



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**DEMANDA NUTRIMENTAL DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO
EN DOS HÍBRIDOS DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*) EN LA
CHONTALPA DEL ESTADO DE TABASCO**

ERNESTO MANUEL OYOSA CASTILLO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2015

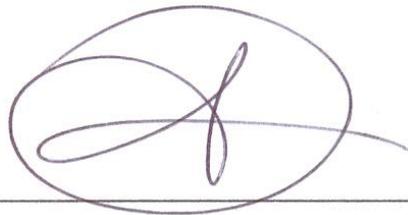
La presente tesis, titulada “DEMANDA NUTRIMENTAL DE NITRÒGENO, FÒSFORO Y POTASIO EN DOS HIBRIDOS DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*) EN LA CHONTALPA DEL ESTADO DE TABASCO”, realizado por el alumno: Ernesto Manuel Oyosa Castillo, bajo la direcci3n del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN PRODUCCI3N AGROALIMENTARIA EN EL TR3PICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



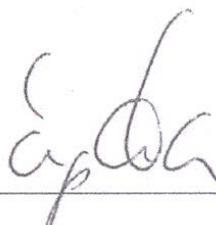
DR. ARMANDO GUERRERO PEÑA

ASESOR:



DR. LORENZO ARMANDO ACEVES NAVARRO

ASESOR:



DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA

H. CÁRDENAS, TABASCO, A 27 DE NOVIEMBRE DEL 2015

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada agradezco a DIOS por la vida y por la dicha de vivirla hasta este instante tan importante y lograr un objetivo mas...

A mis padres Ernesto y Lili por la vida y por enseñarme a vivirla día a día con plena convicción en buenos principios y valores. Por enseñarme e inducirme cada día por el camino de la justicia y el amor.

A mis hermanos que son parte importante de mi vida Zuly, Víctor y Luis Arturo por apoyarme cada día y ser mis primeros Amigos.

A todos mis profesores que en un determinado momento fueron la parte indispensable para mi aprendizaje y para el logro de mis objetivos en la maestría, en especial al Dr. Armando Guerrero Peña por su dedicación y entrega al proyecto en campo y laboratorio.

Al Dr. Lorenzo Armando Aceves Navarro por su tiempo dedicado a las revisiones del proyecto y sobre todo sus consejos de superación personal constantes.

A mis amigos Oswaldo, Oscar e Isaac, por ser parte de mi vida y estar presentes en los momentos buenos y malos demostrándome actitudes positivas.

Al Colegio de Postgraduados por ser parte de este proyecto y dar el apoyo necesario para la realización de nuevos proyectos que contribuyen a la sociedad y el medio.

A la línea 3 “Energía alterna y Biomateriales” del Colegio de Postgraduados, Campus, Tabasco, por el apoyo financiero para la realización de este proyecto.

Al Ing. Julián Barrera por el aporte del material vegetativo para el desarrollo de la investigación en el estado de Tabasco.

Al C. Salomón García por su valioso apoyo en todo el trabajo de campo y vivero.

DEDICATORIA

A Dios por darme la sabiduría y el entendimiento para lograr todos mis objetivos planteados.

A mis padres y hermanos que son la parte más importante de mi vida.

CONTENIDO GENERAL

1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 General	3
2.2 Específicos.....	3
4.2 Clasificación Taxonómica	4
4.3 Descripción Botánica.....	4
4.3.1 La raíz.....	5
4.3.2 El tallo	5
2.3.3 Las hojas.....	6
4.3.4 Las inflorescencias	6
4.3.5 El fruto	7
4.3.6 Las semillas	7
4.4 Importancia de la Fertilización en el Cultivo de Higuera.....	8
4.4.1 Nitrógeno (N)	10
4.4.2 Fósforo (P).....	10
4.4.3 Potasio (K).....	10
4.5 Metodología del Balance Nutricional de los Cultivos	10
4.5.1 Demanda nutricional de los cultivos	12
4.5.2 Requerimiento interno	12
4.5.3 Índice de cosecha.....	13
5 LITERATURA CITADA	13
6.1 BIOMASA TOTAL Y RENDIMIENTO EN DOS HÍBRIDOS DE HIGUERA (<i>Ricinus communis</i>) CON FERTILIZACIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO	20
RESUMEN	20
INTRODUCCIÓN.....	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
Ubicación de la parcela experimental	22
Material vegetativo.....	22
Muestreo y análisis de suelo.....	22
Diseño experimental y Tratamientos.....	23
Variables evaluadas.....	23
Análisis estadístico.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Determinación nutricional del suelo	24
Parámetros del crecimiento	24
Etapa vegetativa	27
Etapa de floración.....	28
Etapa de fructificación	29
Etapa de madurez	30

Rendimientos de semilla	32
Relación biomasa total y rendimiento de semilla.....	33
CONCLUSIONES.....	35
AGRADECIMIENTOS.....	35
LITERATURA CITADA.....	35
6.2 DEMANDA NUTRIMENTAL Y REQUERIMIENTO INTERNO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN DOS HÍBRIDOS DE HIGUERILLA (<i>Ricinus communis</i>) ...	41
RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	42
MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
Área de estudio.....	43
Establecimiento del experimento	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
Contenido nutrimental en la biomasa total.....	46
Determinación del índice de cosecha	47
Determinación del requerimiento interno.....	49
Determinación de la demanda nutrimental por etapas fenológicas	50
CONCLUSIONES.....	54
7 CONCLUSIONES GENERALES.....	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Valores promedios de las variables fisiotécnicas de crecimiento del híbrido P5788 de higuera medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo	25
Cuadro 2	Valores promedios de las variables fisiotécnicas de crecimiento del híbrido P5762 de higuera medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo	25
Cuadro 3	Rendimiento del producto comercial de los híbridos P5788 y P5762 de higuera en dos niveles de fertilización N-P-K y un testigo	33
Cuadro 4	Índice de cosecha a partir de la biomasa total y el rendimiento de semillas de los híbridos de higuera P5788 y P5762	48
Cuadro 5	Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en el híbrido de higuera P5762	49
Cuadro 6	Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en el híbrido de higuera P5788	49
Cuadro 7	Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha ⁻¹ de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa vegetativa	50
Cuadro 8	Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha ⁻¹ de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa de floración	51
Cuadro 9	Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha ⁻¹ de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa fructificación	51
Cuadro 10	Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha ⁻¹ de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa de madurez	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Biomasa área y radical promedio de los diferentes componentes de la planta de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa vegetativa medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo.	27
Figura 2	Biomasa área y radical promedio de los diferentes componentes de la planta de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa de floración medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo.	29
Figura 3	Biomasa área y radical promedio de los diferentes componentes de la planta de los híbridos de higuera P5762 y P5788, en la etapa de amarre de frutos medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo. Las medias seguidas de letras distintas en los tratamientos indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).	30
Figura 4	Biomasa área y radical promedio de los diferentes componentes de la planta de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa de madurez medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo. Las medias seguidas de letras distintas en los tratamientos indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).	32
Figura 5	Relación biomasa seca total y rendimiento de los híbridos de higuera P5762 (a) y P5788 (b), en etapa de madurez, medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo.	34

DEMANDA NUTRIMENTAL DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN DOS
HÍBRIDOS DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*) EN LA CHONTALPA DEL ESTADO DE
TABASCO

Ernesto Manuel Oyosa Castillo, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2015

La higuierilla (*Ricinus communis*) es una planta de importancia industrial por la calidad del aceite y la biomasa que produce para diversos productos industriales. De esta importancia deriva el estudio del cultivo y su nutrición para el mejoramiento de la producción de biomasa con alto valor económico. El objetivo del estudio fue evaluar la producción de biomasa y el rendimiento del producto comercial en dos híbridos de higuierilla con dos niveles de fertilización y un testigo. Fueron utilizados los híbridos P5762 y P5788 registrados por la empresa AGRACAST de Tizimín, Yucatán. Para la investigación fue utilizado un diseño experimental completamente al azar en dos experimentos independientes, uno para cada híbrido. Se aplicaron dos dosis de fertilización como tratamientos a evaluar. Se realizaron cuatro muestreos en diferentes etapas fenológicas del cultivo. La producción de biomasa de los diferentes componentes de la planta aumentó significativamente de forma proporcional con la fertilización de N-P-K, en ambos híbridos evaluados. Los rendimientos de semilla fueron superiores y altamente significativos con la fertilización durante todo el ciclo en los diferentes componentes de la planta, comparados con el testigo. El índice de cosecha fue constante en los tratamientos fertilizados con la dosis alta de NPK. A mejores niveles de nutrición en el cultivo el requerimiento interno fue constante con mejores rendimientos de semilla. La demanda nutrimental estimada a partir del porcentaje de nutriente en la biomasa presentó relación positiva con el rendimiento de semilla en la dosis alta aplicada. Con los parámetros evaluados se obtiene información para estimar la dosis de fertilización de la higuierilla aplicando el modelo de balance nutrimental.

Palabras claves: *Ricinus comunis*, fertilización, biomasa, requerimiento interno, índice de cosecha y demanda nutrimental.

DEMAND NUTRITIONAL OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN TWO
HYBRID CASTOR (*RICINUS COMMUNIS*) IN THE STATE OF TABASCO CHONTALPA

Ernesto Manuel Oyosa Castillo, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Castor (*Ricinus communis*) is a plant of industrial importance for the quality of oil and biomass produced for various industrial products. This importance derives from the study of the culture and nutrition for the improvement of biomass production with high economic value. The aim of the study was to evaluate biomass production and yield of commercial product in two-hybrid castor with two levels of fertilization and a witness. They were used the P5762 and P5788 hybrids registered by the company AGRACAST Tizimin, Yucatan. For research it was used a completely randomized experimental design in two separate experiments, one for each hybrid. Two doses of fertilization and treatments were applied to evaluate. Four samplings were conducted in different growth stages of the crop. Biomass production of the different components of the plant increased significantly in proportion with NPK fertilization in both hybrids evaluated. Seed yields were superior and highly significant with fertilization throughout the cycle in the different components of the plant, compared with the control. Harvest index was steady in treatments fertilized with high doses of NPK. A better levels of nutrition in growing domestic demand was consistent with better seed yields. The estimated based on the percentage of nutrients in biomass nutrient demand presented positive relationship with seed yield in the high dose applied. With the evaluated parameters information is obtained to estimate the fertilization of castor applying the model of nutritional balance.

Key words: *Ricinus communis*, fertilization, biomass, domestic demand, harvest index and nutrient demand

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Planteamiento del problema

La higuierilla (*Ricinus communis*) es una especie agrícola que se desarrolla exitosamente en las regiones tropicales y subtropicales; el aceite extraído de la semilla es el único en la naturaleza que es soluble en alcohol, el más denso y viscoso de todos, por ello tiene un amplio mercado por sus múltiples usos en diversas industrias como la automotriz, farmacéutica, cosmetología, química, fertilizantes, pesticidas, aeronáutica, médica y energética (Ogunniyi, 2006). Debido a la composición química de hojas y semillas estas han sido utilizadas con éxito como extractos para el manejo de insectos plaga de importancia agrícola, entre ellos los pertenecientes a la familia Curculionidae (Oliveira *et al.*, 2002 y Anadón y Martínez-Larrañaga, 2004). También el subproducto obtenido al extraer el aceite de la semilla llamado torta de ricino es un excelente fertilizante orgánico, con un contenido promedio de 4.4 % de nitrógeno, 1.8 % de fósforo y el 1.4 % de potasio (Freire, 2001). Las hojas de higuierilla cuando se añaden al forraje incrementan la producción de leche en vacas (Santos *et al.*, 2001).

El cultivo de esta especie se ha considerado de importancia económica ya que reúne ventajas agronómicas y tecnológicas y no compite con la alimentación humana por lo cual es apropiada para la producción de biodiesel (Benavides *et al.*, 2007).

La superficie cultivada de higuierilla a nivel mundial en 2013 fue de 1 502 294 ha, con una producción total de 1 854 775 toneladas de semilla; Los países productores más importantes son: India (1 096 000 ha), China (70 000 ha), Brasil (43 115 ha) y Paraguay (8 000 ha) con una producción de semilla de 1 644 000 t, 60 000 t, 11 953 t, y 11 000 t, respectivamente (FAOSTAT, 2014).

En cuanto al precio del aceite, éste es influenciado por los otros productos agrícolas, especialmente, los aceites vegetales; por lo que, comparativamente, el precio de referencia para el aceite de higuierilla fue un 66 % superior al de soya, desde el 2003 hasta el 2011. Este precio ha fluctuado desde US\$ 650 la tonelada en febrero de 2002, a un máximo de US\$ 2.700 por tonelada en febrero de 2011 (Severino *et al.*, 2012).

Los rendimientos de semilla de la higuierilla pueden incrementarse con el manejo agronómico en el corto plazo, especialmente con la fertilización. La higuierilla es una planta exigente en cuanto a nutrición en todas las etapas de su ciclo de vida (Severino *et al.*, 2006). Varios estudios con fertilización mineral han demostrado que la planta extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo para aumentar su productividad, debido a que muchas estructuras de la planta están relacionadas con la producción de semilla (Lavres *et al.*, 2005, Severino *et al.*, 2006 y Pacheco *et al.*, 2008). La longitud y el número de racimo, el número de semillas, el número de nodos y la altura son características agronómicas importantes en el rendimiento de la planta (Severino *et al.*, 2006).

Diversos estudios científicos han evidenciado el potencial energético que tiene la higuierilla (Severino *et al.*, 2006 y Pacheco *et al.*, 2008), sin embargo en México y en especial en el estado de Tabasco, la investigación de la planta de higuierilla es incipiente; no obstante en muchas regiones del estado se observan genotipos que crecen y fructifican de manera silvestre.

La determinación de la absorción y la acumulación de nutrientes en diversas etapas de crecimiento y fructificación en la planta, han sido estudiadas como respuesta al incremento del rendimiento de semilla. Con la finalidad de contribuir al conocimiento agronómico de la higuierilla en Tabasco, se ha planteado el siguiente estudio en dos híbridos comerciales de higuierilla P-5762 y P-5788 para determinar la demanda nutrimental del cultivo con base en el

contenido nutrimental y requerimiento interno en la biomasa aérea y radical de la planta en fase de producción anual.

2 OBJETIVOS

2.1 General

Evaluar la demanda y el requerimiento interno de nitrógeno, fosforo y potasio en dos híbridos de higuera P-5762 y P-5788 en fase de producción anual del cultivo; así como el crecimiento y la acumulación de materia seca por componentes de la planta con dos niveles de fertilización mineral.

2.2 Específicos

Evaluar el crecimiento de las variables fisiológicas y cuantificar la producción de biomasa aérea y radical en dos híbridos de higuera en fase de producción anual con dos niveles de fertilización mineral.

Evaluar la demanda nutrimental y el requerimiento interno de NPK a través de los parámetros fisiológicos de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en sus diferentes etapas fenológicas.

3 HIPOTESIS

La biomasa total y el rendimiento comercial de la higuera son una respuesta fisiológica al nivel de fertilidad del suelo y a las aplicaciones de fertilizantes minerales.

El índice de cosecha, requerimiento interno y la demanda nutrimental estimados a partir del contenido nutrimental en la planta, es proporcional a la cantidad de biomasa producida y al rendimiento de semilla.

4 REVISION DE LITERATURA

4.1 Origen de la Higuierilla

El origen geográfico de una especie se encuentra donde existe la mayor variabilidad genética de ésta. De acuerdo con Rico *et al.* (2011) a la higuierilla se le considera de origen asiático concretamente de la India. Purseglove (1968) indica que es originaria de África, encontrándose en forma silvestre en el norte de Yemen y el Medio Oriente. Vasconcelos *et al.* (2010) determinan que es una planta originaria del África Tropical; mientras que el investigador Anjani (2012) sitúa a la higuierilla en Abisinia (Etiopía) como centro primario de origen de la planta. En la actualidad ha sido introducida en casi todas las regiones del mundo, principalmente en zonas tropicales, subtropicales y semiáridas (Fonnegra y Jiménez, 2007).

4.2 Clasificación Taxonómica

La higuierilla (*Ricinus communis*) es un cultivo de semillas oleaginosas en la familia Euphorbiaceae, que incluye 245 géneros que comprenden 6300 especies (Wurdack, 2005).

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Euphorbiales*

Familia: *Euphorbiaceae*

Género: *Ricinus* L.

Especie: *Ricinus communis* L.

4.3 Descripción Botánica

La higuierilla es una planta anual o perenne según las condiciones ambientales; por lo general, las plantas de hábito anual son variedades enanas (Robles, 1980). La higuierilla es considerada un

arbusto herbáceo en los países tropicales (FAO-ECOCROP; 2014). Es generalmente una planta de porte erecto, las cuales se pueden clasificar por su altura en altas (10 m), medianas (2 a 3 m) y enanas (menores de 2 m) (Robles, 1980). El tamaño de planta tiende a ser mayor en climas tropicales y tierras fértiles (con materia orgánica superior al 5%). Las variedades enanas son de gran interés económico porque facilitan la cosecha mecánica.

4.3.1 La raíz

La raíz es pivotante y profunda llegando a alcanzar hasta 6 m (Amorim *et al.*, 2001). La raíz constituye el anclaje principal de la planta. Presenta raíces secundarias y terciarias las cuales se encuentran en su mayoría a poca profundidad (Rzedowski y Jerzy, 2001). Las raíces laterales pueden extenderse sobre la capa arable alrededor de 1 m en el caso de suelos con baja humedad la raíz principal es más profunda y las raíces secundarias disminuyen conforme aumenta la profundidad (FAO-ECOCROP, 2014).

4.3.2 El tallo

El tallo principal es recto, seccionado por entrenudos que pueden ser de 11 a 20, y que en etapa temprana es relleno y con el tiempo se hace hueco. Está bien definido por un número de nudos, a partir de los cuales emerge una hoja; los entrenudos tienden a ser cortos en la base e incrementar en longitud a mayor altura de la planta (Weiss, 2000). El tallo es suculento y a medida que madura se vuelve leñoso, y su diámetro puede variar de 3 a 15 cm; sus colores fundamentales son verde, rojo y caoba, algunas variedades son muy ramificadas y otras sin ramificación (Rzedowski y Jerzy, 2001). En algunas de las variedades cultivadas en Rusia, el vástago tiene de 5 a 12 nudos y la longitud de los entrenudos oscila entre los 6 y 10 cm para variedades altas, en el caso de las variedades de porte enano los entrenudos están entre 1.5 y 3 cm (FAO-ECOCROP, 2014).

2.3.3 Las hojas

Las hojas son alternas, pecioladas, palmeadas con 5 a 11 lóbulos, dentadas, con nerviación palmatinervia. Peciolos redondos de 18 a 60 cm de longitud; con dos glándulas nectaríferas en la unión con la lámina, dos glándulas en la unión con el peciolo; la lámina de la hoja tiene 10 a 75 cm de diámetro y de un color acorde al del tallo (Rzedowski y Jerzy, 2001 y FAO-ECOCROP, 2014).

4.3.4 Las inflorescencias

La inflorescencia es la sección del raquis donde se encuentran las flores y también se le conoce como racimo. Es una planta monoica y generalmente unisexual, o sea que en sus inflorescencias llevan las flores masculinas y femeninas y su proporción es variable, por lo general las flores femeninas se distribuyen en la región distal y las flores masculinas en la región basal del raquis. Los racimos tienen de 10 a 40 cm de largo en panículas terminales y los estambres numerosos de 5 a 10 mm de longitud, ovario de tres células superiores con un estilo corto y 3 a 6 estigmas (FAO-ECOCROP, 2014).

En una planta típica de higuierilla los racimos del raquis tienen de 30 a 50 % de flores femeninas y un 50 a 70 % de flores masculinas, algunos híbridos tienen casi el 100 % de flores femeninas en el raquis, aunque Moshkin (1986), señala que existe una relación 1:1 en flores femeninas y masculinas y que la variación puede estar dada por las condiciones ambientales del lugar. De acuerdo con Weiss (2000), factores como alta temperatura, edad de la planta y los días cortos, favorecen el surgimiento de flores masculinas en lugar de femeninas.

Las flores son apétalas, las masculinas presentan un pedúnculo y cáliz de cinco sépalos desiguales unidos en la base y numerosos filamentos; los granos de polen son de superficie lisa, las femeninas están formadas por un cáliz de cinco sépalos, un estilo y tres estigmas bífidos y un

ovario con tres carpelos con un óvulo en cada uno lo que originará tres semillas, la pared del ovario está cubierta con espinas verdes y suaves. La higuera es una planta halógama y anemófila con un alto índice de entrecruzamiento y la polinización se lleva principalmente por el viento (Rzedowski y Jerzy, 2001).

4.3.5 El fruto

El fruto es una cápsula globosa con pedicelo elongado con tres lóculos de 1.5 a 2.5 cm de diámetro, generalmente espinoso. Los frutos inmaduros generalmente son verdes y algunas veces rojos, se vuelven cafés en la maduración, los estigmas permanecen en el fruto en forma leñosa (ECOCROP, 2014).

Los frutos pueden ser de maduración dehiscente o indehiscente, según la variedad, la temperatura y la humedad del aire, pero está determinada principalmente por el espesor del pericarpio en la quilla de los lóculos. Gvozdeva (1976) encontró menor tendencia a la dehiscencia en los frutos cuya quilla tiene menor espesor. La cápsula contiene tres granos lisos lustrosos de tamaño variable con largo de 0.5 a 1.5 cm, el aspecto del grano es parecido a las garrapatas y pueden ser de color negro, café o jaspeadas.

4.3.6 Las semillas

Las semillas son de forma oval aplastada, redondeadas en un extremo y con una excrescencia en el otro llamada carúncula de superficie brillante y lisa; de color variable que suele ser gris con manchas rojizas y parduzcas de tamaño que va de 0.5 a 1.5 cm de largo. La semilla tiene una cubierta exterior dura y quebradiza y otra interior muy fina de color blanquecino, ambas protegen la semilla, la cual consta de un embrión pequeño con dos cotiledones delgados y el albumen es blando, compacto y aceitoso (el albumen es el que contiene el aceite). La semilla está constituida por un 25 – 35 % de epicarpio (testa) y un 65 – 75 % de endospermo; su composición

química está dada por agua (5.5 %), aceite crudo (48.6 %), proteína cruda (17.9 %), fibra bruta (12.5 %), cenizas (2.5 %) y carbohidratos (13 %) (Barnes, Baldwin, & Braasch, 2009).

La semilla contiene toxinas que son ricina (albúmina) y la ricenina (alcaloide). De igual manera el contenido de aceite puede variar en la proporción del tegumento, aspecto y de la carúncula y contiene alrededor de un 45 % de aceite y éste el 55 % de ácido ricinoleico (Pabon, 2010; Rzedowski y Jerzy, 2001 y Robles, 1980).

De acuerdo con Moshkin (1986), la temperatura límite para el proceso de germinación es de 14 a 15 °C, con un óptimo de 31 °C y un máximo de 35 a 36 °C, por lo que, según Severino *et al.*, (2012), temperaturas por debajo de los 14 °C retrasan la germinación y generan una heterogeneidad en la emergencia de las plántulas.

4.4 Importancia de la Fertilización en el Cultivo de Higuierilla

El conocimiento sobre la fertilización en higuierilla ha sido descrito por diversos autores como de gran importancia para incrementar los rendimientos de semilla y la producción de aceite (Sahrawat *et al.*, 2010). Esta comprobado que la higuierilla es una planta exigente a la nutrición en casi todas las etapas de su ciclo de vida (Severino *et al.*, 2006). Varios estudios con fertilización mineral en este cultivo han demostrado que la planta extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo para aumentar su productividad, debido a que muchas estructuras de la planta están relacionada con la producción de semilla (Pacheco *et al.*, 2008; Severino *et al.*, 2006 y Lavres *et al.*, 2005). De acuerdo con Santos *et al.* (2004) el cultivo de higuierilla cuando se establece en suelos con bajos niveles de nutrimentos el crecimiento de la planta se ve restringido, ya que la planta demanda grandes cantidades de nitrógeno para alcanzar un crecimiento y rendimiento óptimo.

El estudio más antiguo refiriéndose a exportación de nutrientes en el cultivo de higuera fue realizado por Canecchio y Freire (1959) quienes encontraron que 2000 kg ha⁻¹ de semillas de higuera exportan alrededor de 80 kg ha⁻¹ N, 8 kg ha⁻¹ P, 26 kg ha⁻¹ K, 9 kg ha⁻¹ Ca y 6 kg ha⁻¹ Mg. Estos valores fueron confirmados trece años después por Nakagawa y Neptune (1971), sin embargo, estos autores demostraron que la acumulación de nutrientes en la parte aérea a los 133 días después de la emergencia fueron de 156, 12, 206, 19 y 21 kg ha⁻¹ de N, P, K y Ca, Mg, respectivamente, concluyendo que la higuera requiere de altas concentraciones de nutrientes y disponibilidad de los mismo en el suelo para obtener rendimientos económicamente rentables.

En un experimento con higuera Canecchio y Freire (1959) evaluaron la influencia de NPK en el cultivo, los autores reportan un efecto positivo en la aplicación de nitrógeno y fósforo en el rendimiento de semilla, el primer elemento aumentó un 31 % la productividad (+815 kg ha⁻¹) y el segundo un 25 % (+358 kg ha⁻¹), ambos comparados con el testigo sin fertilizar.

Canecchio *et al.* (1963) realizaron estudios con fertilización NPK en el cultivo en higuera encontrando que la aplicación 75 y 150 kg de P₂O₅ ha⁻¹ produce 1138 kg ha⁻¹ y 1518 kg ha⁻¹ de semilla respectivamente en comparación con el testigo que produjo 305 kg ha⁻¹; otro aspecto importante mencionado por los autores es el efecto expresivo del P y N en la reducción del tiempo de floración y la cosecha.

De acuerdo con Malavolta (2008), los niveles adecuados de macronutrientes en las hojas de la higuera son: 40-50, 3-4, 3-40, 15-25, 2.5-3.5 y 3.4 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente; y para los micronutrientes son 16-21, 4-6, 32-44, 12-27.9, 1.7 y 3.4 mg kg⁻¹ para B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn, respectivamente.

4.4.1 Nitrógeno (N)

La deficiencia de nitrógeno, impide el crecimiento inicial de la planta, debido a que éste forma parte de los aminoácidos y proteínas; esto debido a que la deficiencia impide la incorporación de carbono y por lo tanto la planta no crece, por lo que hay deficiencia en la cantidad de clorofila y de la enzima Rubisco (Epstein y Bloom, 2006).

En etapa de plántulas se presenta una reducción del crecimiento y un porte limitado; en las plantas adultas inicia un color amarillo claro en hojas inferiores que posteriormente terminará en una clorosis y caída de las hojas, con una disminución de la cantidad del fruto, y los pesos de las semillas son inferiores a los pesos normales (Santos *et al.*, 2004). Lavres *et al.* (2005) indica que el nitrógeno es el macronutriente que mayormente limita el crecimiento de la planta de higuera.

4.4.2 Fósforo (P)

La falta de fósforo en la planta de higuera causa crecimiento inicial lento debido probablemente a la reducción de absorción de otros nutrientes, reduce también la tasa fotosintética y el transporte interno de carbohidratos (Ferreira *et al.*, 2004).

4.4.3 Potasio (K)

La falta de potasio también produce una reducción en el crecimiento, ya que reduce la actividad fotosintética y aumenta la relación raíz/biomasa aérea, debido al almacenamiento del carbono en las raíces, lo que provoca reducción en crecimiento de los brotes y aumento en el crecimiento radicular (Peuke *et al.*, 2002).

4.5 Metodología del Balance Nutricional de los Cultivos

Rodríguez (1987), propuso un modelo simplificado para recomendar dosis de fertilización en los cultivos bajo diferentes condiciones edafoclimáticas de México, el cual fue experimentado para

determinar dosis de fertilización de N y P para maíz (*Zea mays*) y cebada (*Hordeum vulgare*) en el estado de Tlaxcala.

La metodología del modelo conceptual consiste en aplicar un modelo simplificado para generar dosis de fertilización pero que no difiere en lo substancial de los enfoques anteriormente señalados, proponiendo la formulación de la fertilización basada en el modelo de balance nutrimental de Stanford y Smith (1972).

$$\text{DOSIS} = (\text{DEM} - \text{SUM}) / \text{EFICIENCIA} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

DOSIS = Cantidad de nutrimento a aplicar (N, P ó K).

DEM = Demanda del nutriente por el cultivo.

SUM = Suministro de nutrientes por el suelo.

EFICIENCIA = Recuperación del fertilizante.

La demanda depende del rendimiento máximo alcanzable por el cultivo; el suministro depende del nivel inicial de fertilidad del suelo; y la eficiencia depende de la fertilización, de los diferentes parámetros del cultivo (sistema radicular principalmente), del suelo (retención, pérdidas) y de la tecnología de fertilización (fuente, época y forma de aplicación). La respuesta del cultivo a la fertilización depende del tipo de cultivo, de los factores edafoclimáticos y del nivel inicial de fertilidad del suelo. En general si se estudia para un mismo cultivo la respuesta a la fertilización en el enfoque de Rodríguez (1993) tiene el mismo fundamento.

Por lo tanto, el planteamiento general del modelo se fundamenta en un análisis simplificado de la nutrición de los cultivos. La producción del cultivo es el sistema en estudio. La respuesta del cultivo a la fertilización depende de las interacciones entre la planta, el suelo, el clima y las prácticas de manejo.

El modelo ha correlacionado satisfactoriamente con las dosis de nutrientes establecidas mediante experimentación en campo y análisis de suelos. Entre las ventajas potenciales de este modelo están: 1) es aplicable a todos los cultivos: 2) permite conceptualizar y usar la información generada previamente en otros experimentos, para obtener las dosis con nivel regional y parcelario en un menor tiempo de investigación que los enfoques actuales usados en México: 3) permite explicar la respuesta fisiológica del cultivo a la fertilización en el tiempo: 4) factible de mejorarse conforme se generen nuevos conocimientos: 5) prescinde en gran parte de la experimentación de campo que requieren los enfoques empíricos para generar dosis por agrosistemas: 6) reducción de costos (Volke y Etchevers, 1994). Sin embargo, la utilidad de la expresión simplificada dependerá del éxito logrado al estimar sus componentes (Stanford y Smith, 1972).

4.5.1 Demanda nutrimental de los cultivos

La demanda nutrimental es la cantidad de nutriente que un cultivo requiere para satisfacer sus requerimientos metabólicos (Rodríguez, 1993). De acuerdo con Rodríguez (1993), conociendo la biomasa total alcanzable de un cultivo y el contenido nutrimental en la biomasa total se puede efectuar el cálculo de la demanda por medio de la ecuación:

$$\text{DEMANDA} = (\text{BTA} * \% \text{ NUTRIENTES})/100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

BTA= Biomasa total alcanzable (kg MS ha⁻¹)

% NUTRIENTES= Porcentaje de nutriente en la biomasa seca de la planta

4.5.2 Requerimiento interno

Stanford y Smith (1972) observaron la consistencia de la concentración de nutrientes en los cultivos en distintas condiciones y definieron el requerimiento interno (RI) como la

concentración mínima porcentual de un elemento en la biomasa aérea del cultivo asociada con un rendimiento máximo. El requerimiento interno se refiere a la concentración nutrimental óptima de la biomasa total en el momento de la cosecha. Rodríguez (1993) señala que una vez calculada la biomasa total del cultivo para estimar la demanda se requiere conocer la concentración mínima de los nutrientes al momento de ser cosechados que permita la máxima producción económica con una nutrición (N, P, K) adecuada. Obrador (1994) señala que el RI de un nutrimento para un cultivo es la concentración porcentual del nutrimento necesaria para que pueda alcanzarse el crecimiento óptimo del cultivo durante todo su estado de desarrollo. El RI se considera como una necesidad fisiológica de la planta y es independiente del rendimiento agronómico que se obtenga. El RI es una constante del cultivo dentro de un rango normal de condiciones de crecimiento e independiente del rendimiento (Rodríguez, 1993). De acuerdo con el enfoque de Van Noordwijk y Willigen (1986) el RI es indispensable para calcular en conjunto la demanda de nutrientes por los cultivos, y el suministro de los nutrientes por el suelo.

4.5.3 Índice de cosecha

El índice de cosecha (IC) es considerado un indicador de la acumulación de fotosintatos en los órganos de la planta, considerando principalmente la parte productiva económica (frutos) con respecto a la biomasa y el cual puede considerarse relativamente constante para cada cultivo bajo condiciones de desarrollo normal (Pinochet, 1988).

5 LITERATURA CITADA

Amorim N., M. da S., Araujo, A. E., de., Beltrao, N. E. de M. 2001. Clima e solo. En: Pedrosa de A., M, Lima F., E. Ed. O agronegocio da mamona no Brasil. Embrapa Algodão, Campina Grande. pp: 62-76.

- Anadón, A. P. R. y Martínez-Larrañaga M. R. 2004. Ricina: una fitotoxina de uso potencial como arma. *Revista de Toxicología. Asociación Española de Toxicología*. 21: 51-63.
- Anjani, K. 2012. Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. *Industrial Crops and Products* 35:1-14.
- Barnes, D. J., S. Baldwin B., y A. Braasch D. 2009. Ricin accumulation and degradation during castor seed development and late germination. *Industrial Crops and Products*, 30: 254-258.
- Benavides, A., B. Pedro, y V. Pashova 2007. Castor oil biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. *Dyna* 153: 141-150.
- Bremner, J. M., and S. Mulvaney C. 1982. Nitrogen total. In: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron. No 9 in Agronomy Series. Madison, Wisconsin. USA. pp: 595–624.*
- Canecchio, F. V. y E. Freire S. 1959. Adubação da mamoneira: I. Experiências preliminares. *Bragantia*. 17: 243-259.
- Canecchio, F.V., V. Rocha J.L. y E. Freire S. 1963. Adubação da mamoneira: III. Experiências com doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia*. 22: 765-776.
- Epstein, E. y J. Bloom A. 2006. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta. p. 403.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the UN. 2007. *Ricinus communis* [En línea] <<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropFindForm>>[Consulta: 6/08/2015].
- FAOSTAT. 2014. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Estadísticas. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. [Fecha de consulta 16/01/2015].

- Ferreira, G.B.; Santos, A.C.M.; Xavier, R.M.; Ferreira, M.M.M.; Severino, L.S.; Beltrão, N.E. de M.; Dantas, J.P y Moraes, C.R.A. 2004. Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. Anais. Campina Grande: Embrapa Algodão. CD.
- Fonnegra, G.R. y R. Jiménez S.L. 2007. Plantas Medicinales Aprobadas en Colombia. 3ª ed. Universidad de Antioquia, Colombia. pp. 138-140.
- Freire, R. M. M. 2001. Ricinoquímica. In: Azevedo, D.M. de P., Lima, E.L. Ed. O agronegócio da mamona no Brasil: Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. pp. 295-335.
- Lavres, J. J., M. Boaretto R., S. Silva M.L., C. Diva, P. Cabral C. y E. Malavolta. 2005. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. Pesquisa agropecuária brasileira 40: 145-151.
- Malavolta, E. 2008. Manual de nutrição mineral de plantas. Agronômica Ceres, Sao Paulo, Brasil, p. 638.
- Moshkin, V.A. 1986. History and origin of castor. Ed. Castor. Amerind, New Delhi. pp. 117-125.
- Nakagawa, J. y A.M. Neptune A. 1971. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar "Campinas". Anais da ESALQ 28: 323-337.
- Noordwijk, M.V. y P. De Willigen, 1986. Quantitative root ecology as a element of soil fertility theory. Netherlands journal of agricultural science 34: 273-281.

- Obrador O. J. J. 1994. Validación de parámetros de planta y clima que se utilizan en un modelo simplificado destinado a determinar dosis de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio para maíz. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. p. 120.
- Ogunniyi, D.S. 2006. Castor oil: A vital industrial raw material. *Bioresource technology* 97: 1086-1091.
- Oliveira, R. R. F., De Oliveira, F. y Fonseca, M. A. 2002. As folhas de palma christi. *Ricinus communis* L. Euphorbiaceae Jussieu. Revisão de conhecimentos. *Revista Lecta, Braganca Paulista*. 20: 183-194.
- Pabón G.G. 2010. Estudio de las características botánicas y etnobotánicas de higuerilla (*Ricinus communis* L.). Cultivos energéticos alternativos. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. pp. 9-23.
- Pacheco D., P., Golcalves N., S. Heloisa Mattana y A. Patrik D. 2008. Produção e disponibilidade de nutrientes para mamoneira (*Recinus Communis*) adubada com NPK. *Revista de Biologia e Ciencias da terra* 8: 216-223.
- Peuke, A. D., D. Jeschke W. y W. Hartung. 2002. Flows of elements, ions and abscisic acid in *Ricinus communis* and site of nitrate reduction under potassium limitation. *Journal of experimental botany*. 53: 241-250.
- Pinochet, T.D. 1988. Modelo simple para la estimación de la fertilización fosfatada de los cultivos. Tesis de maestría en ciencias. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. pp. 123-136.
- Purseglove, J. W. 1968. *Tropical Crops. Dicotyledons I*. Ed. John Wiley and Sons, Inc. London, UK. pp. 180-185.

- Rico P., H. R., T. Vargas L. M., T. Oviedo R., G. Ávila A., H. Martínez M., S. Bonilla J. L. y Z. Colmenero A. 2011. Guía para cultivar higuerilla (*Ricinus communis* L) en Michoacán. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Campo Experimental Valle de Apatzingán, Michoacán.
- Robles S. R. 1980. Producción de oleaginosas y textiles. Editorial Limusa. México, D.F. 675 p.
- Rodríguez S., J. 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. ANAGRA, S.A.
- Rodríguez, S. J., 1987. Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo de maíz y la cebada en el estado de Tlaxcala. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Rzedowski, G. C. y R. Jerzy. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán. 1406 p.
- Sahrawat K. L., W. Suhas P., P. Gazula H.I. y K. Murthy V.S. 2010. Diagnosis of secondary and micronutrient deficiencies and their management in rainfed agroecosystems: case study from Indian semi-arid tropics. *Comm. Soil Sci. Plant Anal* 41: 346-360.
- Santos, A.C.M.; Ferreira, G.B.; Xavier, R.M.; Ferreira, M.M.M.; Severino, L.S.; Beltrão, N.E. de M.; Dantas, J.P y Moraes, C.R.A. 2004. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis*): descrição do efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de mamona, Campina Grande. Energia e Sustentabilidade - Anais.Campina Grande: Embrapa Algodão, 1.CD-ROOM.

- Santos, R.F., M.A.L. Barros, F.M. Marques, P.T. Firmino, and L.E.G. Requião. 2001. Análise econômica. In D.M.P. Azevedo and E.F. Lima, editors, O agronegócio da mamona no Brasil. Embrapa Informação Tecnológica, Campina Grande, Brasília, Brazil. pp. 17–35.
- Severino S. L., B. Ferreira G., A. Moraes C.R., S. Gondium T.M., A. Freire W.S., A. De Castro D., D. Cardoso G. y M. Beltrao N.E. 2006. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41: 563-568.
- Severino, S. L., D. Auld L., M. Baldanzi, C. Magno J. D., G. Chen, W. Crosby, D. Tan, H. Xiahua, P. Lakshamma, C. Lavanya, O. Machado L. T., T. Mielke, M. Milani, T. De Mileer, J. Morris B., A. Morse, S., A. Navas A., J. Soares, D., V. Sofiatti, L. Wang, M., D. Zanotto, M. y H. Zieler A. 2012. Review on the challenges for increased production of castor. En: agronomy journal. 104: 853-880.
- Stanford, G. y Smith S. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. SSSAP 36: 465-472
- Vasconcelos, S., Souza, A.A., Gusmao, C.L.S., Milani M., Benko-Iseppon, A.M., & Brasileiro-Vidal, A.C. 2010. Heterochromatin and rDNA 5S and 45S sites as reliable cytogenetic markers for castor bean. Micron 41: 748-753.
- Volke H., V. y J. D. Etchevers. 1994. Recomendaciones de fertilización de cultivos: necesidades y perspectivas de una mayor precisión. Cuaderno de Edafología 21. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México p. 26.
- Weiss, E.A. 2000. Oil seed crops. 2da. Ed. Blackwell Science, Oxford pp. 93-129.
- Wurdack, K.J., P. Hoffmann y W. Chase M. 2005. Molecular phylogenetic analysis of uniovulate Euphorbiaceae (Euphorbiaceae sensu stricto) using plastid *rbcL* and *trn-F* sequences. American journal of botany, 91:1882-1900.

CAPÍTULO 1

6.1 BIOMASA TOTAL Y RENDIMIENTO EN DOS HÍBRIDOS DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*) CON FERTILIZACIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO

Ernesto Manuel Oyosa Castillo¹, Armando Guerrero Peña^{1*}, Lorenzo Armando Aceves Navarro¹, Eugenio Carrillo Avila²

RESUMEN

La higuera es un cultivo de importancia industrial por la calidad del aceite que produce. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de biomasa seca y el rendimiento del producto comercial en dos híbridos de higuera con dos niveles de fertilización mineral. Fueron utilizados los híbridos de higuera P5762 y P5788 registrados por la empresa AGRACAST S.A. de C.V. de Tizimín, Yucatán, México. Para la investigación fue utilizado un diseño experimental completamente al azar en dos experimentos independientes, uno para cada híbrido. Se aplicaron dos dosis de fertilización como tratamientos a evaluar. Se realizaron cuatro muestreos en diferentes etapas del cultivo (desarrollo vegetativo, floración, amarre de frutos y madurez). La producción de materia seca de los diferentes componentes de la planta aumentó significativamente de forma proporcional con la fertilización de N-P-K, en ambos híbridos evaluados. Los rendimientos de semilla fueron superiores y altamente significativos; mientras que en el tratamiento testigo se obtuvieron acumulaciones de biomasa seca significativamente inferiores durante todo el ciclo en los diferentes componentes de la planta, así como un rendimiento final inferior altamente significativo.

Palabras claves: *Ricinus comunis*, fertilización, biomasa aérea y biomasa radical.

INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ricinus communis*) es un cultivo de interés bioenergético para la producción de biodiesel debido al alto contenido de aceite no comestible que contienen sus semillas (Pérez-Sánchez *et al.*, 2015). Por el alto contenido de ácido ricinoleico y alta solubilidad en alcohol a temperatura ambiente, este aceite es importante para las industrias porque se obtienen productos

de alta pureza (Severino *et al.*, 2012). La higuierilla es una especie de origen asiático, concretamente de la India (Rico *et al.*, 2011). Es una planta desarrollada en las diferentes zonas tropicales y semiáridas de la tierra (Fonnegra y Jiménez, 2007). Esta especie pertenece a la familia Euphorbiaceae y al género *Ricinus* (Wurdack *et al.*, 2005). Es un arbusto de porte erecto con alturas que van de los 2 m hasta los 10 m (Robles, 1980). La raíz de la planta es pivotante y puede alcanzar los 6 m de profundidad (Rzedowski y Jerzy, 2005), tiene un tallo recto seccionado por entrenudos y suculento, y a medida que madura se torna leñoso; su diámetro varía de 3 a 15 cm, sus hojas son alternas pecioladas, palmeadas, con nervadura palmatinerva con una lámina que varía entre los 10 a 75 cm de diámetro, con color de acuerdo con el tallo (FAO-ECOCROP, 2015). La higuierilla es una planta monoica considerada halógama y aneromófila con un alto índice de entrecruzamiento y polinización (Auld *et al.*, 2009). Severino *et al.* (2006) especifican que todas las características fisiotécnicas son determinantes en el rendimiento de la planta, por lo que la producción de biomasa está relacionada de manera importante con las condiciones nutrimentales del suelo, independientemente de las condiciones del clima (Sahrawat *et al.*, 2010). De acuerdo con Ferreira *et al.* (2004) cuando la higuierilla se establece en suelos con bajos niveles nutrimentales, el crecimiento de la planta se ve restringido debido a que demanda cantidades altas de nutrientes minerales, necesarios para alcanzar un buen rendimiento de semilla y producción óptima de biomasa. Con base en lo anterior el objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de biomasa seca y el rendimiento del producto comercial en dos híbridos de higuierilla en dos niveles de fertilización mineral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la parcela experimental

El trabajo se desarrolló en el Campo Experimental del Campus Tabasco - Colegio de Postgraduados, ubicado en las coordenadas 17° 43' de latitud norte y 92° 32' de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 11 m. El clima es (Am) cálido húmedo con lluvias en verano (García, 1973), con temperatura media anual de 26 °C con rango de precipitación total anual entre 2000 a 2500 mm (INEGI, 2005). El suelo del sitio donde se estableció el experimento fue clasificado por Palma-López *et al.* (2006), como Vertisol éutrico.

Material vegetativo

El material vegetativo cultivado fueron los híbridos de higuierilla P5762 y P5788 registrados por la empresa AGRACAST S.A. de C.V. de Tizimín, Yucatán, México.

Muestreo y análisis de suelo

Para la toma de muestra fue realizado un muestreo en zigzag, por ser el más eficiente para reducir la variabilidad de propiedades físicas y químicas (Raij *et al.*, 2001 y De Souza *et al.*, 2012); formando una muestra compuesta constituida con 13 submuestras realizado en las dos parcelas establecidas para cada híbrido. La profundidad de muestreo fue de 0 a 20 cm; Los análisis para la evaluación de fertilidad fueron: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo Olsen, potasio, calcio, magnesio, capacidad de intercambio catiónico; realizados de acuerdo con los métodos establecidos en la NOM-21-SEMARNAT, 2000 (SEMARNAT, 2002).

Establecimiento del experimento

El experimento se inició la última semana de octubre de 2014, estableciendo un vivero con cinco mil plántulas de ambos híbridos de higuierilla, en dos secciones. Posteriormente se realizó el

trasplante a campo durante la última semana del mes de noviembre, estableciendo las plántulas con espaciamientos de un metro entre plantas y entre surcos (Rico *et al.*, 2011), con una densidad poblacional de 10,000 plantas por hectárea en dos parcelas de 50 x 50 m, preparadas para cada híbrido. El trabajo se realizó en condiciones de temporal, por lo que no fueron aplicados riegos al cultivo.

Diseño experimental y Tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar dentro de ambas plantaciones quedando separados ambos híbridos y se delimitaron los diferentes tratamientos de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio, ubicando cada híbrido en nueve unidades experimentales de dieciséis plantas cada una. Se aplicaron dos dosis de fertilización y un testigo como tratamientos a evaluar. Una dosis normal (DN) de 40-25-15 kg ha⁻¹ de N-P-K, respectivamente (Diniz *et al.*, 2009), una dosis alta (DA) de 80-50-30 kg ha⁻¹ de N-P-K, respectivamente, además de un tratamiento testigo sin fertilización (TE); con tres repeticiones cada uno.

Variables evaluadas

Se realizaron cuatro muestreos de la biomasa de las plantas en diferentes etapas del cultivo (desarrollo vegetativo, floración, amarre de frutos y madurez). Cada muestreo consistió en aplicar el método de los monolitos; el cual consiste en extraer completamente la planta y obtener su biomasa radical (Anderson e Ingram, 1993). Luego fue separada por componentes: tallo, hojas, peciolo, inflorescencias y frutos, considerados como biomasa aérea. Todos los componentes fueron procesados en laboratorio; donde fue determinado el peso fresco y peso seco de las muestras, obteniendo el contenido de biomasa neta en los diferentes componentes de la planta. Este procedimiento fue aplicado durante los cuatro muestreos y al final se determinó el

contenido de biomasa total en todo el ciclo de la planta y se calculó el rendimiento de semillas, por hectárea, de los dos híbridos.

Análisis estadístico

Para ambos híbridos se realizó el análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar, y para identificar diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación nutrimental del suelo

De acuerdo con el análisis de suelos realizado en la parcela experimental, los híbridos de higuierilla fueron establecidos en un suelo Vertisol éutrico. Con base en los resultados de los análisis realizados de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), el pH es moderadamente ácido de 5.72, conductividad eléctrica de 26.68 $\mu\text{s}/\text{cm}$ sin efectos de salinidad para los cultivos, un contenido medio de materia orgánica de 2.52 %, el nitrógeno total presentó un contenido medio (0.14 %), contenido alto de fósforo Olsen de 20.05 mg kg^{-1} , el potasio con un contenido bajo de 0.29 cmol kg^{-1} , un contenido alto de calcio de 12.03 cmol kg^{-1} , bajo contenido de magnesio de 0.64 cmol kg^{-1} y contenido de sodio de 0.12 cmol kg^{-1} con una capacidad de intercambio catiónico media de 20.21 cmol kg^{-1} .

Parámetros del crecimiento

En los Cuadros 1 y 2 son presentados los valores promedios del crecimiento de los híbridos de higuierilla por cada tratamiento de fertilización. Todas las variables de respuesta evaluadas presentaron valores estadísticamente diferentes entre los tratamientos de fertilización y el testigo. El tratamiento DA de N-P-K fue el que presentó los valores estadísticamente más altos en cuanto

a las variables evaluadas; sin embargo, no presentó diferencias significativas con el tratamiento DN en las variables altura, longitud y diámetro del tallo de los dos híbridos. Los bajos niveles de fertilidad del suelo, principalmente de K intercambiable, se manifiestan en la alta respuesta a la fertilización; esto se debe a la alta demanda que presenta la higuera a este nutriente (Ferreira *et al.*, 2004).

Los tratamientos de fertilización DA y DN si presentaron diferencias estadísticas altamente significativas con el tratamiento TE en todas las variables evaluadas en los dos híbridos.

Cuadro 1. Valores promedios de las variables fisiológicas de crecimiento del híbrido P5788 de higuera medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo.

Trat.	Altura (cm)	Longitud (cm)	Diámetro tallo (cm)	Número de hojas	Número de frutos
DA	124.0 a	110.7 a	2.3 a	34.0 a	6.0 a
DN	109.7 a	97.3 a	1.9 a	22.0 b	3.0 b
TE	49.7 b	40.0 b	1.1 b	6.0 c	1.0 c

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$)

Cuadro 2. Valores promedios de las variables fisiológicas de crecimiento del híbrido P5762 de higuera medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo.

Trat.	Altura (cm)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Numero de hojas	Numero de frutos
DA	129.0 a	116.7 a	2.3 a	57 a	11.0 a
DN	123.0 a	116.3 a	2.2 a	52.0 b	8.0 b
TE	49.5 c	42.0 c	1.1 b	8.0 c	1.0 c

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$)

Como se puede observar en los Cuadros 1 y 2, los valores de altura en el tratamiento DA de los dos híbridos fueron similares a los 148 cm de altura reportada por Camacho *et al.* (2008) en la variedad BRS Nordesteña, cultivada en un suelo Ultisol; con un pH de 4.27, de textura franco arenosa, utilizando una densidad de población de 3,333 plantas ha⁻¹; y cuya dosis mineral fue 50-50-50 kg ha⁻¹ de N-P-K, respectivamente. La importancia respecto al desarrollo fisiotécnico está en la densidad de población utilizada en los híbridos P5788 y P5762 evaluados, que fue de 10,000 plantas por hectárea lo que aumenta la exportación de nutrientes en el suelo. De Souza *et al.* (2012) reportan una altura de 110 cm en el híbrido comercial de higuierilla “*savana*”, en el municipio de Missao Velha, Brasil; experimento realizado en suelo de mediana fertilidad, con pH de 5.5 y contenido de materia orgánica superior al 5 %, con una aplicación mineral de 100 kg ha⁻¹ de N; estos valores de alturas fueron similares a los valores promedio encontrados en este experimento, en los tratamientos DA y DN, de N-P-K. La altura alcanzada en los dos híbridos es similar al híbrido IAC-2028, adaptado a las condiciones de Sao Paulo, Brasil con buenos rendimientos y facilidad de cosecha mecanizada (Savy *et al.*, 2007). Respecto al diámetro del tallo, éste aumentó su desarrollo en los tratamientos DA y DN en valores que oscilan entre 1.9 y 2.3 cm; esta respuesta de la planta a la nutrición corresponde a lo reportado por Mesquita *et al.* (2011) quienes mencionan un mayor desarrollo del diámetro del tallo en la higuierilla BRS 188 Nordesteña en promedio alrededor de 2.75 cm con la dosis más alta de potasio. Aunque Severino *et al.* (2012) en la región semi-árida, en el municipio de Carnaubais, Brasil, reportan en el cultivar BRS 149 Nordesteña diámetros de planta de 3.53 cm, un valor ligeramente superior a los encontrados en los tratamientos DA y DN. Sin embargo, sus densidades de población son tres veces menores a las utilizadas con los híbridos P5788 y P5762, y con dosis de fertilización superiores. De Souza *et al.* (2012) indican que en bajas densidades poblacionales la producción

no logra valores importantes, y por el contrario densidades de siembra muy altas, de hasta 25,000 plantas ha⁻¹ disminuyen la producción de biomasa aérea y por tanto el rendimiento de producto comercial.

Etapa vegetativa

En la Figura 1, se presentan los pesos secos promedio de los componentes de la biomasa total de la planta en la etapa de crecimiento vegetativo. En ambos híbridos el tratamiento DA presentó valores significativamente más altos de materia seca total; sin embargo en el híbrido P5762 el tratamiento DN presentó un valor mayor de materia seca en las hojas, aunque no fue significativamente superior con respecto al tratamiento DA, pero si fue superior al tratamiento TE (Tukey, $\alpha=0.05$). Lo anterior muestra la importancia de la fertilización como estrategia para aumentar la producción de biomasa en la higuera.

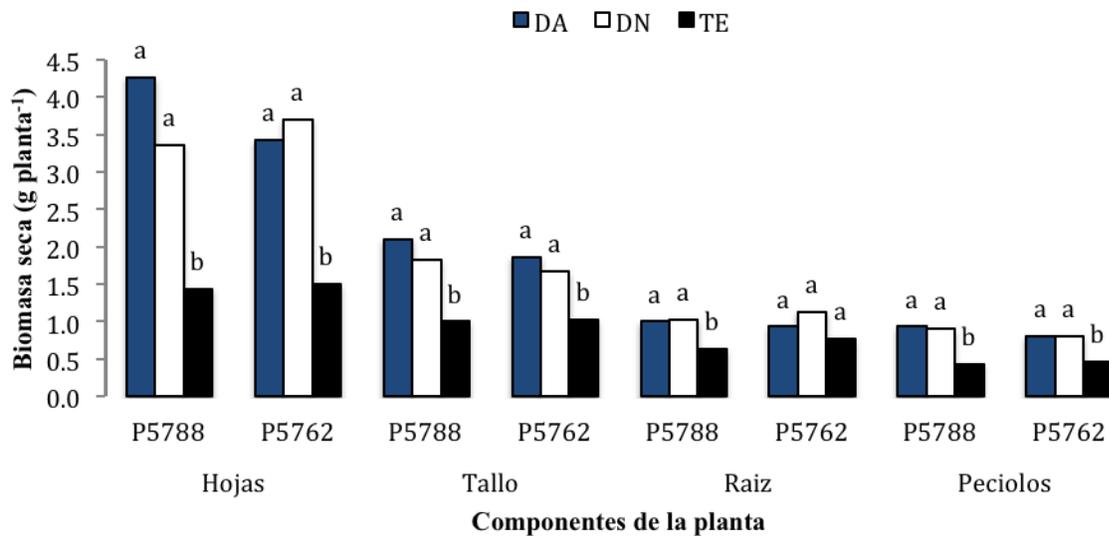


Figura 1. Biomasa aérea y radical promedio de los diferentes componentes de la planta de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa vegetativa medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo.

Las medias seguidas de letras distintas en los tratamientos indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$)

Como se observa en la Figura 1, los valores altos de producción de materia seca en la etapa vegetativa están principalmente en las hojas de la planta. Para el híbrido P5762 los valores de la biomasa total para los tratamientos DA, DN y TE fueron de 12.3, 7.3 y 3.8 g planta⁻¹, respectivamente, con diferencias significativas entre ellos (Tukey, $\alpha=0.05$). Sin embargo, en el híbrido P5788 se encontraron valores de 8.3 y 7.0 g planta⁻¹ en los tratamientos DA y DN, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos, pero diferentes del tratamiento TE (Tukey, $\alpha=0.05$); el cual presentó un contenido de materia seca de 3.5 g. Diniz *et al.* (2009) y Severino *et al.* (2006), reportaron resultados similares, indicando que la producción de materia seca en la planta está relacionada con la nutrición y la disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

Etapas de floración

En la Figura 2 se presentan los valores promedio de producción de materia seca por la planta de higuera en la etapa de floración. En esta etapa el desarrollo de hojas fue mayor en el híbrido P5762 para el tratamiento DA. Valores significativamente inferiores en los diferentes componentes se observaron en el tratamiento TE con respecto de los tratamientos DA y DN en los dos híbridos (Tukey, $\alpha=0.05$). La producción de materia seca de las inflorescencias fue mínima con respecto a la observada en las otras variables, tal como se muestra en la Figura 2.

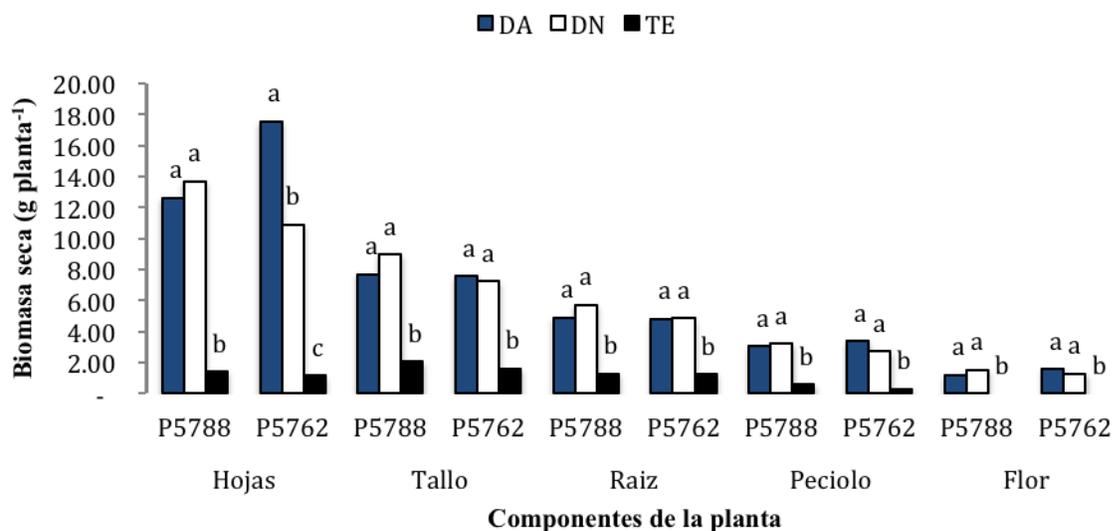


Figura 2. Biomasa área y radical promedio de los diferentes componentes de la planta de los híbridos de higuerrilla P5762 y P5788 en etapa de floración medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo.

Las medias seguidas de letras distintas en los tratamientos indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$)

Etapas de fructificación

En la Figura 3 se puede observar que la mayor cantidad de materia producida en la parte aérea (hojas, tallo, pecíolos, flor y frutos) corresponde a las hojas y el tallo. La producción de materia seca del híbrido P5788 en los tratamientos DA, DN y TE fue de 116.0, 64.5 y 6.4 g planta⁻¹, respectivamente; presentándose diferencias estadísticas significativas entre los tres tratamientos. Sin embargo, en el híbrido P5762 la producción de biomasa seca total fue de 98.0, 119.0 y 9.8 g planta⁻¹, respectivamente; y no presentan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos DA y DN, pero sí cuando se compararon con el testigo. Estos valores de biomasa total producidos por los híbridos es inferior a los obtenidos por Mesquita *et al.* (2011) quienes reportan una producción de materia seca total de 325.41 g por planta⁻¹, en el cultivar BRS

Nordestina; aunque los híbridos P5762 y P5788 son de porte bajo lo que disminuye la producción de biomasa seca; y otro factor influyente es la densidad de siembra alta que se utilizó lo que se traduce en un mayor rendimiento de frutos por hectárea aunque también en una mayor exportación de nutrientes del suelo.

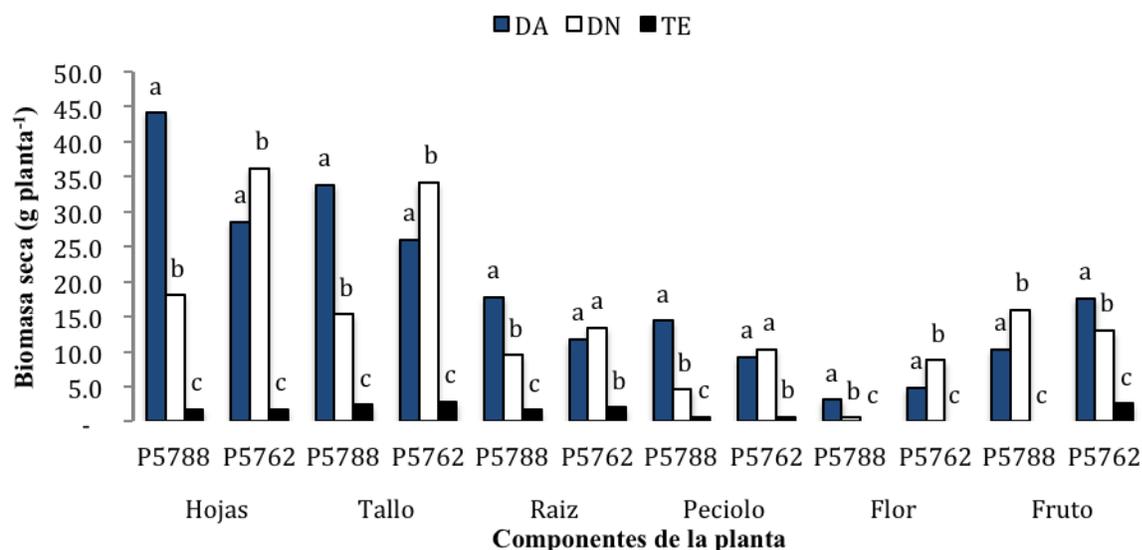


Figura 3. Biomasa área y radical promedio de los diferentes componentes de la planta de los híbridos de higuera P5762 y P5788, en la etapa de amarre de frutos medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo. Las medias seguidas de letras distintas en los tratamientos indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

En la etapa de floración es donde la planta llegó a producir la mayor cantidad de biomasa total en todos sus componentes, a excepción del fruto, lo que coincide con lo reportado por Santana *et al.* (2012) quienes en un experimento realizado en el híbrido Lyra determinaron una mayor producción de biomasa de 122 kg ha⁻¹ en el mismo periodo de crecimiento de la planta

Etapa de madurez

La información para la etapa de madurez se presenta en la Figura 4, en la cual, se puede observar que la acumulación de materia seca en los diferentes componentes tiene un cambio significativo con respecto a las etapas anteriores. Los valores significativos estadísticamente

altos de biomasa aérea acumulada, en los híbridos P5788 y P5762 se observaron en el tratamiento DA, con 227.9 y 270.0 g planta⁻¹, respectivamente. Estos valores son similares a los encontrados por Chaves y Lima (2011) quienes en el cultivar BRS Nordestina reportan una producción de biomasa aérea de 235.95 g planta⁻¹, aplicando una dosis de 160-90-60 kg ha⁻¹ de NPK; sin embargo, la ventaja de los híbridos P5762 y P5788 es la densidad de población alta y la cantidad aplicada en la dosis de fertilización para alcanzar rendimientos de biomasa seca similares. Sin embargo Chaves y Lima (2011) reportan valores obtenidos de materia seca total entre 185.68 y 216.48 g planta⁻¹ los cuales fueron inferiores a los obtenidos por los híbridos P5762 y P5788 de este estudio. En lo que respecta la biomasa radical, los valores promedio más altos se observaron en el tratamiento DA, en ambos híbridos con valores de 40.6 y 31.0 g planta⁻¹, respectivamente. Sin embargo, estos valores fueron inferiores a los reportados por Mesquita *et al.* (2011) quienes obtuvieron valores de biomasa radical de 106.24 g planta⁻¹ con la dosis 300-250-250 kg ha⁻¹ de N-P-K. Por su parte, Chaves y Lima (2011) reportan un valor de biomasa radical de 54.83 g planta⁻¹ en el cultivar BRS Nordestina, aplicando una dosis de 160-90-60 kg ha⁻¹ N-P-K cultivada en suelo franco arenoso clasificado como Eutrofico típico, con pH 6.4.

La biomasa seca total producida en los híbridos P5788 (258.3 g planta⁻¹) y P5762 (292.6 g planta⁻¹) fue superior a los 155.03 g planta⁻¹ reportada por Rivera- Hernández *et al.* (2014) en un suelo con características similares en la región Chontalpa de Tabasco, México.

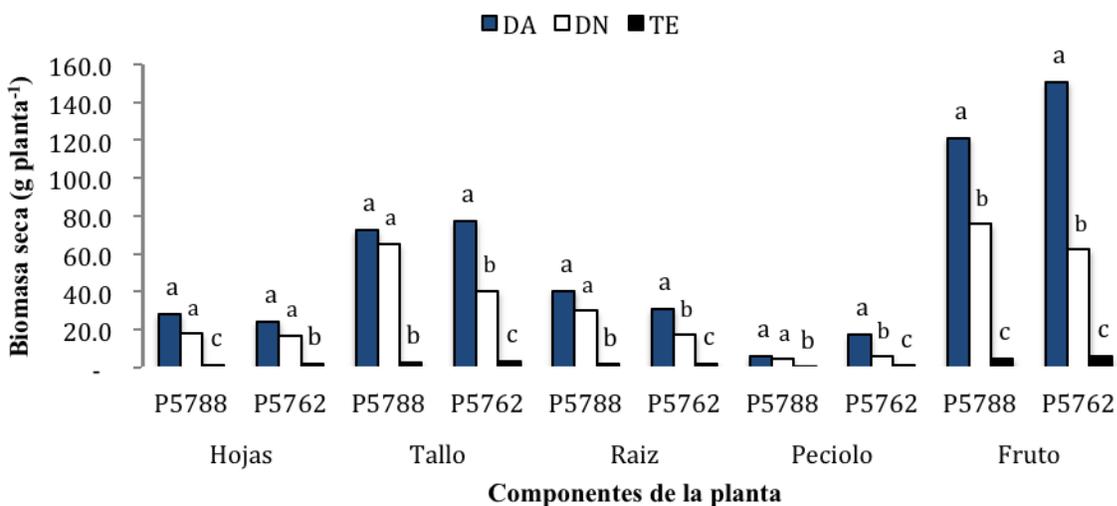


Figura 4. Biomasa área y radical promedio de los diferentes componentes de la planta de los híbridos de higuierilla P5762 y P5788 en etapa de madurez medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo. Las medias seguidas de letras distintas en los tratamientos indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$)

Como se observa en la Figura 4, los rendimientos de fruto maduro fueron más altos en ambos híbridos en el tratamiento DA, diferentes estadísticamente con respecto a los rendimientos obtenidos en los tratamientos DN y TE, que a su vez resultaron también diferentes estadísticamente.

Rendimientos de semilla

En el Cuadro 3, se presentan los valores del rendimiento del producto comercial. El valor del rendimiento alcanzado por el híbrido P5762 en el tratamiento DA fue estadísticamente superior al determinado en los tratamientos DN y TE; el híbrido P5788 presentó la misma tendencia. Estos rendimientos de producto comercial son similares a 1811 kg ha^{-1} reportados por Benetoli *et al.* (2007) en higuierilla cultivada en Campo Grande, MS. Brasil. Otro estudio realizado por Severino *et al.* (2006) indica una producción alcanzada de producto comercial máxima de 1682 kg ha^{-1} aplicando una dosis de 250 kg ha^{-1} de N-P-K en un suelo franco arenoso de mediana fertilidad. Sin embargo, Baldwin y Cossar (2009) en un estudio realizado en la región centro-

sur de E.E.U.U. evaluando diferentes fechas de siembra para la higuera obtuvieron una producción de semilla máxima de 1954 kg ha⁻¹; con una fertilización alta de nitrógeno, fósforo y potasio para alcanzar los mejores rendimientos. No obstante la variedad BRS Energía obtuvo un rendimiento de 2304 kg ha⁻¹ aplicando una dosis de 120-120-00 kg ha⁻¹ de N-P-K con una densidad de 12500 plantas por hectárea en un suelo Alfisol (Da Cruz *et al.*, 2012).

Cuadro 3. Rendimiento del producto comercial de los híbridos P5788 y P5762 de higuera en dos niveles de fertilización N-P-K y un testigo.

Híbridos	Tratamiento	Rendimientos (kg planta ⁻¹)		Rendimiento total
		Corte 1	Corte 2	(kg ha ⁻¹)
P5762	DA	0.1509	0.025	1759.0a
	DN	0.0624	0.0247	871.0b
	TE	0.006	0.0038	98.0c
P5788	DA	0.1212	0.0364	1576.0a
	DN	0.0759	0.01497	908.7b
	TE	0.0048	0.0029	77.0c

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$)

Relación biomasa total y rendimiento de semilla

En la Figura 5 Se puede observar que existe una correlación positiva entre el rendimiento y la biomasa total alcanzable por el cultivo, esto indica que conforme aumenta la biomasa total del cultivo, el rendimiento del producto comercial aumenta significativamente.

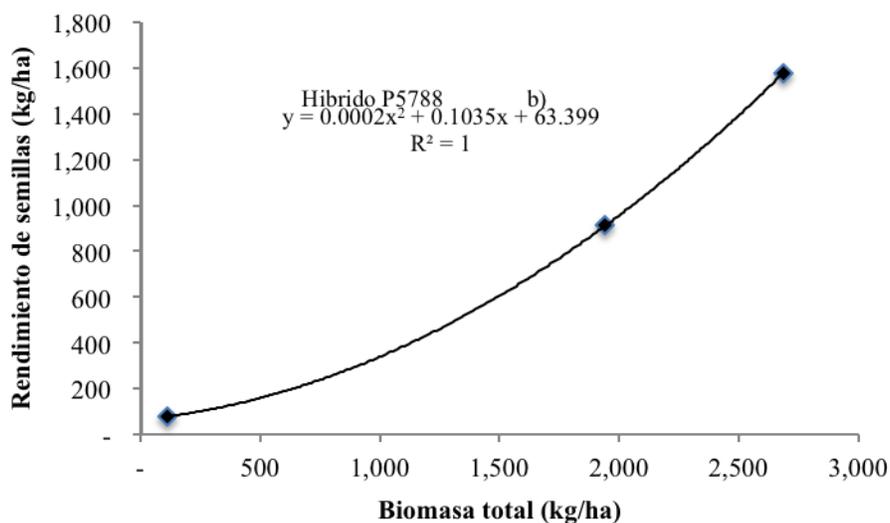
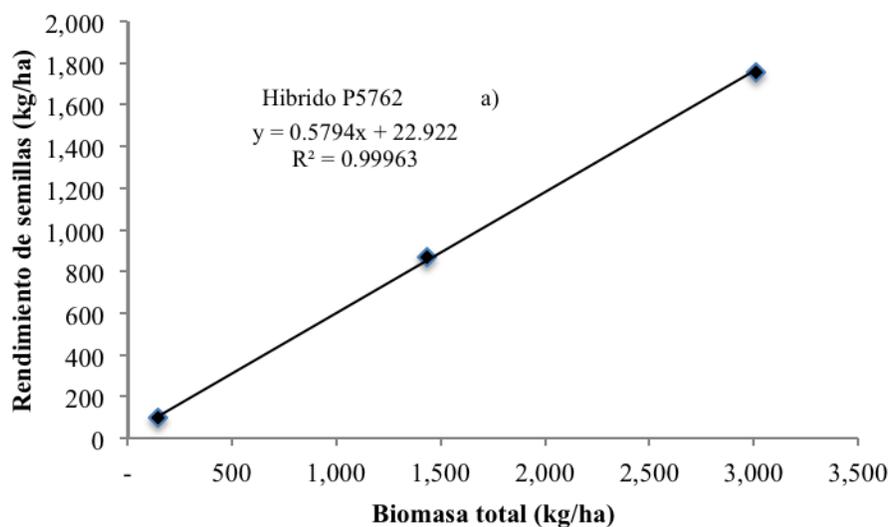


Figura 5. Relación biomasa seca total y rendimiento de los híbridos de higuera P5762 (a) y P5788 (b), en etapa de madurez, medidas en dos dosis de fertilización de N-P-K y un testigo.

Como se puede observar los tratamientos con aplicaciones de nutrientes tuvieron efectos positivos en el crecimiento, desarrollo y en los rendimientos; los cuales presentaron diferencias altamente significativas comparadas con las plantas sin fertilizar. El crecimiento de los componentes de la planta como altura, diámetro y longitud de tallo y número de hojas se detuvo al momento de la floración. Este efecto fue similar al reportado por Ribeiro *et al.* (2009) quienes

indicaron que durante el cierre de la etapa vegetativa e inicio de la etapa productiva, la mayor concentración nutrimental se mueve a los racimos de flores y frutos.

CONCLUSIONES

La producción de materia seca de los diferentes componentes de la planta aumentó significativamente de forma proporcional con la fertilización de N-P-K, en ambos híbridos evaluados. El tratamiento con la dosis alta de N-P-K fue el mejor; ya que se obtuvieron rendimientos de materia seca superiores en los dos híbridos; y los rendimientos de producto comercial fueron significativamente mayores ($p \leq 0.01$). En los dos híbridos en el tratamiento testigo se obtuvieron acumulaciones de biomasa seca significativamente inferiores durante todo el ciclo del cultivo en los diferentes componentes de la planta, así como un rendimiento final significativamente menor ($p \leq 0.01$).

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Julián Barrera Director de la empresa AGRACAST SA de CV, Tizimín, Yucatán por proporcionar la semilla de los dos híbridos de higuierilla.

Al Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua, y a la Línea Prioritaria de Investigación “Energía Alternas y Biomateriales, del Colegio de Postgraduados por el financiamiento del proyecto.

LITERATURA CITADA

Anderson, J. M. and J. S. I. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility. Second edition.

CAB International. Wallingford, UK.

Auld D., L., Z. D. Mauricio, M. Thomas and M. B. John. 2009. Oil crops. In J. Vollmann & I.

Rajcan (Eds.), Handbook of plant breeding. New York.

- Baldwin B., S. y R. D. Cossar. 2009. Castor yield in response to planting date at four locations in the south-central United States. *Industrial Crops and Products* 29: 316-319.
- Benetoli, da S. T. R., V. Espinosa L., A. R. Berchol da Silva and L. Henrique V. 2007. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília 4(9):1357-1359.
- Chaves G., L. H. y A. Lima D. 2011. Fitomassa e produção da mamoneira BRS Nordestina adubada com NPK. *Engenharia Ambiental* 8(1): 222-231.
- Camacho, V. A., S. Severino L y S. Águila J. M. 2008. Adaptación de tecnología de fertilización en un cultivar de higuerilla (*Ricinus communis* L.) introducido de Brasil para la región Ucayali en la selva del Perú 2007- 2008. III. Congreso Brasileiro de mamona. Energía e recinoquímica.
- Da Cruz S., A., F. H. Tavares De O., A. P. De Araujo, J. F. De Medeiros J. and E. Zonta. 2012. Doses de nitrogênio e fósforo para a produção econômica da mamoneira no município de Mossoró-RN. *Revista Caatinga Mossoró* 25(4): 52-60.
- De Souza, G. D., R. Peres S., D. Bottino, A. Mazetti F. 2012. Crescimento e produtividade da mamona de porte baixo em diferentes espaçamentos e populações de plantas. *Interciencia* 37(1): 49-54.
- Diniz N., M. A., F. J. Alves F. T., L. Araujo C. y B. L. Moreira T. 2009. Adubação NPK e épocas de plantio para a mamoneira. I-componentes da produção e produtividade. *Revista Ciência Agronômica* 40 (4): 579-587.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the UN. 2007. *Ricinus communis* [En línea] <<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropFindForm>>[Consulta: 5/10/2015].

- Ferreira, G. B.; A. C. M. Santos, R. M. Xavier; M. M. M. Ferreira, L. S. Severino, N. E. de M. Beltrão, J. P. Dantas, C. R. A. Moraes. 2004. Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. Energia e Sustentabilidade - Anais...Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROOM.
- Fonnegra G., R. y J. Jiménez S. L. 2007. Plantas Medicinales Aprobadas en Colombia. 2a edición. Universidad de Antioquia. Colombia.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. Segunda edición. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- INEGI. 2005. Anuario estadístico Gobierno del estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Mesquita E., F., G. Chaves L. H. y C. Guerra H. O. 2011. Fitomassa e componentes da produção da mamona fertilizada com nitrogênio, fósforo e potássio. Revista Agrarian 4 (14): 344-351.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2006. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados. Tercera edición. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pérez-Sánchez A., M. A. Coronado Ortega, G. Montero-Alpírez, C. García-González, R. Ayala-Bautista, H. E. Campbell-Ramirez. 2015. Simulación en aspen de la combustión de mezclas diesel-biodiesel. Ingeniería Investigación y Tecnología XVI(1):83-92.
- Rajj B., V., A. J. Carlos, C. Hector y Q. J. Antonio. 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas.

- Ribeiro, S., L. H. G. Garófalo C., H. O. Carvalho G., H. R. Gheyi and D. de Lacerda. 2009. Resposta da mamoneira cultivar BRS-188 Paraguaçu à aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio. *Revista Ciênc. Agron. Fortaleza* 40(4): 465-473.
- Rico P., H. R., L. M. Tapia V., R. Teniente O., A. González A., M. Hernández M., J. L. Solis B. y A. Zamarripas C. 2011. Guía para cultivar higuerilla (*Ricinus communis* L) en Michoacán. Folleto Técnico No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Campo Experimental Valle de Apatzingán. Apatzingán, Michoacán, México.
- Rivera-Hernández, B., A. Guerrero-Peña, G. González-Arias, R. Gutierrez-Burón y P. Ruiz-Beltrán. 2014. Extracción nutrimental de NPK en un genotipo silvestre de *Ricinus communis* L en fase de fructificación temprana. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2(3): 342-346.
- Robles S., R. 1980. Producción de oleaginosas y textiles. Editorial Limusa. México, D.F. 675p.
- Rzedowski, G. C. y R. Jerzy. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed., 1a reimp. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406 pp.
- Sahrawat K., L., W. Suhas P., P. Gazula H. I. and K. Murthy V. S. 2010. Diagnosis of secondary and micronutrient deficiencies and their management in rainfed agroecosystems: case study from Indian semi-arid tropics. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 41:346-360.
- Santana do N., M., C. A. Costa C., A. Mazzeti Fernandes y M. Dutra Z. 2012. Nutrient Extraction and Exportation by Castor Bean Hybrid Lyra. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 36: 113-124.

- Savy F., A., E. Perito A., N. P. Ramos, A. L. Mello M. y J. C. Cavichioli. 2007. Novas cultivares IAC 2028: nova cultivar de mamona. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasilia 42(3): 449-452.
- SEMARNAT. 2002. DOF. 2000. Norma Oficial Mexicana (NOM-21-SEMARNAT, 2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre de 2002. México.
- Severino S. L., B. Ferreira G., A. Moraes C.R., S. Gondium T. M., A. Freire W. S., A. De Castro D., D. Cardoso G. y M. Beltrao N. E. 2006. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 563-568.
- Severino, S. L., D. Auld L., M. Baldanzi, C. Magno J. D., G. Chen, W. Crosby, D. Tan, H. Xiahua, P. Lakshmamma, C. Lavanya, O. Machado L. T., T. Mielke, M. Milani, T. De Mileer, J. Morris B., A. Morse, S., A. Navas A., J. Soares, D., V. Sofiatti, L. Wang, M., D. Zanotto, M. y H. Zieler A. 2012. Review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*. 104: 853-880.
- Wurdack K., J., P. Hoffmann y M. W. Chase. 2005. Molecular phylogenetic analysis of uniovulate Euphorbiaceae (Euphorbiaceae sensu stricto) using plastid rbcL and trn-F DNA sequences. *American Journal of Botany* 92(8):1397-1420.

CAPITULO 2

6.2 DEMANDA NUTRIMENTAL Y REQUERIMIENTO INTERNO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN DOS HÍBRIDOS DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*)

Ernesto Manuel Oyosa Castillo¹, Armando Guerrero Peña^{1*}, Lorenzo Armando Aceves Navarro¹, Eugenio Carrillo Avila²

La fertilización incrementa la producción de semilla y mejora la calidad del aceite en la higuierilla (*Ricinus communis*), se ha comprobado que es una planta exigente a la nutrición en todas las etapas de desarrollo y cuando es establecida en suelos de baja fertilidad su crecimiento y desarrollo es limitado. El objetivo de este estudio fue determinar la demanda nutrimental y el requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en dos híbridos de higuierilla P5762 y P5788 en cuatro etapas fenológicas, aplicando dos niveles de fertilización mineral con NPK. El estudio consistió en el establecimiento del cultivo en un área definida para cada híbrido y realizándose los análisis químicos de las diferentes partes de la planta. Se evaluó la respuesta de la planta a la nutrición por separado mediante un diseño experimental completamente alzar. A las diferentes variables evaluadas se les realizó el análisis de varianza y la prueba de medias Tukey (0.05). El requerimiento interno fue en el orden N<P<K. El índice de cosecha fue diferente en los tres tratamientos y en promedio fue calculado 0.65 para una producción de 3010 kg ha⁻¹ de biomasa seca. La demanda nutrimental promedio fue de 102.53, 10.10 y 89.83 kg ha⁻¹ de NPK alcanzando una producción promedio de 1759 kg ha⁻¹ de grano. Se concluye que el contenido nutrimental presenta relación directa con la producción de biomasa nutrimental. Todos los parámetros evaluados son de utilidad para el establecimiento de una fertilización sustentable del cultivo de higuierilla mediante el modelo de balance nutrimental.

Palabras claves: fertilización, Requerimiento interno, índice de cosecha, demanda nutrimental, balance nutrimental y biomasa.

INTRODUCCIÓN

La fertilización en higuera ha sido estudiada por diversos autores por su importancia para incrementar los rendimientos de semilla y la producción de aceite (Sahrawat *et al.*, 2010 y Peuke *et al.*, 2002); y está comprobado que la higuera es una planta exigente a la nutrición en casi todas las etapas de su ciclo de vida (Severino *et al.*, 2006). Los estudios con fertilización mineral en este cultivo han demostrado que la planta extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo para aumentar su productividad, y también demostraron que las diferentes estructuras de la planta están relacionadas con la producción de semilla (Pacheco *et al.*, 2008 y Severino *et al.*, 2006). El estudio más antiguo refiriéndose a exportación de nutrientes en el cultivo de higuera fue realizado por Canecchio y Freire (1958) quienes encontraron que 2 000 kg ha⁻¹ de semillas de higuera exportan alrededor de 80 kg ha⁻¹ N, 8 kg ha⁻¹ P, 26 kg ha⁻¹ K, 9 kg ha⁻¹ Ca y 6 kg ha⁻¹ Mg. Estos valores fueron confirmados trece años después por Nakagawa y Neptune (1971), aunque estos autores demostraron que la acumulación de nutrientes en la parte aérea a los 133 días después de la emergencia fueron de 156, 12, 206, 19 y 21 kg ha⁻¹ de N, P, K y Ca, Mg, respectivamente.

Canecchio y Freire (1959) evaluaron la influencia de N-P-K en el cultivo de higuera, y reportan un efecto positivo en la aplicación de nitrógeno y fósforo en el rendimiento de semilla; el primer elemento aumentó un 31 % la productividad (+815 kg ha⁻¹) y el segundo un 25 % (+358 kg ha⁻¹) ambos comparados con el testigo sin fertilizar.

Canecchio *et al.* (1963) realizaron estudios con fertilización N-P-K en el cultivo de higuera encontrando que la aplicación de 75 y 150 kg de P₂O₅ ha⁻¹ produce 1138 kg ha⁻¹ y 1518 kg ha⁻¹ de semilla, respectivamente, en comparación con el testigo que produjo 305 kg ha⁻¹; otro aspecto

importante mencionado por los autores es el efecto expresivo del P y N en la reducción del tiempo de floración y a la cosecha.

De acuerdo con Malavolta (2008), los niveles adecuados de macronutrientes en las hojas de la higuera son: 40-50, 3-4, 3-40, 15-25, 2.5-3.5 y 3.4 g kg⁻¹, respectivamente para N, P, K, Ca, Mg y S; y para los micronutrientes son de 16-21, 4-6, 32-44, 12-27.9, 1.7 y 3.4 mg kg⁻¹ para B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn.

De acuerdo con Ferreira (2004) el crecimiento de la higuera se ve restringido cuando se establece en suelos con bajos niveles de nutrientes, ya que la planta demanda grandes cantidades de nitrógeno para alcanzar un crecimiento y rendimiento óptimos. Con base en lo anterior expuesto, el objetivo de este estudio fue determinar la demanda nutricional y el requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en dos híbridos de higuera P-5762 y P-5788 en cuatro etapas fenológicas, aplicando dos niveles de fertilización mineral con NPK.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se desarrolló en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado geográficamente en las coordenadas 17° 43' de latitud norte y 92° 32' de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 11 m. El clima es cálido húmedo con lluvias en verano Am (García, 1973), con temperatura media anual de 26 °C con un rango de precipitación anual entre 2000 a 2500 mm (INEGI, 2005).

Establecimiento del experimento

Se establecieron dos parcelas experimentales con los híbridos de higuera P5788 y P5762 en un Vertisol éutrico de mediana fertilidad (Oyosa *et al.*, 2015). Los tratamientos de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio fueron establecidos tomando como base la dosis 40-25-15 kg ha⁻¹ N-

P-K evaluada y reportada con el mejor rendimiento por Diniz *et al.* (2009); otra dosis denominada alta 80-50-30 kg ha⁻¹ N-P-K, equivalente al doble de la dosis recomendada y se estableció un testigo sin fertilizar. Las fuentes de fertilización fueron: urea [CO(NH₂)₂], superfosfato triple (P₂O₅) y cloruro de potasio (K₂Cl). Las dosis fueron seccionadas en tres periodos de tiempo para una mayor asimilación del nutriente por la planta. Cada muestreo consistió en la extracción completa de la planta en campo durante cuatro etapas fenológicas del cultivo. Las plantas extraídas durante los cuatro muestreos fueron preparadas en el Laboratorio Agroindustrial Suelo, Planta y Aguas (LASPA) del Campus Tabasco – Colegio de Postgraduados, en donde fueron separadas en sus componentes de biomasa aérea (hojas, tallos, peciolo, flor y frutos) y biomasa radical (raíces), que fueron posteriormente secados en una estufa de extracción a temperatura de 72 °C hasta alcanzar pesos secos constantes. Una vez obtenida la biomasa seca, las muestras se pasaron en un molino vegetal con malla de 0.5 mm y posteriormente se comenzaron a realizar los análisis para determinar la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en cada componente de la planta. Para determinar el nitrógeno total se utilizó el método Semi-micro Kjendahl modificado para incluir nitratos, que consiste en tres etapas importantes: digestión-destilación y titulación (Bremner, 1965); el fósforo fue determinado mediante solubilización con HNO₃ / HClO₄ y cuantificación con reactivo vanado molibdicó (Allan, 1971) y el potasio se determinó mediante solubilización con HNO₃ / HClO₄ por espectrofotometría de absorción atómica (Allan, 1971).

Una vez realizados los análisis químicos se procedió a calcular el rendimiento del producto comercial y a calcular el índice de cosecha (IC) de los dos híbridos de higuera mediante la ecuación:

$$IC = \text{MS producto cosechado (kg)} / \text{Biomasa total (kg)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

MS= materia seca

Biomasa total (kg) = MS parte aérea (kg) + MS parte radical (kg) + MS producto cosechado (kg)

Con los datos nutrimentales obtenidos de los análisis químicos se determinó el requerimiento interno de los híbridos utilizando la ecuación:

$$RI = \frac{\text{kg N absorbido}}{\text{kg BT}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

RI = Requerimiento interno (%).

kg N absorbido = Kilogramo de nutrimento (N-P-K) absorbido en la biomasa total promedio

BT= Biomasa total (kg).

Con la información obtenida del rendimiento, la humedad del fruto y el contenido nutrimental por etapa fenológica y el requerimiento interno de cada nutriente, se procedió a estimar la demanda nutrimental del cultivo de higuera en ambos híbridos y para cada nutriente, basado en el trabajo de Etchevers y Galvis (1991) en el cultivo de piña. La demanda nutrimental se expresa en términos de kilogramos de nutrimentos por hectárea de producto comercial cosechado, y la ecuación para el cálculo de acuerdo con lo establecido por Rodríguez *et al.* (2001) y Salgado *et al.* (2000).

$$DEM = (BT * \% \text{ Nutriente por planta})/100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

DEM= Demanda de nutrimentos del cultivo (kg ha⁻¹)

BT= Biomasa seca total (kg ha^{-1})

% nutriente = contenido nutrimental de NPK por planta

Para evaluar los diferentes tratamientos se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones en cada híbrido establecido y los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete estadístico SAS (*Statistical Analysis System*) versión 9.1 y correlaciones del programa Excel 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido nutrimental en la biomasa total

Los valores promedios del contenido nutrimental de N-P-K en la biomasa seca total por hectárea de los dos híbridos de higuera al momento de madurez en los tres tratamientos, se presentan a continuación. En el híbrido P5788 el tallo presentó el valor más alto del contenido nutrimental total de nitrógeno en kg ha^{-1} de 25.9, seguido del fruto con 22.7, la raíz con 7.14, las hojas con 6.7 y 1.3 en los peciolo. El contenido de fósforo total más alto en kg ha^{-1} se presentó en el tallo con 2.5, seguido del fruto con 2.3, la raíz 0.9, las hojas 0.4 y en el peciolo 0.1. Para el caso del potasio la acumulación total en kg ha^{-1} fue mayor en el fruto con 20.3, seguido del tallo con 13.0, raíz 6.0, hojas 4.2 y 1.0 en los peciolo.

En el híbrido P5762 el contenido de nitrógeno en kg ha^{-1} más alto fue en el fruto con 28.2, seguido del tallo con 11.3, en la raíz 6.6, peciolo de 3.7 y 3.7 en las hojas. Con respecto al fósforo la mayor acumulación en kg ha^{-1} fue en el fruto 3.3, seguido del tallo con 1.4, la raíz 0.7, las hojas 0.7 y los peciolo 0.3. Para el potasio la mayor acumulación en kg ha^{-1} igual fue en el fruto con 27.2, seguido del tallo con 13.7, la raíz con 6.5, las hojas con 3.2 y en los peciolo 3.1. Los valores estadísticamente más altos de acumulación de N-P-K en la biomasa total fueron

determinados en el tratamiento DA, seguido del tratamiento DN y el menor contenido fue determinado en el tratamiento TE, en los dos híbridos. La mayor concentración nutrimental esta relacionada con el rendimiento de biomasa, por lo tanto los rendimientos obtenidos en el tratamiento DA son similar a lo reportado por Moro *et al.* (2012) en donde los mejores rendimientos de semillas fueron obtenidos aplicando una dosis alta de 85 kg ha⁻¹ de N. Estos valores de respuesta a la nutrición fueron confirmados por Rivera-Hernández *et al.* (2014) quienes encontraron los mayores rendimientos de producto comercial y biomasa total en el tratamiento con las dosis alta de N-P-K en un genotipo silvestre de higuierilla cultivado en la Chontalpa, Tabasco, México.

Al momento de la cosecha la concentración mayor de K esta presente en el producto comercial de la planta y el tallo, disminuyendo significativamente el contenido nutrimental en la parte vegetativa (hojas) y en las raíces donde el nutriente en mayor cantidad es el nitrógeno en los dos híbridos.

El contenido nutrimental en los diferentes tratamientos siguió el orden de extracción N>K>P; el cual fue similar al reportado por Nakagawa y Neptune (1971), aunque con diferentes valores en cuanto al contenido nutrimental. Sin embargo, el mismo autor concluye que se debe a que las variedades de higuierilla tienen diferentes demandas nutrimentales en función de las condiciones edafoclimáticas.

Determinación del índice de cosecha

El índice de cosecha (IC) fue calculado para los tres tratamientos a partir de los pesos obtenidos de biomasa seca total (hojas, tallo, raíz, peciolo, flor y frutos) y el rendimiento de semillas. Los resultados se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Índice de cosecha a partir de la biomasa total y el rendimiento de semillas de los híbridos de higuera P5788 y P5762.

Híbridos	Tratamientos	Biomasa total (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Índice de cosecha
P5762	DA	3010 a	1759.0 a	0.65 a
	DN	1432 b	871.0 b	0.44 b
	TE	147 c	98.0 c	0.88 c
P5788	DA	2685a	1576.0 a	0.52 a
	DN	1940b	908.7 b	0.63 b
	TE	111c	77.0 c	0.52 c

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. *Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los índices de cosecha fueron relativamente bajos comparados con otros cultivos, sin embargo Etchevers *et al.* (1991) mencionan que las variaciones principales en el IC pueden estar dadas por el tipo y variedad de la especie, y algunos factores edafoclimáticos; no obstante los cultivos oleaginosos presentan bajos de IC debido a que destinan la mayor parte de la energía que sintetizan (glucosa) a la producción de lípidos (constituyentes principal de la semilla) y menos a la acumulación de fotoasimilados como carbohidratos estructurales o de reserva.

Como se puede observar en el Cuadro 4 los IC calculados de acuerdo con la producción de biomasa total de la planta y el rendimiento de grano fueron diferentes estadísticamente para cada tratamiento; los mayores IC se obtuvieron en los tratamientos DA en los dos híbridos, lo que indica una relación positiva entre el IC y la biomasa seca total. En uno de los estudios pioneros sobre el IC realizado en el cultivo de trigo, Gent y Kiyomoto, (1989) indican que existe variación en relación a la asimilación y distribución de fotosintatos, ya que obtuvieron mayores IC en

variedades de porte bajo debido a que movilizaban eficientemente los fotosintatos a la producción de grano y no hacia otros órganos como sucede con las plantas de porte alto.

Determinación del requerimiento interno

En el Cuadro 5 se presentan los valores promedios obtenidos del requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en los híbridos P5788 y P5762 obtenidos al momento que el cultivo alcanzó la senescencia.

Cuadro 5. Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en el híbrido de higuierilla P5762.

Hibrido P5762	Biomasa Total (kg ha ⁻¹)	RI N	RI P	RI K
		%		
DA	3,010.33 a	1.84 a	0.21b	1.80 a
DN	1,432.00 b	0.90 b	0.36 a	1.59 b
TE	147.00 c	0.64 b	0.46 a	1.44 b

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. *Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 6. Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en el híbrido de higuierilla P5788.

Hibrido P5788	Biomasa Total (kg ha ⁻¹)	RI N	RI P	RI K
		%		
DA	2,684.66 a	2.31 a	0.19a	1.63 a
DN	1,939.66 b	2.00 a	0.27 b	1.75 a
TE	111.00 c	2.43 a	0.20 a	1.50 a

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. *Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Como se observa en los Cuadros 5 y 6, el requerimiento interno en el tratamiento DA presentó diferencias estadísticas significativas con respecto a los tratamientos DN y TE, los cuales para el caso del híbrido P5762 fueron relativamente similares; mientras en el híbrido P5788 el nitrógeno

y potasio no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo anterior indica que el requerimiento interno en la higuierilla tiende a ser constante en condiciones nutrimentales favorables.

Determinación de la demanda nutrimental por etapas fenológicas

En los Cuadros 7 al 10 se presentan los valores del cálculo de la demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio de acuerdo con la estimación de la biomasa seca total determinada en cada etapa de desarrollo de los híbridos de higuierilla P5762 y P5788.

Cuadro 7. Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha⁻¹ de los híbridos de higuierilla P5762 y P5788 en etapa vegetativa.

Hibrido	TRAT.	Biomasa total	N	P	K
P5762	DA	70.330 a	4.396 a	0.475 ac	2.388 a
	DN	73.330 a	4.547 a	0.564 b	2.623 a
	TE	37.670 b	1.539 b	0.437 ac	1.334 b
P5788	DA	83.000 a	6.070 a	0.552 a	3.018 a
	DN	70.000 b	4.604 b	0.435 b	2.511 b
	TE	35.000 c	1.467 c	0.444 b	1.268 c

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. *Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Como se puede observar en el Cuadro 4, la demanda nutrimental fue superior en el tratamiento DA en los dos híbridos evaluados y el fósforo fue el nutrimento en menor cantidad demandado por la planta.

Cuadro 8, Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha⁻¹ de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa de floración.

Hibrido	Trat.	Biomasa total	N	P	K
P5762	DA	348.66 a	19.137 a	1.338 a	10.019 a
	DN	267.66 b	13.593 b	1.162 a	8.644 a
	TE	42.66 c	1.062 c	0.323 b	1.289 b
P5788	DA	294.667 a	13.672 a	1.206 a	8.66 a
	DN	330.667 b	12.665 a	1.37 a	10.546 a
	TE	52.667 b	1.059 b	0.464 b	1.573 b

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. *Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

En la etapa de floración el nitrógeno fue el nutriente que en mayor cantidad demandó la planta para producir la mayor biomasa en el híbrido P5762, tal como se indica en el Cuadro 5; con esto se comprueba la importancia del nitrógeno en la floración de la higuera, y es importante observar cómo la concentración mayor de nitrógeno fue en las hojas, por lo tanto es un elemento esencial para la producción de biomasa debido a que está relacionado directamente con la fotosíntesis de la planta.

Cuadro 9, Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha⁻¹ de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa fructificación.

Hibrido	Trat.	Biomasa total	N	P	K
P5762	DA	980.333 a	53.646 a	5.644 a	129.962 a
	DN	1189.666 b	60.792 a	6.977 a	167.125 b
	TE	98.000 c	1.656 b	0.745 b	12.683 c
P5788	DA	1235.000 a	47.469 a	6.332 a	37.577 a
	DN	646.333 b	21.849 b	3.638 b	21.177 b
	TE	64.333 c	1.411 c	0.489 c	1.878 c

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. *Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

La demanda nutrimental en la etapa de fructificación fue superior en el tratamiento DN en el híbrido P5762 y en el tratamiento DA en el híbrido P5788. En esta etapa fenológica el cultivo presentó una demanda de potasio significativamente mayor ($p \leq 0.01$) con respecto a las etapas anteriores, y la mayor concentración estuvo presente en las hojas en valores superiores a la demanda de nitrógeno y fósforo en todos los componentes de la planta.

Cuadro 10, Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha^{-1} de los híbridos de higuera P5762 y P5788 en etapa de madurez.

Híbrido	Trat.	Biomasa total	N	P	K
P5762	DA	3010.333 a	102.532 a	10.101 a	89.833 a
	DN	1432.000 b	31.506 b	10.633 a	46.134 b
	TE	147.000 c	1.751 c	1.261 b	3.941 c
P5788	DA	2684.667 a	117.59 a	8.948 a	77.658 a
	DN	1939.667 b	71.218 b	8.209 a	62.499 b
	TE	111.000 c	5.831 c	0.496 b	3.272 c

Tratamientos: DA= dosis alta, DN= dosis normal, TE= testigo. *Las medias seguidas de letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Estadísticamente en los dos híbridos hubo diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos de fertilización mineral, a excepción del fósforo que no presentó diferencias entre el tratamiento DA y DN, pero sí diferencias altamente significativas con respecto al TE, en ambos híbridos evaluados. Esto indica que hubo efecto positivo en la aplicación de N-K y para el caso del P este elemento fue cubierto completamente con la aplicación del fertilizante y el suministro del suelo. Almeida *et al.* (2009) si encontraron respuesta positiva al P, de $8.0 \text{ g planta}^{-1}$ en el cultivar BRS-149 Nordeste, concluyendo que el

elemento tiene un efecto positivo en el cultivo, pero no es un elemento altamente demandado por la higuera.

Como se puede observar, la demanda nutrimental tiene relación directa con la producción de materia seca por la planta, lo que indica que a mayor producción de biomasa, la demanda de nutrientes por la planta aumenta considerablemente, y los rendimientos esperados pueden superar porcentajes altamente redituables en peso de grano.

Los híbridos establecidos en este trabajo, por ser de porte bajo, no llegaron a producir las mismas cantidades promedio de biomasa seca total reportadas por Silva *et al.* (2007) que superan los 6000 kg ha⁻¹; sin embargo es importante observar la producción de grano en los híbridos P5788 y P5762 debido a que presentaron valores similares a los reportados por Severino *et al.* (2006) de 2000 kg ha⁻¹, utilizando una dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹. Tomando como referencia los rendimientos alcanzados en investigaciones del Instituto Agronómico de Campinas, Brasil, que van de los 1500 a los 2000 kg ha⁻¹, la producción de los híbridos evaluados en este estudio fue mejor debido a la facilidad del manejo agronómico y a las condiciones climáticas de la época de establecimiento del cultivo y el suelo, las cuales podrían alcanzar rendimientos superiores a los 2500 kg ha⁻¹ en una sola cosecha mecanizada.

Finalmente, la demanda nutrimental de N en el cultivo de higuera fue mayor en el híbrido P5788, mientras la demanda de P y K fue menor con respecto al híbrido P5762, sin embargo, el mejor rendimiento de grano se encontró con la aplicación de 80-50-30 kg ha⁻¹ N-P-K en los dos híbridos, aun cuando en la etapa de amarre de frutos en el tratamiento DN se alcanzaron las concentraciones más altas de potasio. El tratamiento DA presentó valores estadísticamente superiores a los alcanzados en los tratamientos DN y TE, lo que confirma lo observado por

Severino *et al.* (2006) en el sentido de que la higuera es una planta exigente a la nutrición en todas las etapas de desarrollo del cultivo cuando se establece como cultivo comercial.

CONCLUSIONES

El contenido nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio presentó una relación directa con la producción de biomasa seca total de la planta, y el requerimiento interno indica que para producir mayor rendimiento de biomasa, la planta requiere cantidades mayores de N-P-K para alcanzar una producción igual o superior a la determinada en este estudio.

El índice de cosecha se mantuvo en el rango promedio de 0.55 a 0.65 en ambos híbridos, aunque el testigo presentó valores de IC muy variantes, lo que indica una anomalía en la distribución de fotosintatos en las plantas, lo cual se relaciona con el estrés por deficiencia nutrimental.

El conocer la demanda nutrimental de los híbridos de higuera ayuda a generar una dosis de fertilización para el cultivo, utilizando el fertilizante mineral en las cantidades requeridas para alcanzar una determinada producción de semillas.

Los resultados obtenidos en el contenido nutrimental, el índice de cosecha, el requerimiento interno y la demanda nutrimental son parámetros de utilidad para el establecimiento de una fertilización sustentable del cultivo de higuera mediante el modelo de balance nutrimental aplicado al cultivo.

LITERATURA CITADA

Allan J.E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian techtron, Walnut Creek, California. pp 24-32.

Bremner, J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. In: C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis. part 2. Agronomy 9: 1149 -1178.

- Canecchio, F. V. y E. Freire S. 1958. Adubação da mamoneira: I. Experiências preliminares. *Bragantia*, 17: 243-259.
- Canecchio, F. V. y E. Freire S. 1959. Adubação da mamoneira: II. Experiências preliminares. *Bragantia* 18(7): 77-99.
- Canecchio, F.V., V. Rocha J.L. y E. Freire S. 1963. Adubação da mamoneira: III. Experiências com doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia* 22: 765-776.
- De Almeida J., A.B., F. De Oliveira, J.F. De Medeiros, M.K. Teixeira O. y P.C. Ferreira L. 2009. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento inicial da mamoneira. *Revista caatinga* 22 (1): 217-221.
- Diniz N.M.A., F. Tavora F. J.A., A. Crisostomo L., T. Diniz B.L.M. 2009. Adubação NPK e épocas de plantio para mamoneira. II - Componentes das fases vegetativas e reprodutivas¹. *Revista ciencia agronómica, Brasil* 40: 417-426.
- Etchevers, B., J. Rodriguez S.J. y A. Galvis S. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistemático racional. *Terra* 9(1): 3-10.
- Ferreira, G. B.; A. C. M. Santos, R. M. Xavier; M. M. M. Ferreira, L. S. Severino, N. E. de M. Beltrão, J. P. Dantas, C. R. A. Moraes. 2004. Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. Energia e Sustentabilidade - Anais...Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROOM.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Segunda edición. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Gent P., M. y K. Kiyomoto R. 1989. Assimilation and distribution of photosynthate in winter wheat cultivars, differing in harvest index. *Crop science* 29:120-125.

- INEGI. 2005. Anuario Estadístico Gobierno del Estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Malavolta, E. 2008. Manual de Nutrição Mineral de Plantas. Agronômica Ceres, Sao Paulo, Brasil. 638 p.
- Moro E., C. Crusciol C.A., O. Priscila, B. Sipos T. 2012. Fontes e doses de nitrogênio para mamoneira de porte baixo no sistema plantio direto. Ciência rural, Santa Maria 42: 1744-1751.
- Nakagawa, J. y A. M. Neptune A. 1971. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésion a cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar “Campinas”. Anais da ESALQ 28: 323-337.
- Nakagawa, J. y A.M. Neptune A. 1971. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésion a cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar “Campinas”. Anais da ESALQ 28: 323-337.
- Nakagawa, J. y A.M. Neptune L. 1971. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésion a cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar “Campinas”. Anais da ESALQ 28: 323-337.
- Oyosa C., E.M., A. Guerrero P., L.A. Aceves N., E. Carrillo A. 2015. Biomasa total y rendimiento en dos híbridos de higuierilla (*Ricinus communis*) con fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio. Revista agrociencia. (Enviado el 31 de septiembre de 2015)
- Pacheco D., P., Golcalves N., S. Heloisa Mattana y A. Patrik D. 2008. Produção e disponibilidade de nutrientes para mamoneira (*Recinus Communis*) adubada com NPK. Revista de Biologia e Ciencias da Terra 8: 216-223.

Peuke A. D., W. Jeschke D. y W. Hartung. 2002. Flows of elements, ions and abscisic acid in *Ricinus communis* and site of nitrate reduction under potassium limitation. *Journal of experimental botany* 53: 241-250.

Rivera-Hernández, B., Guerrero-Peña, A., Gonzalez-Arias, G., Gutierrez-Buron, R. y Ruiz-Beltrán, P. 2014. *Revista biológico agropecuaria Tuxpan* 2: 342-346.

Rodríguez S., D. Pinochet y F. Matus. 2001. *Fertilización de los Cultivos*. Lom ediciones, Santiago de Chile. p. 117.

Sahrawat K. L., W. Suhas P., P. Gazula H.I. y K. Murthy V.S. 2010. Diagnosis of secondary and micronutrient deficiencies and their management in rainfed agroecosystems: case study from Indian semi-arid tropics. *Comm. Soil Sci. Plant Anal* 41: 346-360.

Salgado-García, S., Palma-López D. J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza L. del C., Castelán-Estrada M., Ortiz-García C.F., Juárez-López J.F., Rincón-Ramírez J.A. y Hernández-Natarén E. 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujiltic, Chiapas, México. *Terra latinoamericana* 26(4): 361-373.

Severino S., L., B. Ferreira G., A. Moraes C.R., S. Gondium T.M., A. Freire W.S., A. De Castro D., D. Cardoso G. y M. Beltrao N.E. 2006. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 563-568.

Silva. B., T.R., E. Leite V., B. Silva R. y V. Henrique L. 2007. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. *Pesquisa agropecuaria brasileira, Brasília, Brasil* 42(9): 1357-1359.

CAPITULO 3

7 CONCLUSIONES GENERALES

Con la investigación realizada se generó información útil con la cual se puede definir la dosis de fertilización para higuerilla. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran la respuesta positiva que la fertilización mineral de nitrógeno, fosforo y potasio tiene en la producción de biomasa seca y rendimiento de semillas, y por tanto la necesidad de fertilizar los suelos donde se establezca el cultivo; con objeto de mantener o mejorar la fertilidad del suelo. El conocimiento de la demanda en las diferentes etapas fenológicas es información necesaria para definir los momentos de aplicación de fertilizantes, con objeto de mejorar la eficiencia de su uso.