

Viabilidad técnica y económica del uso de biomasa vegetal para enmiendas de fertilidad y control de parásitos del suelo en cultivo de maíz (*Zea mays*)

Carlos Roberto Martínez Martínez

Ingeniero en Sistemas Informáticos

carlosm2@gmail.com

Docente Investigador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de El Salvador, El Salvador

Resumen

Con el propósito de impulsar una agricultura más ecológica, en el presente estudio, se analiza la viabilidad técnica y económica de sustituir el esquema tradicional de fertilización química de cultivo de maíz, con enmiendas de suelo realizadas por medio de la incorporación de materia orgánica proveniente de dos especies vegetales previamente seleccionadas: *Canavalia gladiata* y *Dolichos lablab*. En los experimentos realizados, la producción de biomasa de dichos cultivos tuvo el potencial para permitir por sí sola, el desarrollo sano de una plantación de maíz, lo que provocó una buena fructificación del cultivo y desfavoreció la reproducción de nemátodos en el suelo y gallina ciega (*Phyllophaga* sp.).

El estudio se vio influenciado por la sequía que impactó a El Salvador desde el 4 de julio hasta el 4 de agosto de 2014. Este fenómeno generó resultados de gran interés en la investigación, debido a que las plantas tratadas con materia orgánica no sólo parecieron estar bien nutridas, sino que además sufrieron menos estrés hídrico, ya que la materia orgánica aumenta la capacidad del suelo de retener humedad.¹ En síntesis, los resultados fueron positivos debido a los nutrientes que la biomasa aportó, además se demostraron otras provechosas funciones de valor agregado que los abonos químicos no son capaces de cumplir.

Palabras clave: Fertilización, abono orgánico, sequía, seguridad alimentaria, *canavalia*, *dolichos*,

Abstract

With the purpose of propel a more ecological agriculture, in this study, it is analyzed the technical and economic viability to substitute the traditional pattern of chemical fertilization when growing corn, with emending in the soil performed through the incorporation of organic matter coming from two vegetal species chosen previously: *canvalia gladiate* and *Dolichos lablab*. In the experiments carried out, the production of biomass in those crops had the potential to allow it by itself, the healthy development and worked against the reproduction of nematodes in the soil and grub infestation (*phyllophaga* sp).

The study was influenced by the drought the impacted El Salvador from July 4 to August 4 2014. This phenomenon generated results with great impact in this research due to the plants that were treated with organic matter because they looked to be well nourished and also suffered less hydric stress because the organic matter increased the capacity of the soil to hold humidity¹. As a conclusion, the results were positive because the nutrients that the biomass contributed, also it was demonstrated other beneficial functions of the added value that the chemical fertilizers are not cable to fulfill.

Key words: fertilization, organic fertilizer, drought, food security, *canavalia*, *dolicho*

1. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal. (2006)

1. Introducción

La presente investigación se plantea a partir del conocimiento obtenido luego de varios años de experiencia en reproducción de especies vegetales para ser utilizadas como enmiendas de fertilidad mediante su incorporación al suelo, lo cual mejora la disponibilidad de nutrientes mediante la incorporación, descomposición y posterior mineralización de la materia orgánica.

Las especies de leguminosas en base a las que se realizó el estudio son: frijol de abono “japonés” (*Dolichos lablab*) y frijol de espada (*Canavalia gladiata*). Éstas fueron seleccionadas y probadas en base a su capacidad de fijar nitrógeno del aire y utilizarlo en un proceso de auto fertilización (Urzúa, 2005), razón por la cual estos cultivos pueden ser incorporados al suelo mediante labranza mecánica con el fin de aumentar los niveles de nitrógeno disponible para otras especies vegetales, que sean comercialmente explotables, durante posteriores ciclos productivos (Barreto, 2008).

Se observó, durante la etapa de cultivo, que el dolichos y la canavalia son especies que tienen gran cantidad de características favorables. Son buenos fijadores de nitrógeno, fáciles de cultivar e incorporar al suelo. Poseen un efecto fungicida (Ye, 2002) limitando la propagación de hongos que causan enfermedades en las plantas (Agrios, 2005). Además, mejoran visiblemente la fertilidad y textura de los suelos porque su biomasa es abundante y de fácil procesamiento. También, soportan sequías, tienen buen desarrollo en verano, y a la vez toleran excesos de humedad en época lluviosa. Además, compiten adecuadamente contra la maleza, lo cual los hace candidatos ideales para ser reproducidos a bajo costo con el fin de ser utilizados como materias primas para la elaboración de fertilizantes orgánicos o para simples sujetos de siembra para rotación de cultivos e incorporación como abono verde. Por estas razones, el presente estudio se centró exclusivamente en analizar la viabilidad técnica y económica de utilizar estas dos últimas especies mencionadas

como recurso de apoyo en la agricultura tradicional: *Dolichos lablab* y *Canavalia gladiata*.

2. Metodología

2.1. Aspectos generales

La biomasa o materia vegetal de dolichos y canavalia se obtuvo únicamente partir de la recolección de la parte aérea de las plantas debido a motivos prácticos. Su origen fue de cultivos propios ya establecidos. Dicha biomasa, se secó al sol durante 8 días, luego se pulverizó en un molino de martillos. El resultado fue una harina vegetal que se usó como sustituto de fertilizantes químicos para la producción de maíz. Luego, se procedió a estimar los costos de producción de las harinas de dolichos y canavalia.

Para las pruebas, se estableció una parcela de 1,750 metros cuadrados de cultivo de maíz (un cuarto de manzana), en la cual se recolectaron datos de desarrollo vegetativo y fructificación. La harina fue aplicada al momento de la siembra ya que ésta se degradaría, paulatinamente, liberando sus componentes, posterior a su mineralización. Las cantidades de harina usada se basaron en el análisis químico de nutrientes que las muestras poseían (ver tabla 6), los requerimientos nutricionales del maíz (ver tabla 4) y el análisis de nutrientes que poseía el suelo donde se realizó el cultivo (ver tablas 2 y 3).

El maíz fue sembrado directamente al suelo. Su distanciamiento fue de 40 por 80 centímetros, similar a la siembra manual del agricultor tradicional. Se dispuso de cuatro tratamientos de experimentación: en el primero no se aplicó ningún tipo de fertilización para ser evaluado como testigo y en el segundo se aplicó fertilizantes químicos en las dosis recomendadas por un análisis químico de suelos. Las pruebas de interés para este estudio se hicieron el escenario tercero, tratado con harina de dolichos y el escenario cuarto, en el cual se aplicó harina de canavalia. Las cantidades de harina de biomasa usadas fueron calculadas mediante

la consideración de varios análisis de laboratorio que se realizaron durante la investigación: análisis de suelo (ver tablas 2 y 3), análisis químico de biomásas (ver tabla 6) y análisis de requerimientos de nutrientes del maíz (ver tabla 4). Esta información forma parte de los resultados de la investigación.

Se midieron semanalmente los crecimientos de las plantas de cada tratamiento y se practicó análisis foliar visual para verificar deficiencias nutricionales, dadas las sintomatologías bien conocidas en el maíz.² También, se realizaron pruebas visuales y de laboratorio para determinar la existencia de nemátodos, al momento de la fructificación, con el fin de comprobar o descartar su presencia, y si el nivel de infestación era capaz de producir un daño significativo al cultivo. Luego, se recolectó la cosecha y se efectuaron mediciones para el análisis estadístico del peso producido y la proyección de quintales de grano por manzana de cultivo.

Finalmente, según los resultados, se evaluó la viabilidad técnica y el impacto económico que puede causar esta práctica en cultivos a mediana escala, similar a como lo hacen las familias campesinas.

2.2. Cálculo de la muestra

En 1,750 metros cuadrados de terreno, se establecieron 5,468 matas a un distanciamiento de 40 por 80 cm (0.32 metros cuadrados por mata). Cada mata fue sembrada con dos semillas por postura, lo cual da lugar a una totalidad de 10,938 plantas de maíz.

Se usó la siguiente fórmula matemática para el cálculo del tamaño de la muestra³:

$$n = \frac{N \cdot Z_a^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N-1) \cdot Z_a^2 \cdot p \cdot (1-p)}$$

Donde:

- n = tamaño de la muestra.
- N = número de elementos de en la población, que es 20 mil.

2. Agrios. (2005)

3. Bernal. (2006)

- Z^2 = nivel de confianza, ponderado del 95%, correspondiendo a un valor estadístico de 1.96.
- p = variable de proporción de elementos de la población con una característica. Se adopta el valor estándar de 50%.
- e = error estadístico o precisión de $\pm 5\%$

Dicha fórmula sugiere una muestra de 372 plantas, a las cuales se les midió el crecimiento semanalmente, durante un periodo de 10 semanas. Debido a que la totalidad de la plantación estaba dividida en 4 partes sobre las cuales se efectuaron cada uno de los 4 tratamientos ya mencionados, el muestreo se dividió en 93 plantas para cada tratamiento.

3. Resultados

3.1. Desarrollo de la prueba en plantas de maíz

La investigación se realizó durante la época lluviosa, en cultivos de siembra directa a campo abierto, bajo condiciones similares con las que se trabaja en la agricultura tradicional, con el fin de generar datos útiles para la mayoría de personas que se dedican a este rubro. El suelo donde se realizó la siembra fue de tipo franco-arcilloso, ubicado a 755 metros sobre el nivel del mar, en el Cantón San Cristóbal, Municipio de El Porvenir, Departamento de Santa Ana, El Salvador.

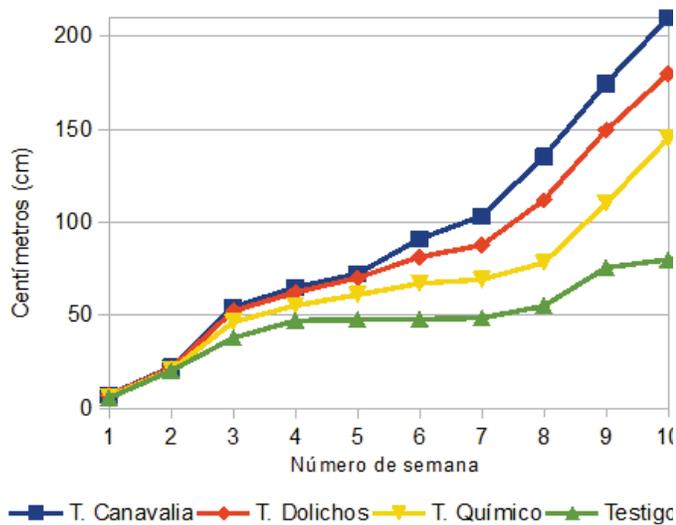
Las plantas de maíz fueron sembradas el 30 de mayo de 2014. Posteriormente, fueron impactados por una sequía que se registró a nivel nacional, la cual duró del 4 de julio al 6 de agosto. Durante los primeros días, la humedad retenida en el suelo mantuvo el crecimiento de las plantas, pero cuando ésta se redujo, ocurrió un severo estrés hídrico, reduciendo el crecimiento y la capacidad de fructificación del cultivo de maíz.

En la siguiente tabla se muestran los crecimientos promedio acumulados de las plantas, según cada uno de los cuatro tratamientos aplicados.

Tabla 1. Datos de crecimiento promedio de las plantas de maíz, según cada uno de los tratamientos de fertilización efectuados

Semana	Harina de Canavalia	Harina de Dolichos	Fertilizante Químico	Testigo sin fertilización
1	7.1	7.0	6.3	5.5
2	22.1	21.5	20.5	20.1
3	54.3	52.3	46.4	37.9
4	65.1	62.4	55.2	47.1
5	72.3	70.0	61.2	47.5
6	91.2	81.4	67.1	48.0
7	103.5	87.7	69.2	48.5
8	135.2	111.8	78.3	54.9
9	174.9	149.6	110.3	75.5
10	209.9	180.0	145.0	79.8

La sequía correspondió al período de la semana 4 a la 7. En la gráfica 1, se nota cómo las plantas tratadas con biomasa de dolichos y canavalia, muestran una tendencia de crecimiento mayor que los otros tratamientos, aún durante este difícil momento. Además, los síntomas foliares de estrés por falta de agua fueron menores para los tratamientos orgánicos: tonalidad clorótica menos pronunciada en las hojas y menor enrollamiento durante horas del mediodía. No así con las plantas que recibieron fertilización química, que sufrieron un mayor impacto. Las plantas que sirvieron de testigo, con tratamiento cero, estuvieron en desventaja notoria a partir de la segunda semana, hasta el fin de su periodo de vida natural.

**Figura 1.** Crecimiento del maíz para cada tratamiento del ensayo realizado.

3.2. Condiciones del experimento

En las tablas 2 y 3 se describen los parámetros de fertilidad del suelo usado para el experimento. Se trata de un terreno que había sido dedicado al cultivo de caña de azúcar durante varios años y el cual, según análisis previos de laboratorio, tiene incidencia media a fuerte de dos especies de nemátodos que parasitan fuertemente las raíces de los cultivos: *Pratylenchus sp.* y *Meloidogine sp.*

Tabla 2. Parámetros que describen el tipo de suelo usado para el experimento

Parámetros de suelo		
Textura	pH	MO
Tipo "C"	4.3	3.15
	Bajo	Bajo

Fuente: Análisis realizados en Laboratorio de Química Agrícola, FUSADES.

Tabla 3. Análisis de Nutrientes disponibles en el suelo

Análisis de suelo - Concentraciones en partes por millón											
P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Bo	Al	Na	CICE
12	83	2700	515	105	92	99	1.7	0.3	36	0	18
B	B	A	A	A	A	O	B	B	O	O	M

Dónde: B= Bajo, M= Medio, A= Alto, O= Óptimo

Fuente: Análisis realizados en Laboratorio de Química Agrícola, FUSADES.

Dicho suelo posee ciertas limitaciones de fertilidad y por ende los resultados de las pruebas de abonado fueron notorios, ya que el desarrollo de los cultivos dependió de la efectividad de su abonado. La variedad cultivada de maíz fue la "H-59", la cual tiene los siguientes requerimientos de macronutrientes:

Tabla 4. Requerimientos de macronutrientes de la variedad H-59

Nutriente	Fórmula	Requerimiento (Lb/Mz)
Nitrógeno	N	288.0
Fosfato	P ₂ O ₅	58.5
Potasa	K ₂ O	120.0

Fuente: Deras, H. (2013). *Guía técnica de Cultivo del Maíz*

La estrategia fertilización química que sugiere el CENTA-MAG⁴ (ver tabla 4) es hacer tres aplicaciones de abono químico. Una primera, con dos sacos (396 Lb) por manzana de fórmula 15-15-15, ocho días después de la germinación. La segunda son dos sacos (396 Lb) de sulfato de amonio por manzana, a los 30 días después de la siembra. Luego, una tercera fertilización es sugerida, si se presentan síntomas de deficiencia de nitrógeno. Según los análisis, fue necesario agregar 2 sacos (299 Lb) de urea por manzana. La sumatoria de todas las unidades de fertilización aplicadas, corresponde a 280.1 unidades de nitrógeno total, 59.5 unidades de fosfato y 59.4 unidades de potasa.⁵

La Tabla 5 muestra la cantidad de libras de nutrientes que cada abono químico puede aportar. A tales valores se restan las cantidades que son proporcionadas naturalmente por el suelo, dando lugar a una diferencia, que si es positiva indica que no se cumplen con los requerimientos totales del cultivo, lo cual reduce el volumen de cosecha final. Una diferencia negativa indica abundancia del nutriente. Para este tratamiento, sólo el fósforo indicó abundancia, pero fue poco significativa.

Tabla 5. Nutrientes aportados mediante fertilización química (Lb/Mz) en el experimento, según la recomendación técnica (Deras, H. 2013).

Nutriente	1 ^a fertilización	2 ^a fertilización	3 ^a fertilización	Total	Deficiencia
	15-15-15	Sulfato Amonio	Urea		
N	59.4	83.2	68.8	211.4	76.6
P ₂ O ₅	59.4	0	0	59.4	-0.9
K ₂ O	59.4	0	0	59.4	60.6

4. Deras, H. (2013).

5. Las unidades de fertilización utilizadas en este documento se expresan como nitrógeno total, fosfato y potasa, en representación de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio (respectivamente), por la razón de ser una convención estándar (Instituto Internacional de Nutrición Vegetal, 2006).

Las 211.4 libras de nitrógeno aportadas por manzana mediante las 3 fertilizaciones no son suficientes para cumplir el requerimiento del maíz que es de 288 Lb por manzana, sin embargo el tratamiento químico no fue alterado para no diferir del manejo tradicional que la mayoría de agricultores salvadoreños realizan. El faltante fue de 76.6 libras por manzana, equivalentes a un 26.6% del total requerido. En fósforo se obtiene una abundancia no significativa. Finalmente, en potasio existe un faltante de 60.6 libras, equivalentes a un 50.5% del total requerido. El no cumplir todos los requerimientos, mediante un esquema tradicional de fertilización química, causa que la planta no alcance su máximo nivel de productividad, que es la problemática que se superó mediante las fertilizaciones con harina de dolichos y canavalia.

3.4. Dosificación de los abonos de biomasa

Se cosechó la parte foliar de cultivos previamente establecidos de canavalia y dolichos, que posteriormente se secaron al sol y fueron pulverizados a través de un molino de martillos. Las respectivas harinas de biomasa que se obtuvieron fueron sometidas independientemente a análisis de laboratorio para determinar su contenido de nutrientes (ver tabla 6). Para cada muestra se analizaron los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio, además de un elemento secundario, el calcio, que interviene como agente estabilizador de pH en suelos ácidos. Esto es importante a considerar, ya que el suelo en el cual se hizo el experimento tiene un pH ácido de 4.3.⁶

Tabla 6. Porcentajes de nutrientes contenidos en la biomasa de canavalia, y dolichos comparado con el abono químico y tratamiento testigo

Nutriente	Harina de Canavalia	Harina de Dolichos	Abono Químico	Testigo
N	2.20%	1.65%	25.70%	0 %
P2O5	0.44%	0.34%	5.40%	0 %
K2O	0.73%	1.93%	5.40%	0 %
Ca	1.35%	0.99%	0.00%	0 %

Fuente: Análisis realizados en Laboratorio de Química Agrícola, CENTA.

En la Tabla 6 se expresa el porcentaje de nutrientes que aporta cada tratamiento realizado en el experimento, según una relación Peso/Peso. Es notorio que las concentraciones de nutrientes son menores en los tratamientos orgánicos que en los abonos químicos, por lo cual se agregó mayor cantidad de material de estos para cumplir los requerimientos. Luego, se determinó la cantidad total de libras de fertilizante que debía usarse por cada tratamiento (ver tabla 7).

Tabla 7. Cantidad de fertilizante aplicado en cada tratamiento del cultivo experimental de maíz

	Canavalia	Dolichos	Químico	Testigo
Lb/Mz	16,393 Lb	17,455 Lb	1,091 Lb	0 Lb
Quintales por Mz.	164 qq	175 qq	11 qq	0 qq
g/mata	341 g	431 g	23 g	0 g

Los fertilizantes químicos fueron aplicados en tres dosificaciones. Los abonos orgánicos, en cambio, fueron incorporados manualmente y en su totalidad, al momento de la siembra. Debido a que la descomposición de la materia orgánica es gradual, sus nutrientes se liberan poco a poco, lo cual mejora su disponibilidad.

La tabla 8 muestra las cantidades de fertilizante que se usaron para cada tratamiento, en el cultivo experimental de maíz.

6. Departamento de Ciencia de los Suelos. Universidad de Wisconsin-Madison. (2010).

Tabla 8. Cantidades de fertilizante aplicados al cultivo (Lbs/Mz)

Nutriente	Unidades de fertilización agregadas al suelo				
	Requerimiento	Canavalia	Dolichos	Químico	Testigo
N	288	360.66	288.00	280.1	0.00
P ₂ O ₅	58.5	71.33	59.96	59.4	0.00
K ₂ O	120	120.00	337.22	59.4	0.00
Ca	38	422.05	172.80	0.0	0.00

Nota: Datos basados en análisis de laboratorio de biomasa (tabla 6).

La potasa fue elegida como parámetro mínimo a cumplir en la dosis de harina de canavalia, debido a que es el nutriente relativamente más escaso en ella. En el caso del dolichos, lo fue el nitrógeno. Para que los abonos orgánicos pudieran suplir los requerimientos del macronutriente menos abundante fue necesario usar cantidades de biomasa que sobrepasaban las necesidades de otros nutrientes. Sin embargo, no se produjo algún síntoma aparente de fitotoxicidad.

3.5. Costos de producción de Biomasa

La biomasa de canavalia y dolichos utilizada para los experimentos, fue producida en cultivos propios para el presente estudio, cuya área fue de una manzana para cada uno.

Tabla 9. Costos de cultivo de canavalia y dolichos

Actividad	Costo en cultivo de canavalia	Costo en cultivo de dolichos
I) MANO DE OBRA		
I.1) ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIÓN (a)	\$ 30.00	\$ 30.00
Limpieza de terreno	\$ 15.00	\$ 25.00
Siembra (b)	\$ 20.00	\$ 20.00
Primer control de maleza (c)	\$ 5.00	\$ 5.00
	<u>\$ 20.00</u>	<u>\$ 20.00</u>
Aplicación de insecticida	\$ 90.00	\$ 80.00
Segundo control de maleza		
SUB TOTAL ESTABLECIMIENTO		
I.2) RECOLECCIÓN DE BIOMASA (d)	\$ 40.00	\$ 40.00
Corte de plantas	\$ 20.00	\$ 20.00
Juntado de biomasa	<u>\$ 40.00</u>	<u>\$ 40.00</u>
Operarios de molino	\$ 100.00	\$ 100.00
SUB TOTAL RECOLECCIÓN	\$ 190.00	\$ 180.00
SUB TOTAL MANO DE OBRA		

II) INSUMOS		
Semilla ^(e)	\$ 97.50	\$ 63.75
Insecticida ^(f)	<u>\$ 5.00</u>	<u>\$ 5.00</u>
SUBTOTAL INSUMOS	\$ 102.50	\$ 68.75
III) PROCESAMIENTO DE BIOMASA		
Pulverización de biomasa ^(g)	\$ 414.00	\$ 414.00
SUB TOTAL PROCESAMIENTO		
IV) COSTOS INDIRECTOS		
Alquiler de terreno	\$ 60.00	\$ 60.00
Transporte	\$ 50.00	\$ 50.00
Costo de administración ^(h)	\$ 56.00	\$ 56.00
Sacos para envase	<u>\$ 103.50</u>	<u>\$ 103.50</u>
SUB TOTAL COSTOS INDIRECTOS	\$ 269.50	\$ 269.50
V) COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN	\$ 976.00	\$ 932.25
VI) COSTO POR QUINTAL DE HARINA ⁽ⁱ⁾	\$ 2.36	\$ 3.00

NOTAS:

a) Los costos de mano de obra por manzana de canavalia y dolichos son similares, ya que el manejo agronómico que debe proporcionárseles es el mismo.

b) Se necesitan 5 jornales para sembrar manualmente el dolichos y 3 para la canavalia. Los distanciamientos utilizados fueron de 70x70 centímetros para la canavalia y 40x40 centímetros para el dolichos.⁷

c) Los controles de maleza fueron manuales sin usar agroquímicos.

7. Fuente: Asesoría CENTA.

d) Los costos de recolección de la biomasa de canavalia y dolichos fueron los mismos durante el presente ensayo debido a que los volúmenes de biomasa que se obtuvieron fueron muy similares para ambos cultivos. Para cosechar manualmente el área foliar de cada leguminosa, se utilizaron 8 jornales de 5 horas y media, valorados 5 dólares cada uno. Luego, 4 jornales de iguales características fueron requeridos para juntar la biomasa en parvas. Para operar el molino de martillos, envasar y guardar la harina, fueron necesarios 8 jornales más.

e) Se sembró 75 libras de semilla de dolichos por manzana y 150 libras para el cultivo de canavalia (dos semillas por postura). El precio de la semilla de dolichos es de \$ 0.85 por libra y el de la canavalia de \$0.65 por libra.⁸

f) Se usaron 250cc de Endosulfán por cada cultivo.

g) Si bien la canavalia es una leguminosa arbustiva que produce un follaje de mayor peso en comparación con el dolichos, los gastos de pulverización fueron iguales debido a que los servicios locales de molino se cobran por unidad de volumen (saco molido) sin importar el peso del material. Sin embargo, es necesario aclarar que los volúmenes de biomasa a obtener por manzana no siempre serán iguales debido a que eso depende de diversos factores, tales como el desarrollo foliar que cada leguminosa alcance y el momento en el cual se realice su respectiva recolección. Para el presente experimento, la biomasa se cosechó cuando las plantas se encontraban en etapa de floración plena.

h) Los jornales del administrador fueron 8, pagados a 7 dólares cada uno.

i) Los rendimientos por manzana de harina de biomasa, en términos de su peso, fue de 414 quintales para la canavalia y 310 quintales para dolichos.

8. Fuente: Precio final de venta al público, aplicado por CENTA. Es necesario aclarar que dicha institución no pone a la venta grandes cantidades de estas semillas, ya que su propósito principal es utilizarlas para establecer cultivos de cobertura que mejoren los suelos de sus propios campos experimentales. Si el agricultor consiguiera una cantidad limitada de dichas semillas, debería plantarlas para obtener una mayor cantidad de las mismas.

3.6. Costos de fertilización de cultivo de maíz con harina de biomasa

Se determinó cuán grande debe ser el área de cultivo de canavalia y dolichos para producir la cantidad suficiente de abono orgánico que permita asistir una manzana de maíz. De canavalia se necesita 0.4 manzanas para producir los 166 quintales de biomasa requeridos; el costo de tal cantidad de biomasa es de \$387.04. En cambio, se necesita cultivar 0.6 manzanas de dolichos para producir 175 quintales; el costo de ésta última biomasa es de \$525.00. Esta información se resume en la tabla 11.

Tabla 11. Análisis de áreas requeridas de cultivo de canavalia y dolichos, para producir la biomasa necesaria para fertilizar una manzana de maíz

CULTIVO	QQ/Mz obtenidos (biomasa)	QQ requeridos para maíz	Mz. requeridas de cultivo	Precio por QQ	Costo total
Canavalia	414	164	0.4	\$ 2.36	\$ 387.04
Dolichos	310	175	0.6	\$ 3.00	\$ 525.00

Como parte del análisis comparativo de costos se investigó el precio de los fertilizantes químicos durante los últimos 3 años, calculando su promedio con el fin de disponer de un valor económico representativo. Se incluyen los precios hasta el año 2014, periodo en el cual tuvo lugar el presente estudio.

Tabla 12. Costo promedio de fertilizantes químicos

COSTO FERTILIZANTES QUIMICOS				
FERTILIZANTE	2012	2013	2014	Promedio
Fórmula 15-15-15 (90Kg)	\$60.00	\$58.00	\$52.00	\$56.67
Sulfato de amonio (90Kg)	\$38.00	\$33.00	\$25.00	\$32.00
Urea (68 Kg)	\$32.00	\$48.00	\$44.00	\$41.33

Cada costo promedio de fertilizante, expresado en la tabla 12, representa el valor de adquisición de un saco del mismo (presentación comercial). Como es necesario comprar dos sacos de cada uno, la inversión total en abono químico por manzana de cultivo de maíz, es de \$260.00. Una vez conocidos los costos unitarios de cada tratamiento es posible establecer un análisis comparativo global. La tabla 13 indica que el tratamiento más caro es el de dolichos, seguido por el de canavalia y finalmente por el químico. Los tratamientos orgánicos son inicialmente más costosos, pero esto se justifica por sus beneficios (ver sección 3.6).

Tabla 13. Costos globales para fertilizar una manzana de maíz, con cada uno de los tratamientos experimentados

COMPARACIÓN DE COSTOS GLOBALES	
Tratamiento con Dolichos	\$ 525.00
Tratamiento con Canavalia	\$ 387.04
Tratamiento con fertilizante químico	\$ 260.00

La tabla 14 muestra el costo de las unidades de fertilización para cada uno de los tratamientos que fueron aplicados a la plantación de maíz, en base a la cual se desarrolló el experimento. Si bien, en el caso de la harina de canavalia, las unidades de fósforo y de potasa tienen precios bajos, al igual que el fósforo en la harina de dolichos, ambos tratamientos biológicos tienen un costo económico mayor que el químico debido a que hay que usar más material para satisfacer el requerimiento del nutriente más escaso, que es la potasa en la harina de canavalia y el nitrógeno en la harina de dolichos (ver tabla 8). Sin embargo, también, es importante mencionar que los fertilizantes orgánicos incorporan cantidades valiosas de carbono, lo cual favorece la relación Carbono/Nitrógeno del suelo. Este importante efecto de valor agregado no puede alcanzarse mediante la fertilización química. Además, la harina de canavalia posee un 1.35% de su peso en calcio, mientras que la de dolichos, un 0.99%. En el caso de los fertilizantes químicos, tal nutriente ni siquiera forma parte de su análisis garantizado.

Tabla 14. Costo de unidades de fertilización según cada tratamiento aplicado al cultivo experimental de maíz

	FUENTE DE FERTILIZANTE		
	Canavalia	Dolichos	Químico
Nitrógeno	\$ 1.54	\$ 1.26	\$ 1.23
Fosfato	\$ 0.31	\$ 0.26	\$ 1.26
Potasa	\$ 0.51	\$ 1.48	\$ 1.26

3.6. Rendimientos según los tratamientos

El tratamiento testigo, al cual no se le incorporó fertilizante alguno, no produjo ningún tipo de cosecha. La figura 1 muestra una comparativa de la producción de los otros tratamientos, mostrando ejemplares de mazorcas que representan la moda para su respectivo grupo. Las mejores mazorcas fueron producidas por las plantas abonadas con harina de canavalia.



Figura 2. Comparación de mazorcas según tratamientos. Tratamiento: (A) abono químico, (B) abono de harina de Dolichos, (C) abono de harina de Canavalia.

La tabla 15 muestra la longitud promedio de las mazorcas según cada tratamiento, así como el peso promedio de los granos que éstas produjeron. Tal información se representa además en las gráficas 2 y 3.

Tabla 15. Promedios de longitud de desarrollo de las mazorcas y peso del grano producido por ellas

TRATAMIENTO	Longitud mazorca	Peso de grano (gramos)
Canavalia	16.4 cm	135.5 g
Dolichos	14.5 cm	103 g
Químico	8.9 cm	36.5 g
Testigo	0 cm	0 g

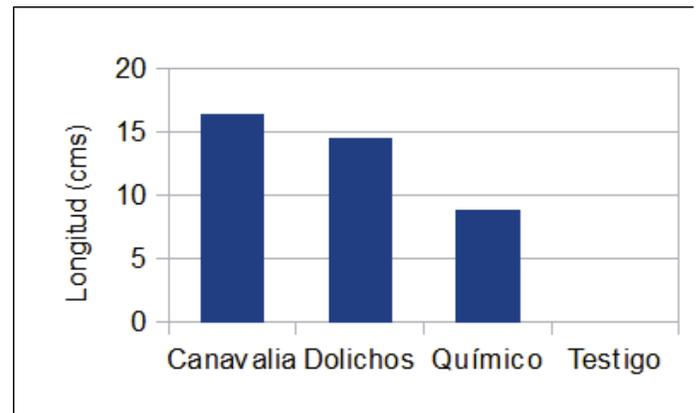


Figura 3. Longitud promedio de mazorcas expresadas en centímetros.

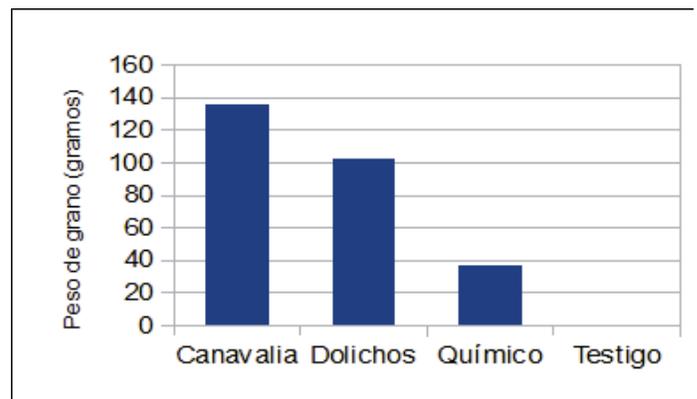


Figura 4. Peso promedio de grano por mazorca expresado en gramos.

Finalmente, se extrapolaron los volúmenes totales de cosecha por manzana, según los datos y condiciones del experimento. La tabla 16 muestra el peso de cosecha por manzana y su ingreso bruto, que se ha calculado multiplicando el volumen de producción por el precio promedio de venta (sugerido de mercado) de \$12 por quintal.⁹ Es necesario aclarar que el tratamiento químico y el testigo produjeron pérdidas económicas. Normalmente, la fertilización química procura ciertas ganancias al agricultor, pero los efectos de la sequía impactaron negativamente en el cultivo, de manera que la fructificación fue muy inferior a lo esperado. En cambio, los tratamientos con abonos orgánicos, especialmente el de biomasa de canavalia, fueron capaces de fructificar y ofrecer rendimientos económicos a pesar de dicha sequía.

Tabla 16. Totales de producción de maíz por manzana según tratamiento

TRATAMIENTO	Cosecha (qq)	Costo de producción	Ingreso bruto	Ingreso neto
Canavalia	130	\$ 873.42	\$ 1,565.03	\$ 691.61
Dolichos	99	\$ 1,001.65	\$ 1,189.65	\$ 188.00
Químico	35	\$ 729.51	\$ 421.58	(- \$ 307.93)
Testigo	0	\$ 168.4	\$ 0.00	(- \$ 168.40)

3.6. Análisis de plagas del suelo

Si bien es cierto, desde hace años se ha comprobado científicamente que la canavalia y el dolichos producen sustancias naturales que reducen las poblaciones de plagas en el suelo. La canavalia produce canatoxinas¹⁰ y el dolichos por su parte, dolichina¹¹ y glucósidos cianogénicos.¹² Sin embargo, el presente estudio realizó análisis de laboratorio (según muestras de suelo y plantas) con el fin de determinar que la forma

de aplicación de la harina de las biomásas y las cantidades usadas, durante el experimento, conservan tales efectos a una escala beneficiosa.

El cultivo de maíz fue realizado intencionalmente en una parcela que, un año previo al experimento, había sido diagnosticada¹³ con problemas severos de nemátodos *Pratylenchus* sp. y *Meloidogyne* sp. Posteriormente, en dicho terreno, no se realizó ningún tipo de control químico para tal problema. Un análisis realizado 2 semanas después de la germinación indicó la ausencia de nemátodos en cada uno de los 4 tratamientos realizados a las plantas de maíz. Luego, otro análisis efectuado hacia la décima semana, después de la germinación, dio positivo a ambos nemátodos sólo para las muestras tratadas con fertilizante químico y para la testigo. Se indicó que las cantidades encontradas de nemátodos fueron capaces de causar un daño moderado a los cultivos. Las plantas que fueron fertilizadas con harina de dolichos y de canavalia, no mostraron sintomatología alguna de problemas de nemátodos ni tuvieron resultados de laboratorio que sugirieran su presencia. Otro hallazgo importante es que hubo incidencia de la plaga conocida como “gallina ciega” (*Phyllophaga* sp.) en los tratamientos de fertilización química y testigo, con pérdidas aproximadas de un 15% de las matas sembradas en cada uno. La presencia de dicha plaga fue nula en los tratamientos con las harinas de biomasa.

9. Informe de Precios de Mercado. MAG (2014).

10. Barreto, H. y otros (2008).

Arim, O. y otros (2006).

Morris, J. y otros (2002).

Follmer, C. y otros (2001).

11. Ye, X. (2002).

12. Universidad de Ciencias Agrícolas de Bangalore, India. (2012)

13. Diagnóstico realizado por Laboratorio de Sanidad Vegetal. MAG.

4. Discusión

En el experimento, al igual que en la realidad de la producción de alimentos en nuestro país, es imposible cosechar sin utilizar algún tipo de enmienda al suelo o fertilizante. El tratamiento testigo, que no se le aplicó abonado alguno, tuvo un crecimiento deficiente y una cosecha nula.

El patrón de crecimiento de las plantas de maíz no fue semejante al que suele manifestarse en cultivos normales de secano, debido a la falta de agua ocasionada por la sequía de un mes que afectó a nivel nacional. Al momento del fenómeno, las plantas tratadas con materia orgánica de canavalia y dolichos tuvieron mayor resistencia al estrés hídrico que las tratadas con abonos químicos y las plantas testigo. Se comprobó que los tratamientos con biomasa no sólo pueden suplir los requerimientos nutricionales del maíz, sino que contribuyen a disminuir el impacto del cambio climático.

La materia orgánica de canavalia y dolichos posee calcio: un 1.35% y 0.99% de su peso, respectivamente. La mineralización de este elemento, estabiliza temporalmente la química de los suelos ácidos, permitiendo una mejor absorción de nutrientes por parte de las raíces.

Los tratamientos de fertilización química y testigo tuvieron daños de intensidad media por nemátodos. También, hubo pérdidas de hasta un 15% de las plantas por daño de *Phyllophaga* sp. Sin embargo, no fue así para los cultivos tratados con ambas biomasas, demostrando su efecto protector según las dosis usadas en el experimento y de acuerdo a la forma en que se aplicaron.

Los costos de producción por quintal de harina de canavalia y dolichos son relativamente bajos: \$2.36 y \$3.00, respectivamente. Se determinó que para fertilizar una manzana de maíz son necesarios 164 quintales de harina de canavalia, con un costo de \$387.04. En el caso del dolichos, se necesitan 175 quintales con un costo de \$525.00. Comparado con el costo de \$260 de

la fertilización química, los tratamientos biológicos estudiados aparentan ser más caros, pero tienen otros efectos benéficos como el combate a plagas del suelo y el incremento de la resistencia a sequías, lo cual redundará en beneficios económicos mayores, según se ha demostrado. Estrategias mixtas de fertilización orgánica y química, podrían lograr una optimización entre la disminución de costos y el incremento de tales efectos benéficos.

Dados los costos de cada tratamiento, se determinó que fertilizar con biomasa de canavalia es un 26.3% más barato que hacerlo con biomasa de dolichos. Sin embargo, el tratamiento de canavalia es un 32.8% más caro que el abonado químico. Por tal razón, en una temporada lluviosa ideal y con un suelo sano, las inversiones en los tratamientos orgánicos alternativos podrían no parecer de vital importancia. Sin embargo, las condiciones reales de campo distan muchas veces de ser perfectas. Actualmente, en El Salvador, los tratamientos orgánicos son los únicos capaces de dar solución conjunta y eficaz a las problemáticas de pérdidas económicas por efectos del cambio climático y por la creciente degradación de suelos, sin impactar negativamente el medio ambiente.

Según las condiciones del experimento, en las cuales existieron factores bióticos y abióticos muy desfavorables, se estimó que los ingresos brutos para plantaciones tratadas con harina de canavalia son aproximadamente un 24% más altos que para las que se hayan tratado con dolichos. Al mismo tiempo, sobrepasaron en un 73% a las tratadas únicamente con productos químicos. Por lo tanto, el tratamiento de canavalia fue más rentable.

El dolichos y la canavalia, por el hecho de ser buenos fijadores de nitrógeno atmosférico, pueden ser cultivados en tierras baldías y empobrecidas, de bajo potencial económico, con el fin de producir biomasa destinada a fertilizar cultivos de mayor valor. Su manejo agronómico es sencillo: un deshierbo antes de la siembra y dos posteriores a ésta, una o dos aplicaciones de insecticida foliar y ninguna fertilización.

Es probable que a un agricultor no le sea posible destinar un área de su terreno para cultivar exclusivamente canavalia o dolichos, o no tenga la capacidad de financiar un proyecto para procesar la biomasa. En ese caso, podría optar por cultivar tales leguminosas e incorporarlas al suelo como abonos verdes, después de haber recolectado la cosecha de otro cultivo de valor comercial. Dicha variación vendría a combatir malezas y parásitos del suelo. A la vez, fijaría nitrógeno, pondría a disposición ciertos minerales importantes y mejoraría la relación Carbono/Nitrógeno del suelo. Esta estrategia es sencilla y efectiva, si es ejecutada justo antes de que desaparezca la temporada lluviosa para asegurar la germinación de las semillas. Lo más probable es que no se alcancen volúmenes de biomasa que sustituyan los requerimientos de abono químico para el siguiente año, pero sin duda contribuirán a mejorar el nivel de producción.

Por ello se recomienda:

Evaluar el impacto económico de usar biomasa de canavalia y dolichos en cultivos de mayor valor, como las hortalizas producidas en ambientes controlados.

5. Referencias

Agrios, G. (2005). *Patología Vegetal*. Publicado por Elsevier Academic Press. ISBN: 978-0120445653.

Arim, O.J., Waceke, J.W., Waudu, S.W., Kimenju, J.W. (2006). Efectos de plantaciones mixtas de *Canavalia ensiformis* y *Mucuna pruriens* en el daño de *Pratylenchus zeae* en las cosechas de maíz dentro de una agricultura de subsistencia. Kluwer Academic Publishers.

Barreto, H. J., Pérez, C., Fuentes, M. R., Queme, J. L., Larios, L. (2008). Efecto de dosis de Urea-N en el rendimiento del maíz bajo un sistema de rotación con leguminosas de cobertura. Observatorio regional de maíz y frijol, Red SICTA. Recuperado de http://observatorioredsicta.info/observatorio/sites/default/files/estudios_regionales/pccmca/Maiz/Fertilizacion/v5_p188%20%28%20Barreto%29.pdf

Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigación*. México, Pearson Education. ISBN: 970-26-0645-4.

Buckes, D., Ponce, I., Sain, G., Medina G. (1992). *Tierra cobarde se vuelve valiente: Uso y difusión del frijol de abono en las laderas del Litoral Atlántico de Honduras*. México DF. ISBN: 968-6127-73-9

Considerando, además, los efectos benéficos de tales materias orgánicas en la prevención de plagas y enfermedades de invernadero, ya que éstas se manifiestan en forma distinta a como lo hacen en campo abierto.

Encontrar formas prácticas de aplicación de estas biomásas en cultivos de invernadero. Entre ellas podría mencionarse la aplicación en forma de maceración o la elaboración de extractos orgánicos, tal como se hace actualmente con las algas marinas a nivel comercial.

Estudiar a mayor profundidad el potencial erradicante de plagas de suelo, que poseen las sustancias naturales producidas por la canavalia y el dolichos.

Evaluar los rendimientos de cultivos importantes como la caña de azúcar, arroz y hortalizas, cuando se usa la canavalia y el dolichos como abonos verdes.

Departamento de Ciencia de Suelos, DSS. (2010). Manejo de suelos en Wisconsin. Quinta Edición. Publicado por la Universidad de Wisconsin-Madison. Recuperado de <http://www.soils.wisc.edu/extension/pubs/A3588.pdf>

Deras, H. (2013). Guía técnica Cultivo del maíz. Publicaciones CENTA-MAG, El Salvador. Recuperado de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GuiaTecnica%20Maiz%202014.pdf>

Follmer, C., Barcellos, G. (2001). Canatoxina, una proteína tóxica de canavalia, es una variante de la ureasa: Efectos biológicos de la ureasa independiente de su actividad ureolítica. Revista Científica de Bioquímica, Gran Bretaña. Recuperado de <http://www.biochemj.org/bj/360/0217/bj3600217.htm>

Instituto Internacional de Nutrición Vegetal, IPNI. (2006). Manual de Fertilidad de Suelos. Publicado por Instituto del Fosfato y Potasa de Canadá. ISBN 0-9629598-5-5.

MAG (2014). Informe de Precios de Mercado. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Recuperado de http://www.mag.gob.sv/index.php?option=com_phocadownload&view=section&id=5&Itemid=218

Morris, J. B., Walker, J. T. (2002). Leguminosas no tradicionales como potenciales enmiendas de suelo para el control de nemátodos. Revista Científica de Nematología, Instituto Nacional de Salud, Estados Unidos. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620579/pdf/358.pdf>

Universidad de Ciencias Agrícolas (2012). Frijol Dolichos, *Lablab purpureus* L. (Sweet), Bangalore, India. Recuperado de <http://www.lablablab.org>

Urzúa, H. (2005). Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile. Revista latinoamericana de ciencias de la agricultura. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1310586>

Ye, X.Y., Wang, H.X., Ng, T.B. (2002). Dolichina: un nuevo tipo de proteína chitinasa antifúngica aislada a partir de Dolichos Lablab. Revista de investigación en Bioquímica y Biofísica. Estados Unidos. Recuperado de http://www.researchgate.net/publication/12620150_Dolichin_a_new_chitinase-like_antifungal_protein_isolated_from_field_beans_%28Dolichos_lablab%29