.
215. Veen, M. Promoción de *Jatropha* en sistemas agroforestales en San Martín, Perú. Assessment report. Perú: SNV Netherlands Development Organisation. Report no:1. Sponsored by HIVOS. 2011.
216. Vélez, L.D.; Clavijo, J.; Moreno, L. & Adolfo, G. Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.) - fríjol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 60 (2): 3965-3984. 2007.
217. Vera, F.; Castro, C.; Gutiérrez, X. & Vásquez, G. Alternativas agroecológicas para el control y manejo de arvenses en competencia específica con el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. 2020.
218. Wan, Q.; Huang, Y.; Xiao, X.; Li, Y. & Ding, B. The preliminary report on seed character and seedling growth of *Jatropha curcas* geographical provenances. *J Fujian For Sci Technol*. 33: 13–16. 2006.



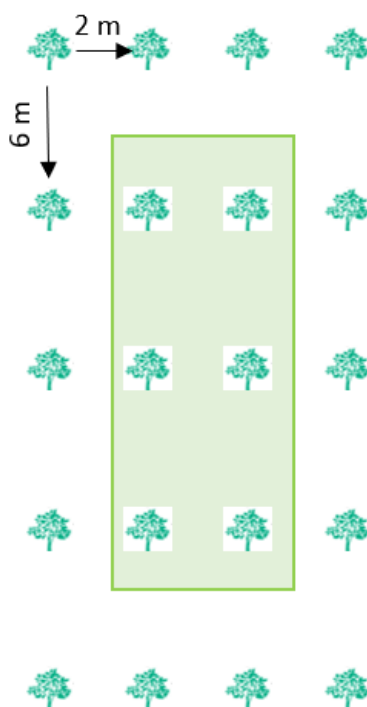
219. Wencomo, Hilda Beatriz; Pérez, A.; García, E. & Valdés, Ofelia Andrea. Caracterización morfoagronómica de accesiones no tóxicas de *Jatropha curcas* L. Pastos y Forrajes. 43 (3): 236-245. 2020.
220. Wencomo, Hilda. Actividad de la enzima nitrato reductasa en plántulas de *Jatropha curcas* L. bajo diferentes porcentajes de sombra. Pastos y Forrajes. 42 (4): 268-276. 2019.
221. Wulchafo, K. & Geja, W. Review paper on origin, description, distribution and economic importance of *Jatropha curcas*. International Journal of Current Research and Academic Review. 7 (6): 22-30. 2019.
222. Zamarripa, A. & Solís, J.L. (Eds). *Jatropha curcas* L. alternativa bioenergética en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 167 p. 2013.
223. Zamarripa, A.; Solís, J.L.; González, A.; Teniente, R.; Martínez, B. & Hernández, M. Guía técnica para la producción de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) en Chiapas. Folleto Técnico No. 26. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chis., México. 82 p. 2011.
224. Zavala, I. Caracterización morfogenética de accesiones de *Jatropha curcas* L., recolectadas en el Estado de Veracruz, México. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz. México. 2016.
225. Zimila, H.; Mandlate, J.; Ngovene, T.; Nakao, M. & Uamusse, Amália. Efficient vortex-assisted extraction of phorbol esters from *Jatropha* leaves and correlation between leaves and seeds in phorbol esters content. S. Afr. J. Chem. 75: 156–161. 2021.

# *Anejos*





**ANEXO 3. Parcela experimental de *Jatropha curcas* L. Experimentos 1 y 2.**



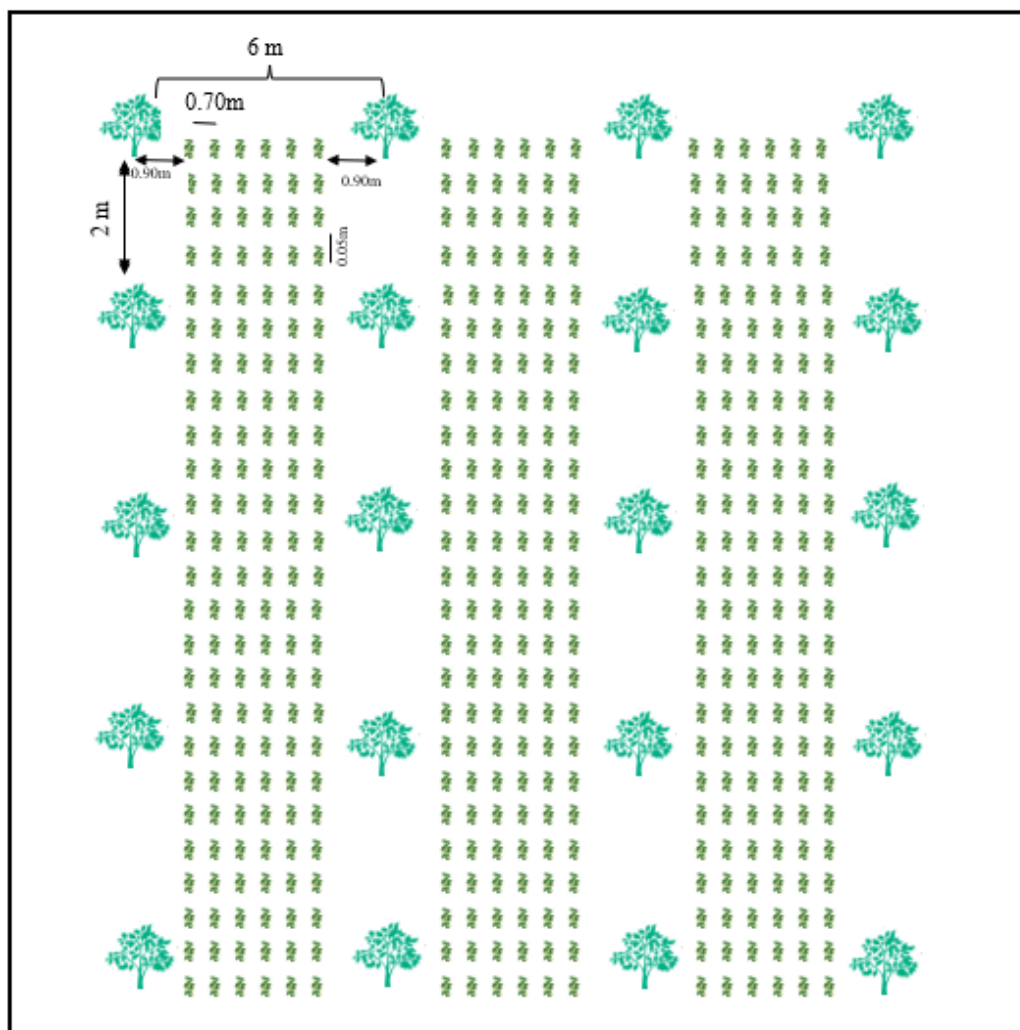
 Plantas de *Jatropha curcas* L.

Distancia de siembra 6 x 2 m

Parcelas experimentales 240 m<sup>2</sup> (20 plantas)

Área de cálculo 72 m<sup>2</sup> (6 plantas por parcela)

**ANEXO 4. Parcela experimental de *Jatropha curcas* L. asociada a frijol en los experimentos 1 y 2.**



Plantas de *Jatropha curcas* L. sembradas a una distancia de 6 x 2 m

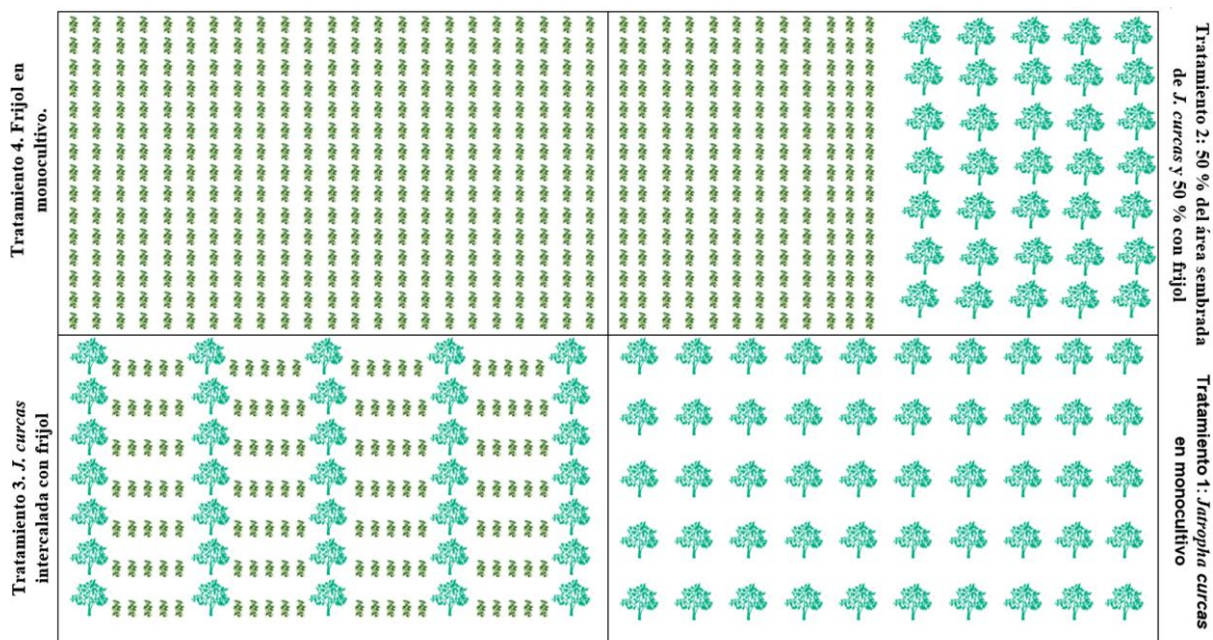


Plantas de frijol sembradas a 0,70 x 0,05 m separadas a 0,90 m de los surcos de la arbórea, para un total de 18 surcos por parcela.

Parcelas experimentales 240 m<sup>2</sup>

Área de cálculo 72 m<sup>2</sup>

**ANEXO 5. Parcela experimental de *Jatropha curcas* L. asociada a frijol en diferentes arreglos espaciales (experimento 3).**



Plantas de *Jatropha curcas* L.



Plantas de frijol.

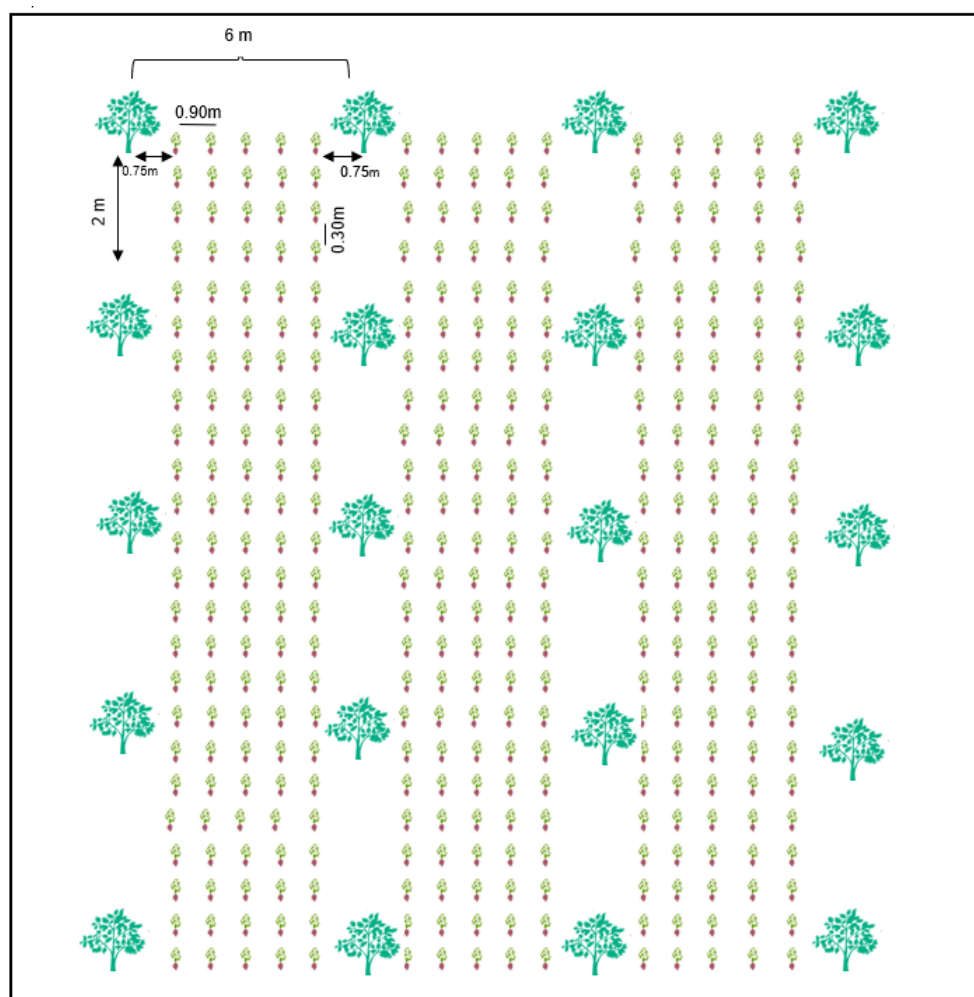
Tratamiento 1: *Jatropha curcas* en monocultivo sembrada a 2,5x 2,0 m, compuesto por diez surcos.

Tratamiento 2: 50 % del área sembrada de *Jatropha curcas* a 2,5x 2,0 m, compuesto por cinco surcos más 50 % con frijol a una distancia de  $0,70 \times 0,05$  m, para un total de 17 surcos.

Tratamiento 3: *Jatropha curcas* sembrada a 5,0 x 2,0 m, compuesto por cinco surcos intercalada con frijol a una distancia de  $0,70 \times 0,05$  m y separados de la arbórea en los extremos a 0,75 m. Entre dos surcos de *Jatropha* se sembraron cinco surcos de frijol.

Tratamiento 4: frijol en monocultivo sembrado  $0,70 \times 0,05$  m, compuesto por 35 surcos.

**ANEXO 6. Parcela experimental de *Jatropha curcas* L. asociada a boniato en los experimentos 1 y 2.**



Plantas de *Jatropha curcas* L. sembradas a una distancia de 6 x 2 m

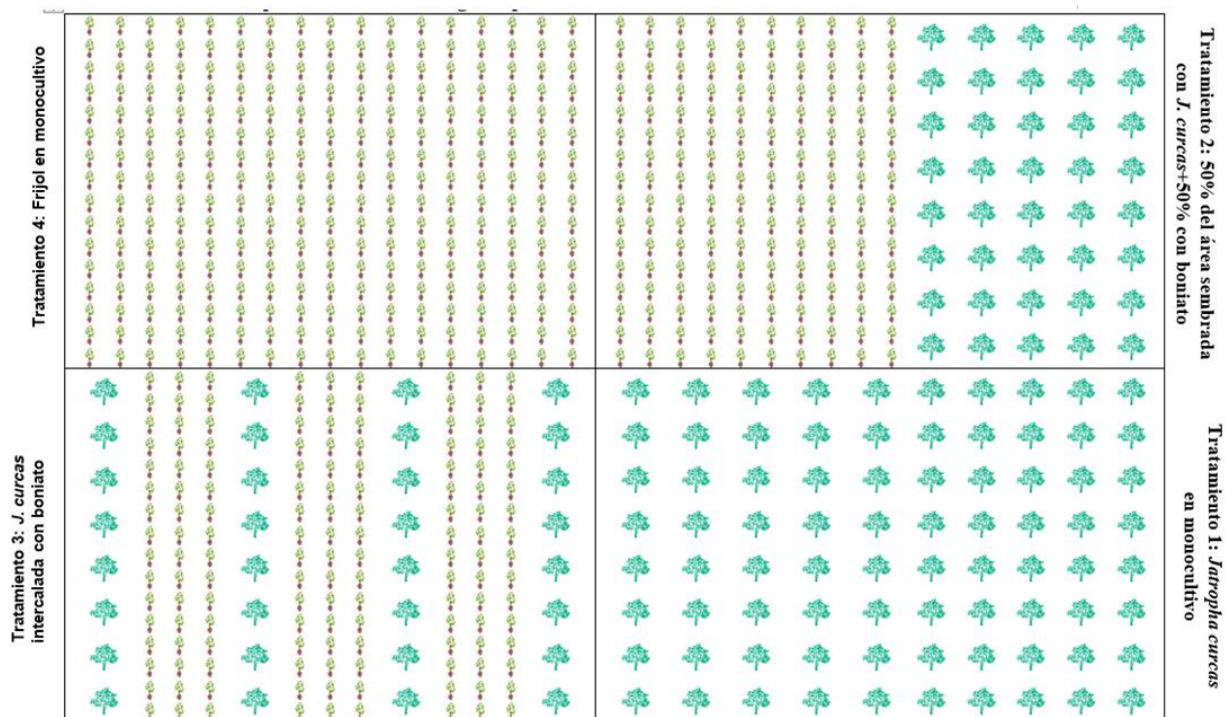


Plantas de boniato sembradas a 0,90 x 0,30 m separadas a 0,75 m de los surcos de la arbórea, para un total de 15 surcos por parcela.

Parcelas experimentales 240 m<sup>2</sup>

Área de cálculo 72 m<sup>2</sup>

## ANEXO 7. Parcela experimental de *Jatropha curcas* L. asociada a boniato en diferentes arreglos espaciales (experimento 3).



Plantas de *Jatropha curcas* L.



Plantas de boniato.

Tratamiento 1: *Jatropha curcas* en monocultivo sembrada a 2,5x 2,0 m, compuesto por diez surcos.

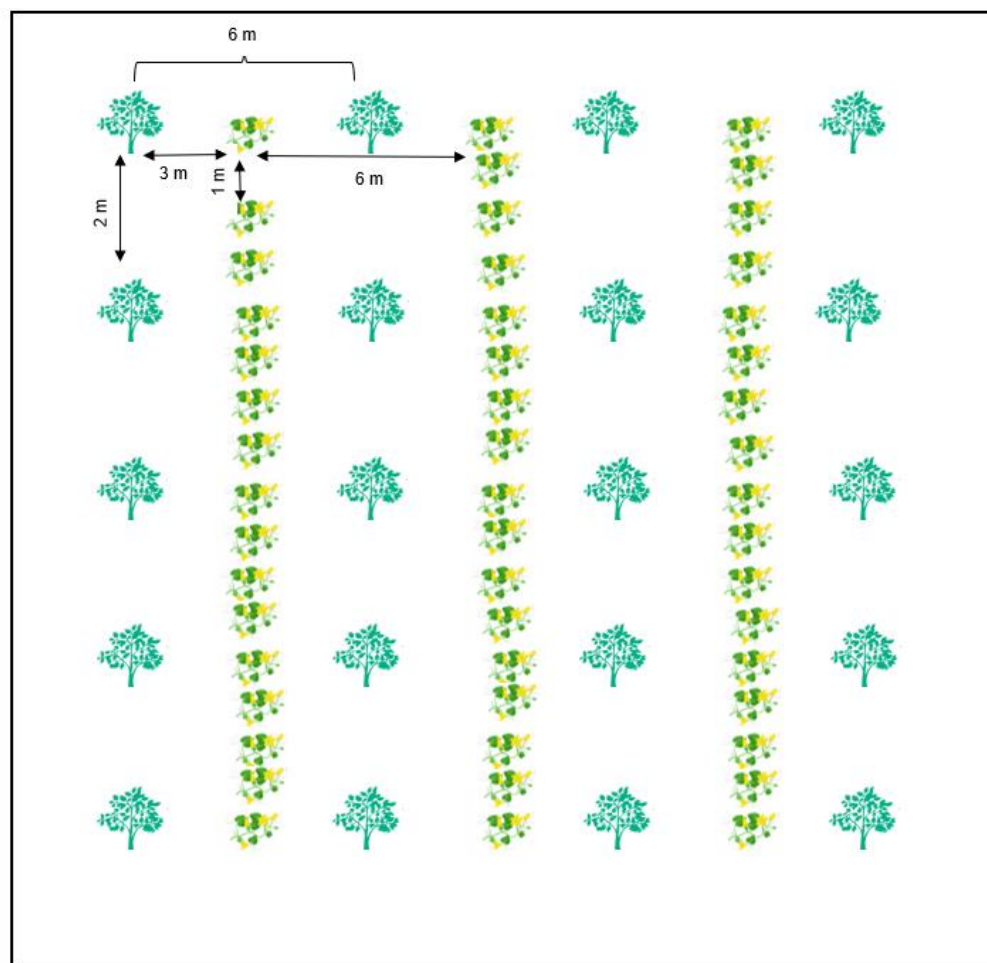
Tratamiento 2: 50 % del área sembrada de *Jatropha curcas* a 2,5x 2,0 m, compuesto por cinco surcos más 50 % con boniato a una distancia de 0,90 × 0,30 m, para un total de 13 surcos.

Tratamiento 3: *Jatropha curcas* sembrada a 5,0 x 2,0 m, compuesto por cinco surcos intercalada con boniato a una distancia de 0,90 × 0,30 m y separados de la arbórea en los extremos a 0,70 m. Entre dos surcos de *Jatropha* se sembraron cuatro surcos de boniato.

Tratamiento 4: boniato en monocultivo sembrado a 0,90 × 0,30 m, compuesto por 27 surcos.



**ANEXO 8. Parcela experimental de *Jatropha curcas* L. asociada a calabaza en los experimentos 1 y 2.**



Plantas de *Jatropha curcas* L. sembrada a una distancia de 6 x 2 m

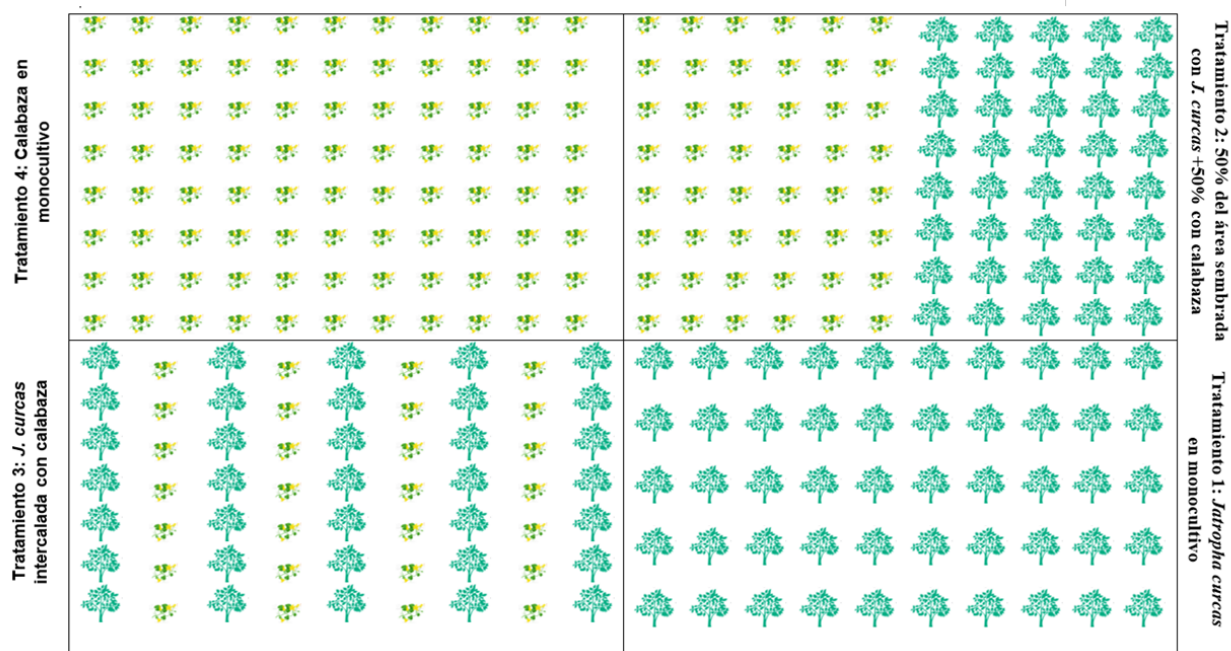


Plantas de calabaza sembradas a 6 x 1 m separadas a 3 m de los surcos de la arbórea, para un total de tres surcos por parcela.

Parcelas experimentales 240 m<sup>2</sup>

Área de cálculo 72 m<sup>2</sup>

**ANEXO 9. Parcela experimental de *Jatropha curcas* L. asociada a calabaza en diferentes arreglos espaciales (experimento 3).**



Plantas de *Jatropha curcas* L.



Plantas de calabaza.

Tratamiento 1: *Jatropha curcas* en monocultivo sembrada a 2,5x 2,0 m, compuesto por diez surcos.

Tratamiento 2: 50 % del área sembrada de *Jatropha curcas* a 2,5x 2,0 m, compuesto por cinco surcos más 50 % con calabaza a una distancia de 5 x 1 m, para un total de 2 surcos.

Tratamiento 3: *Jatropha curcas* sembrada a 5,0 x 2,0 m, compuesto por cinco surcos intercalada con calabaza a una distancia de 5 × 1 m, quedó un surco de calabaza dispuesto en el centro de las calles de la arbórea.

Tratamiento 4: calabaza en monocultivo sembrada a 5 × 1 m, compuesto por cinco surcos.

**ANEXO 10. Precio de venta del frijol, el boniato y la calabaza (Delegación de la agricultura Colón, Matanzas)**


<b>Cultivo</b>	<b>Precio de venta (\$ t)</b>
<b>Frijol</b>	86 800
<b>Boniato</b>	13 020
<b>Calabaza</b>	10 850

ANEXO 11 A. Ficha técnica para *Jatropha curcas* L. en monocultivo.

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
UP TRATAMIENTO ESPECIAL			
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		CÓDIGO: 01490.0000	
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Plan de producción: _____	
Descripción del Producto o Servicio:		PROD-PRINC-JATROPHA CURCAS	
% utiliz:		Capac. Instalada: 1 Hectárea	
Código Prod. o Serv.:		Nivel de producción	
Anterior:		PLAN:	
		REAL:	
	UM:	Kg	Producc. Period.
CONCEPTOS DE GASTOS		Fila	TOTAL
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		<b>1</b>	<b>\$ 14,483.93</b>
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 11,613.50
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 2,870.43
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00
Agua		1.4	\$ 0.00
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		<b>2</b>	<b>\$ 12,445.03</b>
<b>Otros Gastos directos</b>		<b>3</b>	<b>\$ 837.85</b>
Depreciación		3.1	\$ 535.71
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 302.14
<b>Fuerza de trabajo</b>		<b>4</b>	<b>\$ 11,607.18</b>
Salarios		4.1	\$ 10,640.00
Vacaciones		4.2	\$ 967.18
Estimulación en pesos convertibles		4.3	
<b>Gastos indirectos de producción</b>		<b>5</b>	<b>\$ 0.00</b>
Depreciación		5.1	\$ 0.00
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00
<b>Gastos generales y de administración</b>		<b>6</b>	<b>\$ 0.00</b>
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00
Depreciación		6.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00
Alimentos		6.5	\$ 0.00
Salarios		6.6	\$ 0.00
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		<b>7</b>	<b>\$ 0.00</b>
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00
Depreciación		7.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00
Otros		7.5	\$ 0.00
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		<b>8</b>	<b>\$ 0.00</b>
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		<b>9</b>	<b>\$ 26,928.95</b>
Contribución a la Seguridad Social		10	\$ 1,450.90
Prestación Seguridad Social		11	
Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo		12	\$ 580.36
Margen utilidad S/ base autorizada MFP		13	1,866.75
<b>PRECIO</b>		<b>14</b>	<b>\$ 30,826.96</b>
% Sobre el gasto en divisas		15	
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>			
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ		Firma:	Cargo: CONTADORA
Revisado por: DANELYS TORRES HERNÁNDEZ		Firma:	Cargo: ECONÓMICO
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA		Firma:	Cargo: DIRECTOR


DIRECTOR  
 UNIVERSIDAD  
 DE MATANZAS  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 PASTOS Y FORRAJES "INDIO HATUEY"

ANEXO 11 B. Ficha técnica para arreglo espacial 50% *Jatropha curcas* L.

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
UP TRATAMIENTO ESPECIAL			
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		CÓDIGO: 01490.0000 	
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Plan de producción: _____	
Descripción del Producto o Servicio:		PROD-PRINC-50 % JATROPHA CURCAS	
% utiliz:		Capac. Instalada: 1 Hectárea	
Código Prod. o Serv.:		Nivel de producción	
Anterior:		PLAN: REAL:	
UM:	Kg	Producc. Period.	
CONCEPTOS DE GASTOS		Fila	TOTAL
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		<b>1</b>	<b>\$ 14,483.93</b>
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 11,613.50
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 2,870.43
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00
Agua		1.4	\$ 0.00
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		<b>2</b>	<b>\$ 6,641.44</b>
<b>Otros Gastos directos</b>		<b>3</b>	<b>\$ 837.85</b>
Depreciación		3.1	\$ 535.71
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 302.14
<b>Fuerza de trabajo</b>		<b>4</b>	<b>\$ 5,803.59</b>
Salarios		4.1	\$ 5,320.00
Vacaciones		4.2	\$ 483.59
Estimulación en pesos convertibles		4.3	
<b>Gastos indirectos de producción</b>		<b>5</b>	<b>\$ 0.00</b>
Depreciación		5.1	\$ 0.00
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00
<b>Gastos generales y de administración</b>		<b>6</b>	<b>\$ 0.00</b>
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00
Depreciación		6.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00
Alimentos		6.5	\$ 0.00
Salarios		6.6	\$ 0.00
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		<b>7</b>	<b>\$ 0.00</b>
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00
Depreciación		7.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00
Otros		7.5	\$ 0.00
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		<b>8</b>	<b>\$ 0.00</b>
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		<b>9</b>	<b>\$ 21,125.36</b>
Contribución a la Seguridad Social		10	\$ 725.45
Prestación Seguridad Social		11	
Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo		12	\$ 290.18
Margen utilidad S/ base autorizada MFP		13	996.22
<b>PRECIO</b>		<b>14</b>	<b>\$ 23,137.21</b>
% Sobre el gasto en divisas		15	
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>		<b>16</b>	
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ	Firma:	Cargo: CONTADORA	Fecha: 16/02/2022
Revisado por: DANIELYS TORRES HERNÁNDEZ	Firma:	Cargo: ECONÓMICO	
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA	Firma:	Cargo: DIRECTOR	


DIRECTOR  
 UNIVERSIDAD  
 DE MATANZAS  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 PASTOS Y FORRAJES "INDIO HATUEY"

ANEXO 11 C. Ficha técnica para arreglo espacial *Jatropha curcas* L. intercalada.

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
UP TRATAMIENTO ESPECIAL			
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		CÓDIGO: 01490.0000 	
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Plan de producción: _____	
Descripción del Producto o Servicio:		PROD-JATROPHA CURCAS INTERCALADA	
% utiliz:		Capac. Instalada: 1 Hectárea	
Código Prod. o Serv.:		Nivel de producción	
Anterior:		PLAN: REAL:	
	UM:	Kg	Produc. Period.
<b>CONCEPTOS DE GASTOS</b>		Fila	TOTAL
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		1	\$ 14,483.93
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 11,613.50
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 2,870.43
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00
Agua		1.4	\$ 0.00
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		2	\$ 6,641.44
<b>Otros Gastos directos</b>		3	\$ 837.85
Depreciación		3.1	\$ 535.71
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 302.14
<b>Fuerza de trabajo</b>		4	\$ 5,803.59
Salarios		4.1	\$ 5,320.00
Vacaciones		4.2	\$ 483.59
Estimulación en pesos convertibles		4.3	
<b>Gastos indirectos de producción</b>		5	\$ 0.00
Depreciación		5.1	\$ 0.00
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00
<b>Gastos generales y de administración</b>		6	\$ 0.00
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00
Depreciación		6.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00
Alimentos		6.5	\$ 0.00
Salarios		6.6	\$ 0.00
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		7	\$ 0.00
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00
Depreciación		7.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00
Otros		7.5	\$ 0.00
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		8	\$ 0.00
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		9	\$ 21,125.36
Contribución a la Seguridad Social		10	\$ 725.45
Prestación Seguridad Social		11	
Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo		12	\$ 290.18
Margen utilidad S/ base autorizada MFP		13	996.22
<b>PRECIO</b>		14	\$ 23,137.21
<b>% Sobre el gasto en divisas</b>		15	
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>		16	
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ		Firma:	Cargo: CONTADORA
Revisado por: DANIELYS TORRES HERNÁNDEZ		Firma:	Cargo: ECONÓMICO
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA		Firma:	Cargo: DIRECTOR
			Fecha: 16/02/2022


DIRECTOR  
 UNIDAD DE  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 DE PASTOS Y FORRAJES  
 "INDIO HATUEY"

## ANEXO 11 D. Ficha técnica para el frijol en monocultivo.

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
UP TRATAMIENTO ESPECIAL			
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		CÓDIGO: 01220.0110	
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Plan de producción: _____	
Descripción del Producto o Servicio:		PROD-PRINC-FRIJOL	
% utiliz:		Capac. Instalada: 1 Hectárea	
Código Prod. o Serv.:		Nivel de producción	
Anterior:		PLAN:	
		REAL:	
	UM:	Kg	Produc. Period.
<b>CONCEPTOS DE GASTOS</b>		Fila	TOTAL
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		1	\$ 13,033.43
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 9,760.59
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 2,864.83
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00
Agua		1.4	\$ 408.00
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		2	\$ 14,498.18
<b>Otros Gastos directos</b>		3	\$ 2,891.01
Depreciación		3.1	\$ 2,502.54
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 388.47
<b>Fuerza de trabajo</b>		4	\$ 11,607.18
Salarios		4.1	\$ 10,840.00
Vacaciones		4.2	\$ 967.18
Estimulación en pesos convertibles		4.3	
<b>Gastos indirectos de producción</b>		5	\$ 0.00
Depreciación		5.1	\$ 0.00
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00
<b>Gastos generales y de administración</b>		6	\$ 0.00
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00
Depreciación		6.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00
Alimentos		6.5	\$ 0.00
Salarios		6.6	\$ 0.00
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		7	\$ 0.00
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00
Depreciación		7.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00
Otros		7.5	\$ 0.00
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		8	\$ 0.00
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		9	\$ 27,531.61
Contribución a la Seguridad Social		10	\$ 1,450.90
Prestación Seguridad Social		11	
Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo		12	\$ 580.36
Margen utilidad S/ base autorizada MFP		13	2,174.73
<b>PRECIO</b>		14	\$ 31,737.60
% Sobre el gasto en divisas		15	
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>		16	
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ		Firma:	Cargo: CONTADORA
Revisado por: DANELYS TORRES HERNÁNDEZ		Firma:	Cargo: ECONÓMICO
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA		Firma:	Cargo: DIRECTOR

UNIVERSIDAD  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 DE PASTOS Y FORRAJES "INDIO HATUEY"  
 DIRECTOR


ANEXO 11 E. Ficha técnica para el frijol en asociación con *Jatropha curcas* L.

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
UP TRATAMIENTO ESPECIAL			
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		CÓDIGO: 01220.0110	
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Plan de producción: _____	
Descripción del Producto o Servicio:		PROD-PRINC-FRIJOL ASOCIADO	
% utiliz:		Capac. Instalada: 1 Hectárea	
Código Prod. o Serv.:		Nivel de producción	
Anterior:		PLAN: REAL:	
	UM:	Kg	Produc. Period.
CONCEPTOS DE GASTOS		Fila	TOTAL
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		1	\$ 13,033.43
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 9,760.59
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 2,864.83
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00
Agua		1.4	\$ 408.00
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		2	\$ 8,694.60
<b>Otros Gastos directos</b>		3	\$ 2,891.01
Depreciación		3.1	\$ 2,502.54
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 388.47
<b>Fuerza de trabajo</b>		4	\$ 5,803.59
Salarios		4.1	\$ 5,320.00
Vacaciones		4.2	\$ 483.59
Estimulación en pesos convertibles		4.3	
<b>Gastos indirectos de producción</b>		5	\$ 0.00
Depreciación		5.1	\$ 0.00
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00
<b>Gastos generales y de administración</b>		6	\$ 0.00
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00
Depreciación		6.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00
Alimentos		6.5	\$ 0.00
Salarios		6.6	\$ 0.00
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		7	\$ 0.00
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00
Depreciación		7.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00
Otros		7.5	\$ 0.00
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		8	\$ 0.00
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		9	\$ 21,728.02
<b>Contribución a la Seguridad Social</b>		10	\$ 725.45
<b>Prestación Seguridad Social</b>		11	
<b>Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo</b>		12	\$ 290.18
<b>Margen utilidad S/ base autorizada MFP</b>		13	1,304.19
<b>PRECIO</b>		14	\$ 24,047.84
<b>% Sobre el gasto en divisas</b>		15	
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>			
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ		Firma:	Cargo: CONTADORA
Revisado por: DANELYS TORRES HERNÁNDEZ		Firma:	Cargo: ECONÓMICO
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA		Firma:	Cargo: DIRECTOR
		Fecha: 14/09/2021	

UNIVERSIDAD  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 DE PASTOS Y FORRAJES "INDIO HATUEY"  
 DIRECTOR




## ANEXO 11 F. Ficha técnica para el boniato en monocultivo.

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
UP TRATAMIENTO ESPECIAL			
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		CÓDIGO: 01240.0100	
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Plan de producción: _____	
Descripción del Producto o Servicio:		PROD-PRINC-BONIATO	
% utiliz:	Capac. Instalada: 1 Hectárea		
Código Prod. o Serv.:	Nivel de producción		PLAN:
Anterior:			REAL:
	UM:	Kg	Producc. Period.
CONCEPTOS DE GASTOS		Fila	TOTAL
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		<b>1</b>	<b>\$ 4,809.03</b>
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 40.66
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 4,360.37
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00
Agua		1.4	\$ 408.00
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		<b>2</b>	<b>\$ 12,358.70</b>
<b>Otros Gastos directos</b>		<b>3</b>	<b>\$ 751.52</b>
Depreciación		3.1	\$ 535.71
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 215.82
<b>Fuerza de trabajo</b>		<b>4</b>	<b>\$ 11,607.18</b>
Salarios		4.1	\$ 10,640.00
Vacaciones		4.2	\$ 967.18
Estimulación en pesos convertibles		4.3	
<b>Gastos indirectos de producción</b>		<b>5</b>	<b>\$ 0.00</b>
Depreciación		5.1	\$ 0.00
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00
<b>Gastos generales y de administración</b>		<b>6</b>	<b>\$ 0.00</b>
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00
Depreciación		6.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00
Alimentos		6.5	\$ 0.00
Salarios		6.6	\$ 0.00
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		<b>7</b>	<b>\$ 0.00</b>
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00
Depreciación		7.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00
Otros		7.5	\$ 0.00
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		<b>8</b>	<b>\$ 0.00</b>
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		<b>9</b>	<b>\$ 17,167.73</b>
<b>Contribución a la Seguridad Social</b>		<b>10</b>	<b>\$ 1,450.90</b>
<b>Prestación Seguridad Social</b>		<b>11</b>	
<b>Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo</b>		<b>12</b>	<b>\$ 580.36</b>
<b>Margen utilidad S/ base autorizada MFP</b>		<b>13</b>	<b>1,853.81</b>
<b>PRECIO</b>		<b>14</b>	<b>\$ 21,052.79</b>
<b>% Sobre el gasto en divisas</b>		<b>15</b>	
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>		<b>16</b>	
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ	Firma:	Cargo: CONTADORA	Fecha: 14/09/2021
Revisado por: DANELYS TORRES HERNÁNDEZ	Firma:	Cargo: ECONÓMICO	
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA	Firma:	Cargo: DIRECTOR	

DIRECTOR  
 UNIVERSIDAD  
 DE MATANZAS  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 PASTOS Y FORRAJES INDIO HATUEY

ANEXO 11 G. Ficha técnica para el boniato en asociación con *Jatropha curcas* L.

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
UP TRATAMIENTO ESPECIAL			
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		CÓDIGO: 01240.0100 	
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Plan de producción: _____	
Descripción del Producto o Servicio:		PROD-PRINC-BONIATO ASOCIADO	
% utiliz:		Capac. Instalada: 1 Hectárea	
Código Prod. o Serv.:		Nivel de producción	
Anterior:		PLAN: REAL:	
CONCEPTOS DE GASTOS	UM:	Kg	Producc. Period. TOTAL
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		1	\$ 4,809.03
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 40.66
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 4,360.37
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00
Agua		1.4	\$ 408.00
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		2	\$ 6,555.11
<b>Otros Gastos directos</b>		3	\$ 751.52
Depreciación		3.1	\$ 535.71
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 215.82
<b>Fuerza de trabajo</b>		4	\$ 5,803.59
Salarios		4.1	\$ 5,320.00
Vacaciones		4.2	\$ 483.59
Estimulación en pesos convertibles		4.3	
<b>Gastos indirectos de producción</b>		5	\$ 0.00
Depreciación		5.1	\$ 0.00
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00
<b>Gastos generales y de administración</b>		6	\$ 0.00
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00
Depreciación		6.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00
Alimentos		6.5	\$ 0.00
Salarios		6.6	\$ 0.00
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		7	\$ 0.00
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00
Depreciación		7.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00
Otros		7.5	\$ 0.00
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		8	\$ 0.00
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		9	\$ 11,364.14
Contribución a la Seguridad Social		10	\$ 725.45
Prestación Seguridad Social		11	
Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo		12	\$ 290.18
Margen utilidad S/ base autorizada MFP		13	983.27
<b>PRECIO</b>		14	\$ 13,363.04
% Sobre el gasto en divisas		15	
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>		16	
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ	Firma:	Cargo: CONTADORA	Fecha: 14/09/2021
Revisado por: DANELYS TORRES HERNÁNDEZ	Firma:	Cargo: ECONÓMICO	
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA	Firma:	Cargo: DIRECTOR	

DIRECTOR  
 UNIVERSIDAD  
 DE MATANZAS  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 PASTOS Y FORRAJES "INDIO HATUEY"


## ANEXO 11 H. Ficha técnica para la calabaza en monocultivo.

**FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES**

UP TRATAMIENTO ESPECIAL		CÓDIGO: 01239.0119		Estación Experimental Indio Hatuey	
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		Plan de producción: _____			
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Descripción del Producto o Servicio: PROD-PRINC-CALABAZA			
% utiliz:		Capac. Instalada: 1 Hectárea			
Código Prod. o Serv.:		Nivel de producción		PLAN:	
Anterior:				REAL:	
	UM:	Kg	Produc. Period.		
<b>CONCEPTOS DE GASTOS</b>		Fila	TOTAL		
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		<b>1</b>	<b>\$ 4,879.01</b>		
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 2,573.08		
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 1,897.93		
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00		
Agua		1.4	\$ 408.00		
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		<b>2</b>	<b>\$ 12,085.95</b>		
<b>Otros Gastos directos</b>		<b>3</b>	<b>\$ 478.78</b>		
Depreciación		3.1	\$ 262.96		
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00		
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 215.82		
<b>Fuerza de trabajo</b>		<b>4</b>	<b>\$ 11,607.18</b>		
Salarios		4.1	\$ 10,640.00		
Vacaciones		4.2	\$ 967.18		
Estimulación en pesos convertibles		4.3			
<b>Gastos indirectos de producción</b>		<b>5</b>	<b>\$ 0.00</b>		
Depreciación		5.1	\$ 0.00		
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00		
<b>Gastos generales y de administración</b>		<b>6</b>	<b>\$ 0.00</b>		
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00		
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00		
Depreciación		6.3	\$ 0.00		
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00		
Alimentos		6.5	\$ 0.00		
Salarios		6.6	\$ 0.00		
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		<b>7</b>	<b>\$ 0.00</b>		
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00		
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00		
Depreciación		7.3	\$ 0.00		
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00		
Otros		7.5	\$ 0.00		
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		<b>8</b>	<b>\$ 0.00</b>		
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		<b>9</b>	<b>\$ 16,964.96</b>		
<b>Contribución a la Seguridad Social</b>		<b>10</b>	<b>\$ 1,450.90</b>		
<b>Prestación Seguridad Social</b>		<b>11</b>			
<b>Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo</b>		<b>12</b>	<b>\$ 580.36</b>		
<b>Margen utilidad S/ base autorizada MFP</b>		<b>13</b>	<b>1,812.89</b>		
<b>PRECIO</b>		<b>14</b>	<b>\$ 20,809.11</b>		
<b>% Sobre el gasto en divisas</b>		<b>15</b>			
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>		<b>16</b>			
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ		Firma:	Cargo: CONTADORA	Fecha: 14/09/2021	
Revisado por: DANELYS TORRES HERNÁNDEZ		Firma:	Cargo: ECONÓMICO		
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA		Firma:	Cargo: DIRECTOR		

DIRECTOR  
 UNIVERSIDAD  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 PASTOS Y FORRAJES INDIO HATUEY

ANEXO 11 I. Ficha técnica para la calabaza en asociación con *Jatropha curcas* L.

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
UP TRATAMIENTO ESPECIAL			
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"		CÓDIGO: 01239.0119	
Organismo: Ministerio de Educación Superior		Plan de producción: _____	
Descripción del Producto o Servicio:		PROD-PRINC-CALABAZA ASOCIADA	
% utiliz:		Capac. Instalada: 1 Hectárea	
Código Prod. o Serv.:		Nivel de producción:	
Anterior:		PLAN:	
		REAL:	
	UM:	Kg	Produc. Period.
<b>CONCEPTOS DE GASTOS</b>		Fila	TOTAL
<b>Materia Prima, Materiales y Gastos directos</b>		<b>1</b>	<b>\$ 4,879.01</b>
Materia Prima y materiales fundamentales		1.1	\$ 2,573.08
Combustibles y lubricantes		1.2	\$ 1,897.93
Energía eléctrica		1.3	\$ 0.00
Agua		1.4	\$ 408.00
<b>SUBTOTAL (GASTOS DE PRODUCCIÓN)</b>		<b>2</b>	<b>\$ 6,282.36</b>
<b>Otros Gastos directos</b>		<b>3</b>	<b>\$ 478.78</b>
Depreciación		3.1	\$ 262.96
Arrendamiento de equipos		3.2	\$ 0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)		3.3	\$ 215.82
<b>Fuerza de trabajo</b>		<b>4</b>	<b>\$ 5,803.59</b>
Salarios		4.1	\$ 5,320.00
Vacaciones		4.2	\$ 483.59
Estimulación en pesos convertibles		4.3	
<b>Gastos indirectos de producción</b>		<b>5</b>	<b>\$ 0.00</b>
Depreciación		5.1	\$ 0.00
Mantenimiento y reparación		5.2	\$ 0.00
<b>Gastos generales y de administración</b>		<b>6</b>	<b>\$ 0.00</b>
Combustible y lubricantes		6.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		6.2	\$ 0.00
Depreciación		6.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		6.4	\$ 0.00
Alimentos		6.5	\$ 0.00
Salarios		6.6	\$ 0.00
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>		<b>7</b>	<b>\$ 0.00</b>
Combustible y lubricantes		7.1	\$ 0.00
Energía eléctrica		7.2	\$ 0.00
Depreciación		7.3	\$ 0.00
Ropa y Calzado (trabajadores indirectos)		7.4	\$ 0.00
Otros		7.5	\$ 0.00
<b>Gastos Bancarios(Financieros)</b>		<b>8</b>	<b>\$ 0.00</b>
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>		<b>9</b>	<b>\$ 11,161.37</b>
<b>Contribución a la Seguridad Social</b>		<b>10</b>	<b>\$ 725.45</b>
<b>Prestación Seguridad Social</b>		<b>11</b>	
<b>Impuesto por la Util. Fuerza de Trabajo</b>		<b>12</b>	<b>\$ 290.18</b>
<b>Margen utilidad S/ base autorizada MFP</b>		<b>13</b>	<b>942.35</b>
<b>PRECIO</b>		<b>14</b>	<b>\$ 13,119.36</b>
<b>% Sobre el gasto en divisas</b>		<b>15</b>	
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>		<b>16</b>	
Elaborado por: DAYILEIKY CARRILLO JIMÉNEZ	Firma:	Cargo: CONTADORA	Fecha: 14/09/2021
Revisado por: DANELYS TORRES HERNÁNDEZ	Firma:	Cargo: ECONÓMICO	
Aprobado por: LUIS A HERNÁNDEZ OLIVERA	Firma:	Cargo: DIRECTOR	

DIRECTOR  
 UNIVERSIDAD  
 DE MATANZAS  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
 PASTOS Y FORRAJES INDO HATUEY

## PRODUCCIÓN CIENTÍFICA RELACIONADA CON LA TESIS

### Publicaciones (2013-2022)

1. **Noda-Leyva, Yolai**; Martín, G.; Machado, R. y Brunet, J. Producción de frutos de *Jatropha curcas* L. en una finca agroenergética. *Revista Pastos y Forrajes*. 37 (1): 65- 69. 2014.
2. **Noda-Leyva, Yolai**; Pérez, A. y Valdés, Andrea. Establecimiento de tres especies de oleaginosas bajo asociación. *Revista Agronomía Mesoamericana*. 26 (2): 323-332. 2015.
3. **Noda-Leyva, Yolai** y Martín, G. Resultados preliminares de la poda y de la aplicación de FitoMas-E en el rendimiento de *Jatropha curcas* L. y de cultivos asociados. *Revista Pastos y Forrajes*. 39 (4): 246-251. 2016.
4. **Noda-Leyva, Yolai** y Martín, G. Efecto de la densidad de siembra en caracteres morfoproductivos de *Jatropha curcas* L. intercalada con cultivos alimenticios. *Revista Pastos y Forrajes*. 41 (2): 97-105. 2018.
5. **Noda-Leyva, Yolai** y Martín, G. Avances en el manejo agronómico de asociaciones de *Jatropha curcas* L. y cultivos de ciclo corto. En: *Producción integrada de alimentos y energía: La experiencia del proyecto internacional Biomás-Cuba*. Suárez, J. (Ed.). Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, ISBN 978-959-7138-37-2. 2020.
6. **Noda-Leyva, Yolai** y Martín, G. Efecto de la fertilización en el rendimiento de *Jatropha curcas* (Linn.) y cultivos asociados. *Revista Pastos y Forrajes*. 43 (2): 84-92. 2020.
7. **Noda-Leyva, Yolai**, Pérez-Vázquez, A., Martín-Martín, G. J., & Martín- Alonso, G. M. Effect of pruning on *Jatropha curcas* L. seedlings during the nursery stage. *Agro Productividad*. 14 (12): 165-171. 2021. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i12.2000>

**Congresos (2013-2022)**

- Taller “*Jatropha curcas* L. para la producción de biodiesel”. Conferencia Utilización de podas en *Jatropha curcas* L. para la producción de semillas. Conferencista. Cuba. 2013.
- III Convención Internacional Agrodesarrollo. Producción de frutos de *Jatropha curcas* L. en una finca agroenergética en condiciones de cultivo puro y asociada con yuca. Ponente. Cuba. 2014.
- Sexto Congreso Forestal de Cuba. Usos de *Jatropha curcas* L. en cultivo puro e intercalado para desarrollo de una finca agroenergética. Ponente. Cuba. 2015.
- IV Convención Internacional Agrodesarrollo 2016. Efecto de la poda y la aplicación de FitoMas en el rendimiento de *Jatropha curcas* L. y cultivos asociados. Ponente. Cuba. 2016.
- Forum de base de Ciencia y Técnica. Avances en el manejo agronómico de asociaciones de *Jatropha curcas* L. y cultivos de ciclo corto. Ponente. Cuba. 2016.
- 5<sup>to</sup> Congreso Internacional sobre Mejoramiento Animal. Usos de *Jatropha curcas* L. en cultivo puro e intercalado para el desarrollo de una finca agro-energética. Ponente. Cuba. 2016.
- 11 Encuentro de Agricultura orgánica y sostenible. Usos de *Jatropha curcas* L. en cultivo puro e intercalado para el desarrollo de una finca agro-energética. Ponente. Cuba. 2016.
- Curso-Taller Producción de biodiesel y de biogás: Fundamentos. Sistemas de producción de *Jatropha curcas* L. en asociación con cultivos alimenticios de ciclo corto. Ponente. Cuba. 2017.
- XII Taller Internacional de Ecología y Recursos Agrosostenibles. Manejo de la poda y la aplicación de Fitomas-E en el rendimiento de *Jatropha curcas* L. en un sistema agrícola intercalado con cultivos anuales. Ponente. Cuba. 2017.
- XXX Reunión científica y Tecnológica Forestal Agropecuaria. Principios agronómicos para establecer la *Jatropha curcas* L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios. México. Ponente. 2017.

- VI Congreso de Producción Animal Tropical. Manejo de la poda y la aplicación de Fitomas-E en el rendimiento de *Jatropha curcas* L. en un sistema agrícola intercalado con cultivos anuales. Ponente. Cuba. 2018.
- XIII Simposio Internacional de Biotecnología Vegetal. Producción de frutos *Jatropha curcas* L. y cultivos asociados por efecto de la poda y la aplicación de Fitomas-E. Ponente. Cuba. 2018.
- Reunión científica de buenas prácticas agrícolas para una agricultura sustentable. Establecimiento y manejo agronómico para establecer la *Jatropha curcas* L. en sistemas de asociación con cultivos alimenticios. Ponente. México. 17 al 24/11/2018.
- 12<sup>mo</sup> Congreso Internacional de Biotecnología Vegetal y Agricultura BIOVEG. Productividad de *Jatropha curcas* L. en monocultivo y en asociación con *Manihot esculenta* L. Ponente. Cuba. 27 al 31/5/2019.
- V Taller Nacional de *Jatropha curcas* L. Avances en el manejo agronómico de *Jatropha curcas* L. en Cuba. Ponente. Cuba. 26/4/2019.
- V Convención Internacional Agrodesarrollo 2019. Efecto de la fertilización en el rendimiento de *Jatropha curcas* L. y los cultivos asociados. Ponente. Cuba. 26/10/2019.
- XIII Convención Internacional sobre Medio ambiente y Desarrollo. Producción agrícola de *Jatropha curcas* L. y los cultivos asociados por efecto de la poda y la aplicación de Fitomas-E. Ponente. Cuba. Julio 2021.
- Convención Internacional de Producción Animal y Agrodesarrollo. Evaluación de diferentes arreglos espaciales de *Jatropha curcas* L. en asociación con cultivos anuales. Ponente. Cuba. 2022.