



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE SUELOS

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA
EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

**INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AGROFORESTAL PARA LA
SEGURIDAD ALIMENTARIA Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DEL
INSUMO PARA BIODIESEL EN BASE DE *Jatropha curcas* Y
FRIJOL EN TEMPOAL DE SÁNCHEZ, VERACRUZ, MÉXICO**

**TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

MARÍA SANDRA PERALTA SOLABAC

**CHAPINGO ESTADO DE MÉXICO
2011**



La presente tesis titulada **INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AGROFORESTAL PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DEL INSUMO PARA BIODIESEL EN BASE DE *Jatropha curcas* Y FRIJOL EN TEMPOAL DE SÁNCHEZ, VERACRUZ, MÉXICO** realizada por la C. **María Sandra Peralta Solabac**, bajo la dirección del Comité Asesor, ha sido revisada y aprobada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

DIRECTOR



Dr. Lakshmi Reddiar Krishnamurthy

ASESOR



Dr. Teodoro Gómez Hernández

ASESOR



Dr. Julio Baca del Moral

Chapingo, Estado de México, a Julio de 2011

AGRADECIMIENTO

A *Dios*, por darme el regalo de la vida, y guiarme en cada uno de mis pasos.

A la *Universidad Autónoma Chapingo*, mi Alma Mater, por permitir mí desarrollo profesional y personal.

Al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)*, por el apoyo económico brindado, recurso sin el cual mi preparación no se hubiera realizado. Gracias.

Al *Departamento de Suelos*, por el apoyo brindado para con la maestría y sus maestrantes.

Al *Centro Internacional de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible*, por las facilidades brindadas para la realización de esta investigación y por estar siempre en la búsqueda constante de opciones de producción que permitan un desarrollo sostenible del campó mexicano. Gracias.

Al *Dr. Lakshmi Reddiar Krishnamurthy*, prestigiado investigador y excelente persona, un sincero agradecimiento, por su valiosa e importante participación en la dirección de la presente investigación.

Al *Dr. Julio Baca Del Moral*, por brindar sus valiosas y acertadas observaciones; por su dedicación, confianza, apoyo incondicional y por todas las facilidades para la culminación de este documento.

Al *Dr. Teodoro Gómez Hernández* por la dedicación y aportación de conocimientos al presente trabajo.

Al *Ing. Arturo Peralta Solares* por su gran colaboración en la fase de campo, en la redacción del presente documento y sus aportaciones a la investigación.

Al *Ing. Ulises Iván López Reyes* por sus valiosos comentarios, sugerencias y recomendaciones en el proceso de la presente investigación.

DEDICATORIA

A mis padres *José Amado Peralta Romero* y *María Gabriela Solabac Cuacua* por inculcarme los principios para ser una persona de bien, por ser los grandes pilares de mi vida, por brindarme su cariño, comprensión y apoyo a lo largo de estos años. Gracias. Los amo mucho.

A mi hijo *Daniel Rodríguez Peralta*, por ser ese motor que me impulsa a seguir con mi preparación para ofrecerle un futuro mejor. Te amo muchísimo.

A este pequeñito ser que día con día veo crecer y aferrarse a la vida, por permitirme sentir de nuevo toda esta alegría. Daniel y tú son la luz de mi vida. Te amo.

A *Ulises Iván López Reyes* por ser mi mejor amigo y por ser mi compañero de vida. Te amo.

A *Tirso, Diana* e *Irma*, por compartir juntos a lo largo de nuestras vidas este cariño de hermanos que es único. Los amo muchísimo.

A mis sobrinitos *Lenny, Roxana, Emanuel, Naelson*, y el primer bebe de Irma, por contagiarme el espíritu de ser niño cada vez que los veo. Los Quiero mucho.

DATOS BIOGRAFICOS

María Sandra Peralta Solabac nació en el municipio de Huatusco, Veracruz, México; el día seis de julio de 1986. Realizó sus estudios básicos en la escuela Primaria “Benito Juárez” de la localidad de Tepetzingo (1993-1998) y en la telesecundaria “Luis Donald Colosio Murrieta” de la localidad de Tlavictopan (1998-2001), ambas situadas en el municipio antes señalado.

Para continuar con sus estudios ingreso a la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Texcoco, Estado de México; donde curso la Preparatoria Agrícola (2001-2004) y posteriormente ingreso al Departamento de Agroecología (2004-2008), donde obtuvo el título de Ingeniero en Agroecología el 8 de diciembre de 2008 con la defensa de la tesis titulada “Sistematización de los módulos caprino (*Capra hircus*) y avícola (*Gallus gallus*) del Centro Agroecológico, Las Cañadas, Huatusco, Veracruz”.

En el año 2009 ingresa a la Maestría en Ciencias Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, situada en el Departamento de Suelos, de la Universidad Autónoma Chapingo, para continuar con sus estudios de posgrado.

RESUMEN

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AGROFORESTAL PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DEL INSUMO PARA BIODIESEL EN BASE DE *Jatropha Curcas* Y FRIJOL EN TEMPOAL DE SÁNCHEZ, VERACRUZ, MÉXICO

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 la presente investigación es un proyecto estratégico para el país. Esta investigación se realizó con el objetivo de establecer módulos de demostración e investigación, sobre tecnologías agroforestales para la obtención de biocombustibles y seguridad alimentaria, en base al cultivo del Piñón (*Jatropha curcas*). Lo primero que se realizó fue el establecimiento de los módulos (Frijol monocultivo, Piñón monocultivo y el sistema agroforestal, cultivo en callejones). Después se llevó a cabo la toma de datos, para el piñón se midió la altura y contenido de clorofila de las plantas; mientras que para el frijol se tomaron valores de peso seco y rendimiento. Una vez obtenida la información, se analizó, obteniéndose los siguientes resultados. En la variable

rendimiento y peso seco se obtuvieron mejores resultados en el frijol monocultivo, esto se atribuye a la competencia por luz que representó el piñón para el frijol en el sistema agroforestal. La variable altura se desarrolló mejor en el sistema agroforestal, esto debido a la interacción benéfica que se estableció con el frijol, el frijol facilitó la disposición de nitrógeno para el crecimiento del piñón. Mientras que en el contenido de clorofila, como indicador de la producción primaria no se mostró diferencia alguna entre los dos sistemas, aunque debido a que el piñón es una planta de larga duración no podemos hacer alguna inferencia certera. Se concluye, que los sistemas agroforestales a base de piñón y frijol son una opción que puede contribuir a la seguridad alimentaria y a la producción sostenible del insumo para biodiesel.

Palabras claves: sistemas agroforestales, seguridad alimentaria, producción sostenible.

ABSTRACT

AGROFORESTRY TECHNOLOGY INNOVATION FOR FOOD SECURITY AND SUSTAINABLE PRODUCTION OF BIODIESEL IN BASE INPUT *Jatropha curcas* AND BEAN IN TEMPOAL DE SÁNCHEZ, VERACRUZ, MÉXICO.

Within the 2007-2012 National Development Plan of this research is strategic project for the country. This research was conducted with the objective of establishing research and demonstration modules on agroforestry technologies for the production of biofuels and food security by cultivating Pinion (*Jatropha curcas*). The first thing done was the establishment of the modules (Bean monoculture Pinion monoculture Pinion and agroforestry, alley cropping). Then conducted the data collection for the pinion, height and chlorophyll content of plants, while for beans we took measurements of dry weight and yield. Once the information was analyzed, the following results. In variable yield and dry weight was obtained better results in the bean

monoculture, this is attributed to competition for light gear accounted for beans in the agroforestry system. The variable height is better development in the agroforestry system, this due to the beneficial interaction was established with beans, beans provided the nitrogen available for growth of the pinion. While in the chlorophyll content as an indicator of primary production showed no difference between the two systems, but because the pinion is a long-term plan cannot make any accurate inference. It is concluded that agroforestry systems based on gear and beans are an option that can contribute to food security and sustainable production of inputs for biodiesel.

Keywords: agroforestry, food security, sustainable production

Contenido

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
DATOS BIOGRAFICOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II. OBJETIVOS E HIPOTESIS	6
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos específicos	6
2.3 Hipótesis.....	7
CAPITULO III. MARCO REFERENCIAL.....	8
3.1 Localización de Tempoal de Sánchez, Veracruz.	8
3.2 Geología	9
3.3 Clima.....	9
3.4 Hidrología	11
3.5 Uso de la tierra y vegetación.....	11
3.6 Suelo.....	13
CAPITULO IV. MARCO TEÓRICO	15
4.1 Seguridad alimentaria.....	15
4.2 Biocombustibles.....	18
4.3 Sistemas agroforestal cultivo en callejones.....	21
4.4 Piñón (<i>Jatropha curcas</i> L.)	22
4.4.1 Distribución.....	24
4.4.2 Características botánicas y agronómicas.....	24
4.4.3 Usos de la <i>Jatropha Curcas</i> L.	31
4.4.4 Potencial productivo en México.....	32
4.5 Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	34
4.5.1 Origen.....	34
4.5.2 Clasificación.....	35
4.5.3 Morfología	36
4.5.4 Requerimientos ambientales	41
CAPITULO V MATERIALES Y MÉTODOS	44

5.1 Localizacion del área experimental.....	44
5.2 Diseño experimental y muestreo.....	45
5.3 Establecimiento del sistema <i>Jatropha curcas</i> monocultivo.....	47
5.4 Establecimiento del sistema frijol monocultivo.....	50
5.5 Establecimiento del sistema Agroforestal Cultivo en Callejones.....	52
CAPITULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
6.1 Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	57
6.1.1 Peso seco del tallo, vaina y raíz.....	57
6.1.2 Número de vainas.....	61
6.1.3 Rendimiento.....	64
6.2 Piñón (<i>Jatropha Curcas</i> L.).....	66
6.2.1 Crecimiento del piñón.....	66
6.2.2 Contenido de clorofila.....	68
CAPITULO VII. CONCLUSIONES.....	71
CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES.....	73
CAPITULO IX. LITERATURA CITADA.....	76
CAPITULO X. ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Producción de especies animales en Tempoal de Sánchez, Veracruz.</i>	12
<i>Cuadro 2. Cultivos según superficie sembrada, cosechada y producción obtenida en Tempoal de Sánchez, Veracruz.</i>	12
<i>Cuadro 3. Análisis de varianza del peso seco del tallo de frijol</i>	57
<i>Cuadro 4. Prueba de Tukey para el peso seco del tallo de frijol</i>	58
<i>Cuadro 5. Análisis de varianza del peso seco de la vaina de frijol</i>	58
<i>Cuadro 6. Prueba de Tukey para el peso seco de la vaina de frijol</i>	58
<i>Cuadro 7. Análisis de varianza del peso seco de la raíz de frijol</i>	59
<i>Cuadro 8. Prueba de Tukey para el peso seco de la raíz de frijol</i>	59
<i>Cuadro 9. Peso seco del tallo, vaina y raíz del frijol cultivado en monocultivo y bajo sistema agroforestal</i>	60
<i>Cuadro 10. Análisis de varianza del número de vainas de frijol</i>	61
<i>Cuadro 11. Prueba de Tukey para el número de vainas de frijol</i>	62
<i>Cuadro 12. Análisis de varianza del rendimiento de frijol</i>	64
<i>Cuadro 13. Prueba de Tukey para el rendimiento del frijol</i>	64
<i>Cuadro 14. Crecimiento del piñón en monocultivo y bajo sistema agroforestal</i>	66
<i>Cuadro 15. Análisis de varianza del crecimiento del piñón.</i>	67
<i>Cuadro 16. Prueba de Tukey del crecimiento de piñón</i>	68
<i>Cuadro 17. Análisis de varianza del contenido de clorofila del piñón</i>	69
<i>Cuadro 18. Prueba de Tukey para el contenido de clorofila del piñón</i>	70

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación de Tempoal de Sánchez, Veracruz</i>	8
<i>Figura 2. Comportamiento de la temperatura a lo largo del año en Tempoal.</i>	10
<i>Figura 3. Distribución anual de la precipitación en Tempoal</i>	10
<i>Figura 4. Uso del suelo y Vegetación de Tempoal de Sánchez, Veracruz</i>	11
<i>Figura 5. Tipos de suelos presentes y su distribución en Tempoal de Sánchez, Veracruz.</i>	14
<i>Figura 6. Desarrollo vegetativo del piñón</i>	25
<i>Figura 7. Hoja del piñón</i>	26
<i>Figura 8. Flores masculinas y femeninas del piñón</i>	27
<i>Figura 9. Sección transversal de un fruto de piñón (Jatropha curcas)</i>	28
<i>Figura 10. Semillas del piñón</i>	29
<i>Figura 11. Potencial productivo de Jatropha en México</i>	33
<i>Figura 12. Localización de la parcela experimental</i>	44
<i>Figura 13. Diseño experimental bloques al azar y área de muestreo</i>	45
<i>Figura 14. Representación esquemática del cultivo de piñón (Jatropha curcas), en monocultivo</i>	47
<i>Figura 15. Cultivo de piñón (Jatropha curcas) en monocultivo</i>	49
<i>Figura 16. Representación esquemática del cultivo de frijol en monocultivo</i>	51
<i>Figura 17. Representación esquemática del sistema agroforestal, cultivo en callejones en base al cultivo de piñón (Jatropha curcas), con frijol.</i>	52
<i>Figura 18. Sistema agroforestal, cultivo en callejones en base al cultivo de piñón (Jatropha curcas) y frijol</i>	54
<i>Figura 19. Control de malezas en el cultivo de frijol y sobre la línea de plantas de piñón, actividad realizada de forma manual</i>	55
<i>Figura 20. Comparación del peso seco de la raíz de frijol cultivado en monocultivo y bajo sistema agroforestal</i>	60
<i>Figura 21. Producción de vainas de frijol bajo dos sistemas de producción</i>	62
<i>Figura 22. Peso del grano del frijol</i>	65
<i>Figura 23. Comparación del crecimiento de piñón cultivado en monocultivo y bajo sistema agroforestal</i>	67
<i>Figura 24. Comparación del contenido de clorofila de piñón cultivado en monocultivo y bajo sistema agroforestal</i>	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Observaciones obtenidas del peso seco del tallo, vaina y raíz del frijol.....	84
Anexo 2. Toma de datos para la variable número de vainas de frijol.....	85
Anexo 3. Peso de grano de frijol en dos sistemas de producción.....	86
Anexo 4. Contenido de clorofila del piñón.....	87

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas mundiales más importantes de orden económico, social, ambiental y aun de sobrevivencia de la propia humanidad, es el cambio climático. Este cambio se asocia con las actividades humanas en este planeta desde la llamada Revolución Industrial, donde los procesos industriales se realizan básicamente quemando combustibles fósiles (petróleo, gas y sus derivados, como la gasolina). En consecuencia estos gases producidos por estas actividades se liberan a la atmósfera y cambian su composición (IPCC, 2007; Conde 2007).

Al ser los combustibles fósiles el corazón de la economía mundial se denota que los países de desarrollo son los que más contaminan tales como China aporta el 24% de las emisiones mundiales de CO₂, seguida por los Estados Unidos (21%), quince países miembros de la UE (12%), la India (8%) y Rusia (6%). Estos países emiten el 71% de las emisiones mundiales de CO₂. Mientras que las emisiones de GEI por persona expresadas en toneladas métricas (Mt) nos indican que Estados Unidos (19.4) es el más contaminante, seguido por Rusia (11.8), UE (8.6), China (5.1) y la India (1.8). México se ubica en la posición 11 (PBL, 2009).

Alrededor de 31% del CO₂, proviene de actividades antropogénicas que hacen uso intensivo de combustibles fósiles, sobre todo de la agricultura convencional, la deforestación, los cambios en el uso del suelo y la quema de biomasa. Asimismo, los rumientes domésticos, los incendios forestales y los productos de desecho producen la mayor parte del CH₄ que hay en la atmósfera, a la vez que la labranza convencional y la utilización de fertilizantes generan el 70% de los N₂O (FAO, 2009; Pielke 2005).

Ante esta situación, el Gobierno de México en su Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012) establece que la sustentabilidad ambiental exige que México se sume con toda eficacia y con toda responsabilidad a los esfuerzos internacionales por evitar que el planeta llegue a sufrir dislocaciones ambientales sin remedio, como el calentamiento global. A su vez reconoce que la depredación del medio ambiente ha sido extremadamente grave en términos de su profundidad y consecuencias sobre las condiciones de vida y las posibilidades de verdadero desarrollo del país. Con el propósito de detener el deterioro del medio ambiente, se planteó integrar la conservación del capital natural del país con el desarrollo social y económico teniendo como estrategia principal la instrumentación de tecnologías más limpias y amigables con el medio ambiente entre los sectores productivos del país. Y de esta manera asegurar la sustentabilidad ambiental mediante la participación responsable de los mexicanos en el cuidado, la protección, la preservación y el aprovechamiento racional de la riqueza natural del país, logrando así afianzar el desarrollo económico y social sin comprometer el patrimonio natural y la calidad de vida de las generaciones futuras.

Como consecuencia de este Plan Nacional de Desarrollo, México se ha integrado al campo bioenergético en el mes de febrero de 2008, con el decreto de la ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos (DOF 01-02-2008), con la finalidad de impulsar la diversificación energética mediante fuentes renovables de energía más eficientes y limpias como son los biocombustibles; y el impulso de la agroindustria para la producción de biodiesel. También establece fomentar la agroindustria, la inversión y la infraestructura, mediante la promoción, coberturas y estímulos a la modernización e investigación. El desarrollo de tecnología y los estudios de eficiencia energética, competitividad y sustentabilidad económica y ambiental permitirán determinar el qué, cómo, dónde y cuándo cultivar para impulsar de manera segura y rentable la producción de biocombustibles y atender las disposiciones emanadas de la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos.

Con base en lo anteriormente anotado, se ubica el ingente reto de la satisfacción de las necesidades de energía mediante fuentes alternativas a las fósiles para dar viabilidad al país, al tiempo de posibilitar el desarrollo de las unidades de producción agrícolas con base en el aprovechamiento y manejo sustentable de los recursos de la geografía nacional, así como proporcionar seguridad a la población rural en la satisfacción de sus necesidades energéticas para las actividades domésticas, de transporte y de producción; todo lo anterior tomando en cuenta la variable ambiental.

Bajo lo anteriormente expuesto la investigación referente a biocombustibles y seguridad alimentaria se convierte en un proyecto estratégico para nuestro país, desde el punto de vista de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable que en su Artículo 178 señala que el Estado establecerá las medidas para procurar el abasto de alimentos y productos básicos y estratégicos a la población, promoviendo su acceso a los grupos sociales menos favorecidos y dando prioridad a la producción nacional. Y en su artículo 179, considera como producto básico y estratégico al frijol; especie de estudio en este trabajo.

Esta investigación se realizó en la parcela experimental (9600 m²), ubicada en las coordenadas 21°31'20" latitud Norte y 98°22'49" longitud Oeste, localizada en Tempoal de Sánchez del Estado de Veracruz, a una altura de 50 MSNM (Centro Estatal de Estudios Municipales, 1988 e INEGI, 2010). Con el objetivo de contribuir a la seguridad alimentaria y producción sostenible del insumo para biodiesel en base de *Jatropha curcas* con enfoque agroforestal.

Es necesario tomar en cuenta que entre las fuentes alternas de energía se encuentran el biodiesel y el etanol. Sin embargo estas fuentes reciben múltiples críticas al saber que su producción es a partir de las especies empleadas para la alimentación humana, tales como el maíz y la soya, cultivadas de forma convencional (monocultivos), por lo que no se considera viable, debido a que genera desabasto de alimentos y el alza de los precios. Por lo anterior se consideró en el experimento el cultivo del Piñón (*Jatropha curcas*), por sus ventajas agronómicas y tecnológicas y por ser una especie que no compite con la alimentación humana y al ser perenne su capacidad para transformar CO₂ en

biomasa será mayor con ello es una alternativa para mitigar las emisiones de gases contaminantes. Para completar la tecnología agroforestal se uso el cultivo de frijol como especie anual, esto tiene la finalidad de responder a la seguridad alimentaria, pues se trata de un alimento básico para los mexicanos.

Lo primero que se realizó fue el establecimiento de los módulos (Frijol monocultivo, Piñón monocultivo y el sistema agroforestal en la variante en cultivo en callejones).

Debido a que el piñón es una planta perenne a este solo se tomaron datos de indicadores de crecimiento, y contenido de clorofila, mientras que para el frijol se tomaron valores de peso seco y rendimiento.

Se concluye, que los sistemas agroforestales a base de piñón y frijol son una opción que puede contribuir a la seguridad alimentaria y a la producción sostenible del insumo para biodiesel.

CAPITULO II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1 Objetivo general

- ✓ Contribuir a la seguridad alimentaria y producción sostenible del insumo para biodiesel en base de *Jatropha curcas* con enfoque agroforestal.

2.2 Objetivos específicos

- ❖ Establecer monocultivo de *Jatropha curcas* y monocultivo de frijol.
- ❖ Diseñar y establecer una tecnología agroforestal en base de *Jatropha curcas* y frijol.
- ❖ Evaluar el rendimiento, producción de materia seca y número de vainas del cultivo de frijol en monocultivo y bajo el sistema agroforestal a base de piñón.
- ❖ Determinar el crecimiento y productividad de *Jatropha curcas* en monocultivo y con asociación de frijol, a través de la medición de altura y contenido de clorofila por SPAD.

2.3 Hipótesis

1. El rendimiento de frijol es mayor en la modalidad de monocultivo en comparación con el rendimiento de frijol obtenido bajo el sistema agroforestal a base de piñón.
2. El crecimiento del piñón será mayor en el sistema agroforestal debido a las relaciones benéficas que este favorece.
3. Los sistemas agroforestales a base de piñón pueden contribuir a la seguridad alimentaria.

CAPITULO III. MARCO REFERENCIAL

3.1 Localización de Tempoal de Sánchez, Veracruz.

Tempoal de Sánchez (Ver Figura 1) se encuentra ubicado en la zona norte del Estado de Veracruz, en las coordenadas 21° 31' latitud norte y 98° 23' longitud oeste a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con 622 localidades y una población total de 34 956 habitantes de los cuales 17 645 son mujeres y 17 311 son hombres (Centro Estatal de Estudios Municipales, 1988 e INEGI, 2010).

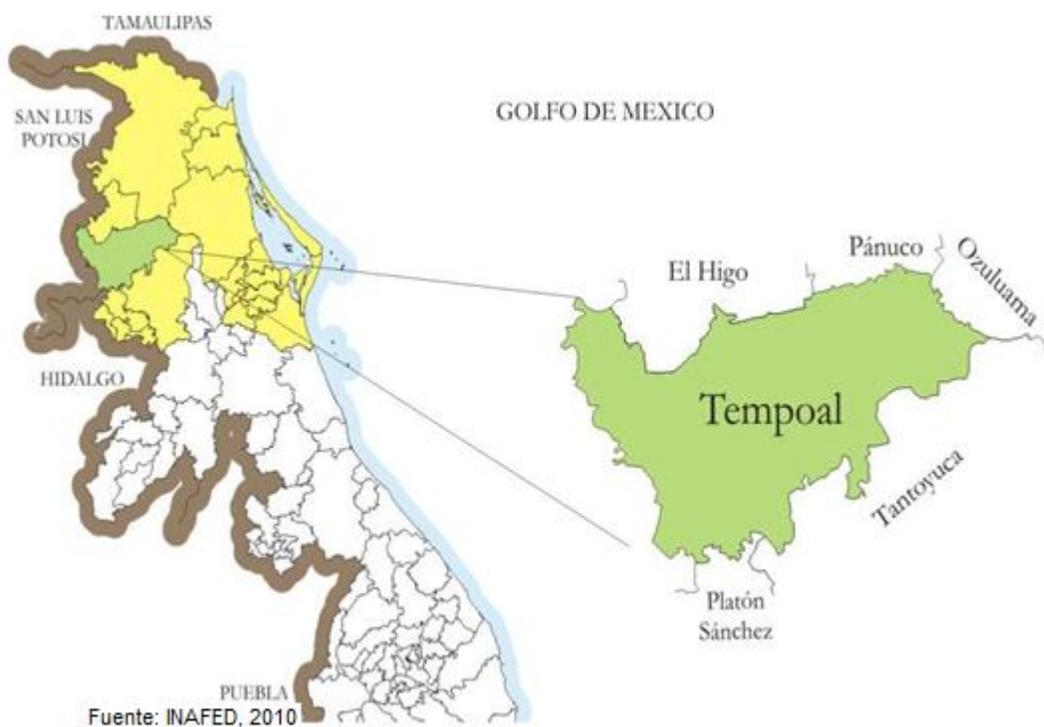


Figura 1. Ubicación de Tempoal de Sánchez, Veracruz

Tiene una superficie de 1487.15 Km², cifra que representa un 2.04% del total del Estado. Limita al norte con El Higo y Pánuco, al este con Ozuluama y Tantoyuca, al sur con Platón Sánchez y el Estado de Hidalgo, al oeste con el Estado de San Luis Potosí. Su distancia aproximada al noroeste de la capital del Estado, por carretera es de 470 Km (Centro Estatal de Estudios Municipales, 1988 e INEGI, 2010).

3.2 Geología

La geología de Tempoal presenta en su entorno próximo predominantemente rocoso, correspondiente al periodo terciario de la era Cenozoica (Oligoceno) manifestado por rocas sedimentarias, tales como lutitas y areniscas (INEGI, 2009).

3.3 Clima

El municipio de Tempoal presenta un clima calido subhúmedo con lluvias en verano ($Aw''_1(w)(e)g$). Lo anterior ubica a Tempoal en un régimen térmico caluroso donde la mínima promedio se ubica en los 15° en el periodo noviembre – abril y la máxima promedio en 30° en el periodo mayo a octubre (García, 1981). La Figura 2 indica el comportamiento de la temperatura en esta localidad.

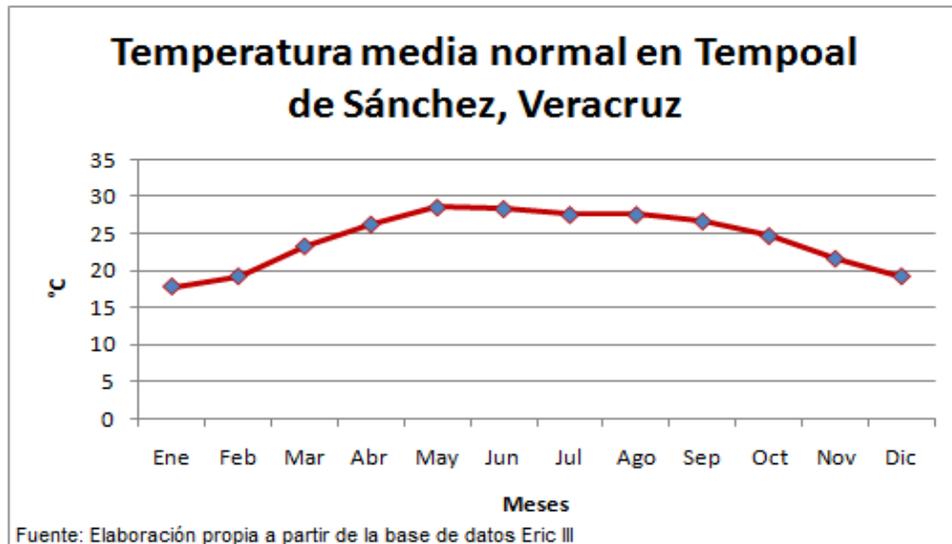


Figura 2. Comportamiento de la temperatura a lo largo del año en Tempoal.

La precipitación promedio anual es de 900 mm para el periodo mayo – octubre y 200 mm para el periodo noviembre- abril. Las precipitaciones torrenciales, son comunes en el periodo de lluvias de verano. La Figura 3 ilustra el comportamiento de la precipitación a lo largo del año.

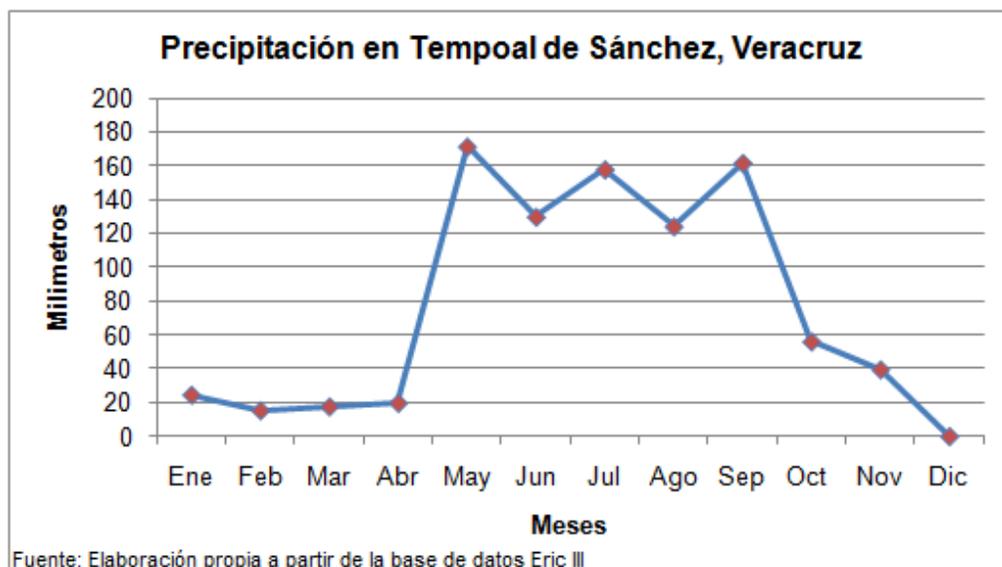


Figura 3. Distribución anual de la precipitación en Tempoal

3.4 Hidrología

Tempoal pertenece a la Región hidrológica de Pánuco, dentro de las Cuencas del R. Moctezuma (71%) y R. Pánuco (29%); Subcuenca R. Tempoal (52%), R. Chicayan (29%), R. Moctezuma (14%) y R. San Pedro (5%). Dentro del municipio encontramos corrientes de agua perennes como: Mata de Chile, Moctezuma, Cofradia, Tempoal, Hondo, Seco y San Pedro; e Intermitentes como: Canchey, Matamoros, El Lagarto, San Francisco, La Sombra, De Cañas, La Calabaza, Coyolito, Tamoxin, Mesillas y El Sardo (INEGI, 2009).

3.5 Uso de la tierra y vegetación

Debido a su ubicación Tempoal presenta buenas condiciones para el desarrollo de las actividades agropecuarias (Ver Figura 4), teniendo mayor presencia en el municipio la ganadería, particularmente el ganado vacuno (Ver Cuadro 1).

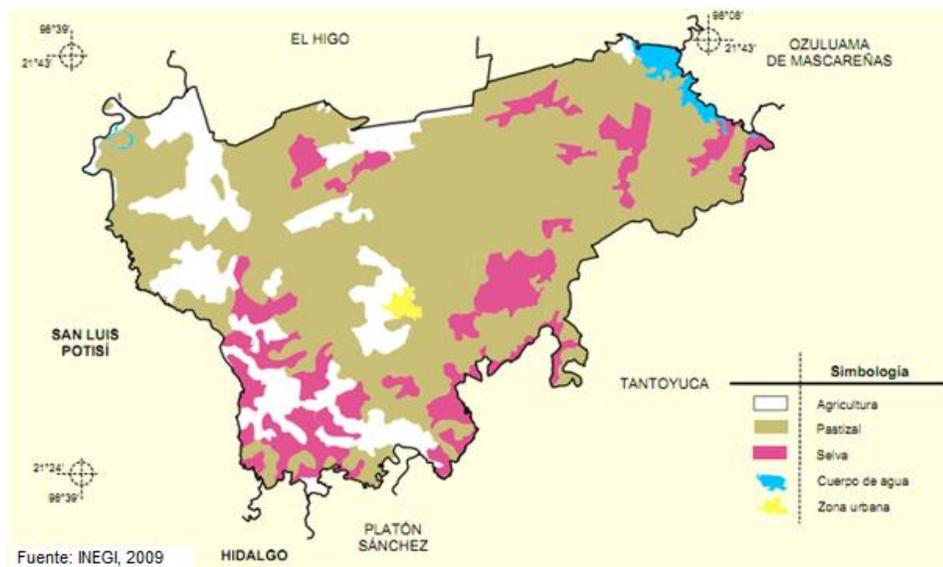


Figura 4. Uso del suelo y Vegetación de Tempoal de Sánchez, Veracruz

Cuadro 1. Producción de especies animales en Tempoal de Sánchez, Veracruz.

Ganado	Existencias Totales (cabezas)
Bovinos	47784
Porcino	5190
Ovino	4105
Caprinos	1037
Aves	25971

FUENTE: INEGI. *Estados Unidos Mexicanos. Censo Agropecuario 2007.*

En segundo lugar como actividad productiva se encuentra la agricultura, en el Cuadro 2 se puede apreciar que en este municipio destaca la producción de maíz.

Cuadro 2. Cultivos según superficie sembrada, cosechada y producción obtenida en Tempoal de Sánchez, Veracruz.

Cultivo	Unidades de producción	Superficie (Hectáreas)		Producción obtenida (Toneladas)
		Sembrada	Cosechada	
Maíz blanco	2185	4842.06	3574.18	5817.48
Maíz amarillo	193	609.68	455.75	792.69
Caña de azúcar	61	581.82	576.02	35864.77
Frijol	344	265.93	226.14	83.11
Naranja	33	105.22	91.87	930.97
Sorgo grano	ND	13.67	13.67	40.00
Avena forrajera	ND	2.99	2	6.25
Otros cultivos	ND	2.23	1	0.40

FUENTE: INEGI. *Estados Unidos Mexicanos. Censo Agropecuario 2007.*

De acuerdo con Rzedowski, 2006; en Tempoal encontramos vegetación del tipo Bosque Tropical Perennifolio. El mismo autor define al Bosque Tropical Perennifolio como el tipo de vegetación más exuberante, pues corresponde al clima en el cual ni la falta de agua ni la de calor constituyen factores limitantes

del desarrollo de las plantas a lo largo de todo el año. El bosque tropical perennifolio se desarrolla comúnmente en México en altitudes entre 0 y 1000 m, es una comunidad biológica compleja, en la cual predominan arboles siempre verdes de más de 25 m de alto. Entre las especies de valor económico que este ecosistema proporciona se encuentra el cedro rojo (*Cedrela odorata*) y la ceiba (*Ceiba pentandra*).

3.6 Suelo

En el municipio de Tempoal de Sánchez se encuentran tres asociaciones de suelos (Hernández, 2011):

- a) La primera asociación está compuesta por Feozem Calcárico y rendzina de textura fina (Hc + E/3). El suelo predominante en esta asociación es el Feozem Calcárico que tiene rendimientos agrícolas bajos y tiende a la erosión lo cual lo hace viable para ser utilizado en ganadería con rendimientos aceptables.
- b) La segunda asociación es suelo denominado Vertisol pélico de textura fina (Vp/3); es un suelo problemático, principalmente arcilloso que absorbe y retiene el agua, expandiéndose y originando movimientos internos, tiene un drenado deficiente.
- c) La tercera asociación es Rendzina más Regosol Calcárico más Vertisol pélico de textura fina (E+Rc+Vp/3) son suelos con contenido de arcilla cuyo uso está condicionado en función al clima y al relieve.

En la Figura 5 se puede observar la distribución de los suelos en el municipio:

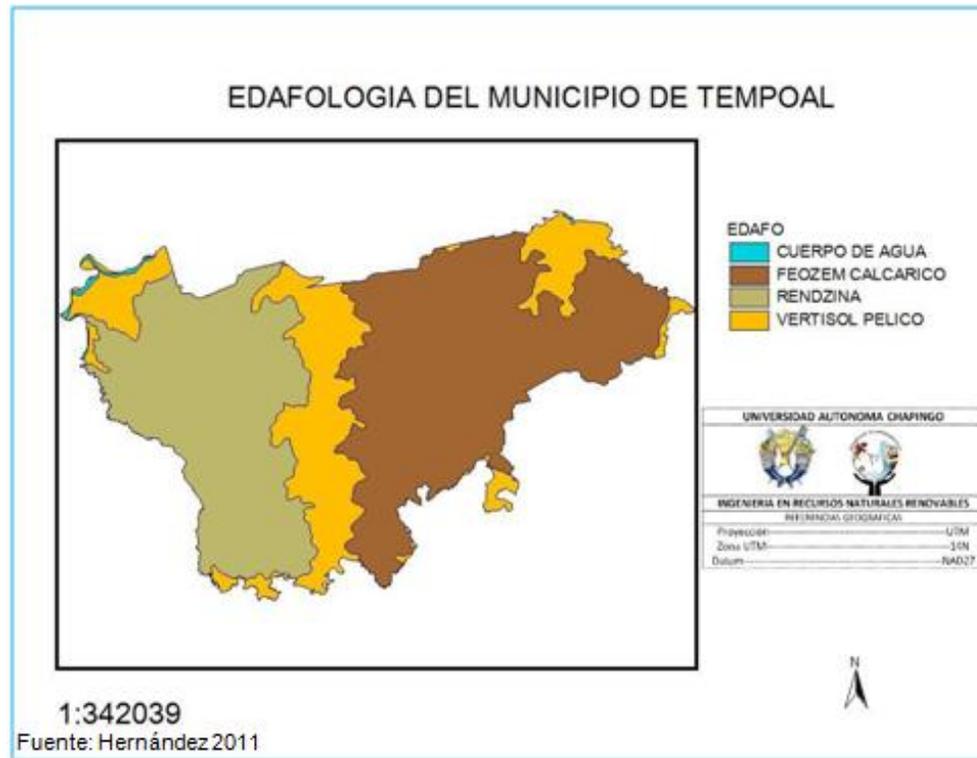


Figura 5. Tipos de suelos presentes y su distribución en Tempoal de Sánchez, Veracruz.

CAPITULO IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Seguridad alimentaria

Tras el drástico incremento registrado entre 2006 y 2009 debido a los altos precios de los alimentos y la crisis económica mundial, se estima que en 2010 el número de personas subnutridas en el mundo ha disminuido a medida que la economía mundial se recupera. Sin embargo, el número de personas subnutridas sigue siendo inaceptablemente alto: es mayor que antes de las últimas crisis; mayor que hace 40 años y mayor que en el momento en que se acordó el objetivo de reducción del hambre en la Cumbre Mundial sobre la Alimentación en 1996. Tomando como base los últimos datos disponibles, se calcula que el número total de personas subnutridas en el mundo alcanzó los 1 023 millones en 2009 y se espera que se reduzca un 9,6 % hasta los 925 millones en 2010. El 98 % de estas personas subnutridas se encuentran en los países en desarrollo, cuya tasa de subnutrición alcanza el 16 % (FAO, 2010).

Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana.

Esta definición comúnmente aceptada, señala las siguientes dimensiones de la seguridad alimentaria (FAO, 2006):

- Disponibilidad de alimentos: La existencia de cantidades suficientes de alimentos de calidad adecuada, suministrados a través de la producción del país o de importaciones (comprendida la ayuda alimentaria).
- Acceso a los alimentos: Acceso de las personas a los recursos adecuados (recursos a los que se tiene derecho) para adquirir alimentos apropiados y una alimentación nutritiva. Estos derechos se definen como el conjunto de todos los grupos de productos sobre los cuales una persona puede tener dominio en virtud de acuerdos jurídicos, políticos, económicos y sociales de la comunidad en que vive (comprendidos los derechos tradicionales, como el acceso a los recursos colectivos).
- Utilización: Utilización biológica de los alimentos a través de una alimentación adecuada, agua potable, sanidad y atención médica, para lograr un estado de bienestar nutricional en el que se satisfagan todas las necesidades fisiológicas. Este concepto pone de relieve la importancia de los insumos no alimentarios en la seguridad alimentaria.
- Estabilidad: Para tener seguridad alimentaria, una población, un hogar o una persona deben tener acceso a alimentos adecuados en todo momento. No deben correr el riesgo de quedarse sin acceso a los alimentos a consecuencia de crisis repentinas (por ej., una crisis económica o climática) ni de acontecimientos cíclicos (como la inseguridad alimentaria estacional). De esta manera, el concepto de

estabilidad se refiere tanto a la dimensión de la disponibilidad como a la del acceso de la seguridad alimentaria.

La seguridad alimentaria constituye, en principio, un impulso casi instintivo de los grupos humanos por asegurar su sobrevivencia frente a la escasez. La variable tiempo asociada con las expectativas inciertas de la relación producción-disponibilidad, representa un factor de primer orden a partir del cual se conforman las reservas alimentarias necesarias para conservar el equilibrio social, ante un peligro por carencia de alimentos no prevista. Garantizar la producción de alimentos se ubica en nuevos escenarios del desarrollo como una estrategia de seguridad social de carácter preventivo (Torres, 2002).

Para la población mexicana, especialmente la de medianos y bajos recursos, un producto básico que es importante para su seguridad alimentaria es el frijol. En México se tiene un consumo anual percapita de 12.5 Kg y su importancia radica en que es una fuente que aporta grandes cantidades de proteína y fibra. Este grano representa toda una tradición productiva y de consumo, cumpliendo diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico que le han permitido trascender hasta la actualidad (Ayala *et al.*, 2008).

4.2 Biocombustibles

En muchas partes del mundo la leña, el carbón vegetal y el estiércol, entre otras formas tradicionales de biomasa, siguen siendo importantes fuentes de energía. Gracias a la existencia de tecnologías de conversión más avanzadas y eficientes, actualmente es posible extraer biocombustibles en forma sólida, líquida y gaseosa, de materiales como la madera, los cultivos y los desechos. Los biocombustibles son portadores de energía que almacenan la energía derivada de la biomasa. Los biocombustibles son una fuente de energía renovable, ya que son una forma de energía solar transformada (FAO, 2008).

Los biocombustibles son combustibles derivados de la biomasa y su producción se ha visto impulsada ya que poseen un poder energético con características muy similares a la gasolina, el diesel y otros derivados del petróleo, pero además incorporan una importante reducción de las emisiones contaminantes en los motores tradicionales (Rojas, 2007).

De acuerdo con FAO, 2008; los biocombustibles se pueden clasificar según la fuente y el tipo. Se derivan de productos forestales, agrícolas y pesqueros o desechos municipales, así como de subproductos y desechos de la agroindustria, la industria alimentaria y los servicios alimentarios. Pueden ser sólidos como la leña, el carbón vegetal y los gránulos de madera; líquidos como el etanol, el biodiesel y el aceite de pirolisis, o gaseosos como el biogás.

También se hace una distinción elemental entre biocombustibles primarios (sin elaborar) y secundarios (elaborados):

- Los biocombustibles primarios, como la leña, las astillas y los gránulos de madera son aquellos en los que el material orgánico se usa esencialmente en su forma natural (tal como se han recogido). Este tipo de biocombustible es de combustión directa y en general se usa para satisfacer la demanda de combustible para cocinar o generar calefacción o electricidad en aplicaciones industriales en pequeña y gran escala vegetal
- Los biocombustibles secundarios en forma sólida (por ejemplo, el carbón), líquida (por ejemplo, el etanol, el biodiesel y el biopetróleo), o gaseosa (por ejemplo, el biogás, el gas de síntesis y el hidrógeno) pueden usarse en un número mayor de aplicaciones, como el transporte y procesos industriales a altas temperaturas.

Existen diversas definiciones para la palabra biodiesel, la gran mayoría de ellas hacen alusión a su composición química, su origen su empleo y sus características. En la Unión Europea, en sentido estricto el término biodiesel es exclusivamente del éster metílico que se produce de un aceite vegetal o animal con calidad de diesel. En Brasil la definición aún no posee consistencia técnica, ya que no hace mención del proceso de producción ni a su composición química; lo definen como un combustible derivado de biomasa renovable

para uso en motores de combustión interna con encendido por compresión o conforme reglamento, para generación de otro tipo de energía, que pueda sustituir parcial o totalmente combustibles de origen fósil (Ribeiro, 2007).

El biodiesel se produce a partir de la combinación de aceite vegetal o grasa animal con un alcohol y un catalizador por medio de un proceso conocido como transesterificación. Se puede extraer aceite para producir biodiesel de casi cualquier cultivo oleaginoso; a nivel mundial las fuentes más populares de biodiesel son, en Europa, la colza, y en Brasil y Estados Unidos de América, la soja. En los países tropicales y subtropicales se produce biodiesel a partir de aceite de palma, coco y piñón (*Jatropha curcas*). En la producción de biodiesel también se utilizan pequeñas cantidades de grasa animal extraída del procesamiento del pescado y otros animales. Comúnmente, del proceso de producción se derivan subproductos tales como la “torta” de frijoles aplastados (un tipo de pienso) y la glicerina (FAO, 2008).

El biodiesel posee diversas características favorables como sustituto del diesel de origen fósil, como: a) esta prácticamente exento de azufre; b) es biodegradable; c) reduce emisiones de la combustión (excepto los óxidos de nitrógeno); d) es de origen renovable; e) posee aproximadamente un 10% de oxígeno que favorece su combustión; f) un punto de inflamación superior al de origen fósil; g) exhiben una mayor variedad de propiedades físicas, como viscosidad y combustibilidad, que el etanol; h) El biodiesel puede mezclarse con

combustible diesel tradicional o quemarse puro en motores de encendido por compresión; i) aumenta el índice de cetano (FAO, 2008 y Ribeiro, 2007).

La expansión y el crecimiento actual de los mercados energéticos, como resultado de la aplicación en el pasado decenio en la mayoría de los países desarrollados y varios países en desarrollo de nuevas políticas energéticas y ambientales, están reconfigurando el papel de la agricultura. Más importante aún es el papel cada vez mayor de ese sector como proveedor de materia prima para la producción de biocombustibles líquidos para el transporte, en particular etanol y biodiesel. La bioenergía moderna constituye una nueva fuente de demanda de productos agrícolas, por lo que abre perspectivas de generación de ingresos y creación de empleos (FAO, 2008).

4.3 Sistemas agroforestal cultivo en callejones

La agroforestería se refiere a una forma de manejo de los recursos, conocida y transmitida por muchas generaciones de campesinos de diferentes partes del mundo. Por otra parte, como un nuevo campo del conocimiento, sus esfuerzos sistematicos están encaminados a comprender y aplicar los principios científicos de dicha práctica histórica, a fin de contribuir al desarrollo de sistemas sostenibles que permitan cubrir las necesidades del presente, sin comprometer los requerimientos del futuro (Krishnamurthy *et al.* 2003).

El cultivo en callejones pertenece a los sistemas agroforestales y se puede definir como un sistema de producción en el cual los arboles y los arbustos, preferiblemente especies leguminosas de rápido crecimiento, son establecidos en setos vivos sobre tierras arables, con cultivos de alimentos sembrados en los callejones entre los setos vivos. Generalmente se practica en áreas planas o topográficamente estables. Entre sus beneficios esta el incremento de nitrógeno en el suelo, control de las malezas, control de la erosión, pueden proporcionar forraje o leña, e incrementan la humedad disponible mejorando la filtración del agua (Krishnamurthy *et al.* 2003).

4.4 Piñón (*Jatropha curcas* L.)

El nombre científico se deriva del griego *iatrós* = médico, y *trophé* = alimento. Su nombre común en México es “Piñón”.

Según Sunder, 2006; *Jatropha curcas*, es una planta originaria de la América Latina, se cree que oriunda de México y de allí se fue al África, India y otros lugares del mundo. Tiene más de 3 mil 500 especies agrupadas en 210 géneros. Su clasificación taxonómica es la siguiente:

- ✓ Reino: Plantae
- ✓ División: Magnoliophyta
- ✓ Clase: Magnoliopsida
- ✓ Orden: Euphorbiales
- ✓ Familia: Euphorbiaceae
- ✓ Género: *Jatropha* L.
- ✓ **Especie: *Jatropha curcas* L.**

Nombres Comunes: en México se le conoce con los nombres de piñoncillo, zikilte, cuipuy, sangregado, piñon de india, piñón purgante, cuauhayohuachtli, almendro de calaza arbórea, piñón, piñon de cerro. En Puerto Rico, como tártago, piñón purgante. En las Islas Virgenes con los nombres de Physic nut, purge nut, curcas bean. En Cuba le denominan piñón de botija, piñón de cerca y piñón de leche. Tempate (Costa Rica y Nicaragua), Habel meluk (Portugal), Piñón manzo (Brasil), Piñón (Argentina) y en Colombia tatúa, frailecillo y frailejón (Cano y Hernández, 1984).

Hasta el momento, no se han encontrado datos particulares sobre los ecosistemas en los cuales ocurre naturalmente su crecimiento. Por lo que se cree necesario e importante estudiar el ecosistema de su ocurrencia natural, pues las áreas a las cuales la planta ha sido distribuida por el hombre – como centros secundarios de la diversidad - no son necesariamente semejantes, ni lo son las áreas que actualmente se cultivan. Entre tanto se seguirá considerando como nativos en América tropical, pero ahora se encuentran abundantemente en muchas regiones tropicales y subtropicales en África y Asia. Del Caribe, en donde la especie fue utilizada ya por los mayas (Schmook y Serralta, 1997), los *J. curcas* muy probablemente se diseminaron de las islas de Cabo Verde y la Guinea-Bissau a otros países en África y Asia (Heller, 1996).

4.4.1 Distribución

En México *Jatropha Curcas* es una especie que se adapta fácilmente a condiciones extremas de clima, su distribución geográfica resulta muy amplia, se encuentra desde las partes secas de Oaxaca, hasta las zonas más lluviosas del país, como la Sierra de Puebla y la zona correspondiente a Puyacatengo en Tabasco, también es muy resistente a suelos calcareos como los de la península de Yucatán y a suelos contaminados por petroquímicos como los de Poza Rica, en Veracruz donde ayuda a corregir las contaminaciones por petróleo en el suelo (Reyes, 2003).

4.4.2 Características botánicas y agronómicas

Es una planta de naturaleza resistente ya que puede crecer y sobrevivir con muy pocos cuidados en terrenos áridos o semiáridos (tierras marginales de escasos nutrientes). Soporta grandes periodos de seca (con escasas lluvias). Tiene un crecimiento rápido y es una planta de vida muy larga (más de 40 años), esta es una ventaja comparativa real y potente, hace que esta planta sea una especie inigualable (Ouwens *et al.*, 2007).

En términos generales el piñón como cultivo energético presenta las siguientes ventajas: a) Crece en terrenos marginales; b) Crece bien bajo condiciones de

alta salinidad; c) Es tolerante a la sequía y eficiente en el uso del agua; d) Es poco demandante de los nutrientes del suelo; e) Sus semillas producen alto contenido de aceite y de alta calidad; f) Demanda poco trabajo agronómico; g) No compite con tierras de producción alimenticia (garantiza la seguridad alimentaria) y h) Es altamente tolerante al ataque de plagas y enfermedades (Ouwens *et al.*, 2007).

4.4.2.1 Tamaño

Es un árbol (o arbusto) caducifolio (Figura 6), de 4 a 6 m de altura, diámetro del tronco (d.a.p.) de 14-18 cm; los arbustos adultos con una corona delgada de ramas muy redondeadas y extendida, los jóvenes con una corona delgada e irregular; corteza externa lisa, escamosa y muy delgada, de color pardo claro. Látex blanquesino, ramas de 3-5 cm de diámetro (Cano y Hernández 1984).



Figura 6. Desarrollo vegetativo del piñón

4.4.2.2 Hoja

Hojas alternas (Figura 7), de duración de 7-8 meses. Las hojas adultas de 15-20 cm de largo, 14-18 cm de ancho, pentalobuladas, delgadas, glabras, haz de color verde claro con nervios mediales y secundarios color amarillo y ligeramente hundidos; el margen entero, el ápice agudo, la base cordada, pubescente por el envés, nervación plamitifida, con cinco nervios principales originados desde la base de la hoja (Cano y Hernández, 1984).

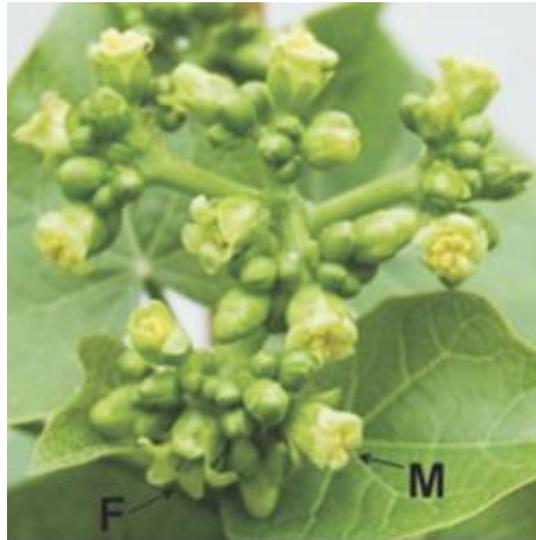


Fuente: Cano y Hernández, 1984

Figura 7. Hoja del piñón

4.4.2.3 Floración

La floración (Figura 8) puede presentarse entre los 12 y 24 meses en condiciones muy favorables, pero normalmente toma más tiempo.



Fuente: King-et-al.,-2009

Figura 8. Flores masculinas y femeninas del piñón

Las flores son hermafroditas actinomorfas, protándricas; sépalos 5, de 1-1.5 cm de largo; la corona campanulada, de color amarillo verdoso, pétalos de 0.5 – 1 cm de largo; estambres 6, los filamentos delgados; ovario supero, trilocular (Cano y Hernández 1984).

4.4.2.4 Fruto

Es una drupa oval, de 4-5cm de largo y 3-4 cm de ancho, cuando esta inmaduro de color verde y maduro de color amarillo (Figura 9), de sabor amargo y con tres semillas ovoides (Cano y Hernández 1984).

El desarrollo del fruto toma entre 60 y 120 días desde la floración hasta la madurez de la semilla.



Fuente: King *et al.*, 2009

Figura 9. Sección transversal de un fruto de piñón (*Jatropha curcas*)

El desarrollo de los frutos se presenta frecuentemente disparejo y, el crecimiento de los frutos tardíos comienza hasta después de la maduración de los frutos tempranos.

4.4.2.5 Semillas

Las semillas del piñón tienen la forma de una nuez, aunque son un poco más pequeñas (Figura 10). Cuando su cáscara exterior, que normalmente es de color verde, empieza a tomar una tonalidad amarillenta, las semillas están listas para ser recolectadas. Al retirar la cáscara, encontramos tres semillas. Cada

una de ellas contiene un 30% de aceite. La producción de semilla se estabiliza a partir del cuarto y quinto año (FAO, 2008 y López, 2008).



Fuente: King *et al.*, 2009

Figura 10. Semillas del piñón

El almacenamiento de las semillas no deberá exceder de 10 a 15 meses, supervisando la calidad en las semillas durante este tiempo. La germinación en las semillas tiene una duración de 15 días, y comienza a partir del tercero al quinto días. El porcentaje de germinación oscila entre 60 y 90% (López, 2008).

4.4.2.6 Reproducción

Es una planta de muy fácil propagación (por semillas y por estacas). Las semillas para siembra deben ser obtenidas de plantas que han mostrado altas producciones. Las plántulas se desarrollan durante tres meses y se trasplantan al campo cuando tienen una altura entre 40 y 50 centímetros. Para la siembra por estacas se requiere que estos provengan de madera semisólida (ramas)

con longitud de 15 a 40 centímetros, y diámetro entre 1.0 y 3.0 centímetros, a plantarse en bolsas de plástico dentro de invernadero. El crecimiento de raíces comienza en 8 a 15 días con alrededor de 80% de viabilidad. Los esquejes pueden plantarse también directamente en el campo cuando las condiciones son favorables (López, 2008).

4.4.2.7 Plagas y enfermedades

Si bien el piñón en México es una planta que no presenta plagas y enfermedades en su hábitat natural, cuando se establece como cultivo puede ser vulnerable a estas. En el estado de Sonora, México se han encontrado problemas con la mosca blanca en las primeras etapas de desarrollo, cuando las hojas se encuentran muy tiernas (López, 2008).

En el cultivo de *Jatropha curcas* L. en Guasave Sinaloa, se detectaron muestras positivas para begomovirus, así mismo se caracterizaron los insectos plaga, piojo harinoso, mosca blanca y pulga saltona, sin embargo no se presentaron daños considerables ni bajas en el cultivo. El cultivo de *jatropha curcas*, requiere mayor conocimiento de plagas y enfermedades, de su manejo y establecimiento (Espinosa *et al.*, 2010).

4.4.2.8 Rendimiento y cosecha

El rendimiento, en cuanto a producción de frutos se refiere, está en aproximadamente en 4 a 5 Kg. de frutos por planta. El rendimiento del cultivo varía entre 500 y 1200 Kg. de semillas limpias por hectárea. En cuanto a producción de aceite se consiguen 2 toneladas de aceite por hectárea y por año, llevando de tres a cuatro años para comenzar la edad productiva, que se puede extender por 40 años (UBA, s/f).

4.4.3 Usos de la *Jatropha Curcas* L.

El piñón es una especie con alta resistencia a condiciones extremas por lo que se cultiva extensamente en las zonas tropicales como cerca viva (Reyes, 2003).

Una de las características más importante de *Jatropha curcas* es la resistencia a épocas secas y su capacidad de crecer en áreas marginales. La planta ofrece grandes posibilidades de luchar contra la degradación de los suelos, de forma que estos se rehabiliten y sean más fértiles. Como las plantas desarrollan raíces pivotantes juegan un papel importante en el control de la erosión y el ciclaje de nutrientes de las capas de suelo profundas hacia la superficie (Esser, 2005).

Según Bautista, 2007; en México los usos de *Jatropha curcas* son los siguientes:

- ✓ Puebla y Veracruz (Principalmente los indígenas totonacas), Oaxaca, Tabasco y S.L.P. las semillas se comen tostadas como si fueran cacahuates y son complemento de las comidas típicas.
- ✓ En la Sierra Norte de Puebla usan las semillas para preparar salsa.
- ✓ Morelos, Yucatan, Veracruz usan la savia para control del fuego labial.
- ✓ En todos los estados en los que se encuentra utilizan el piñón como cerca viva.
- ✓ En Chiapas y Guerrero sirve como purgante.
- ✓ En Oaxaca la savia se utiliza como tinta de textil
- ✓ En Nayarit es medicinal (la corteza para alergias y el látex para el dolor de huesos)

4.4.4 Potencial productivo en México

De acuerdo con Zamarripa y Díaz, 2008; en México existen más de 6 millones de hectáreas con potencial alto y medio para el establecimiento de plantaciones de piñón (Ver Figura 11). A nivel nacional se estimaron alrededor de 2.6 millones de hectáreas con alto potencial para el cultivo del piñón, con un altitud de 0 a 1000 msnm, una temperatura entre 18 y 28 °C y una precipitación pluvial entre 600 y 1200 mm anuales.

Los estados de la República Mexicana que registran mayor superficie óptima para el cultivo de piñón son Sinaloa con 557,641 ha, Tamaulipas con 317,690 ha, Guerrero con 282,158 ha, Chiapas con 230,273 ha y Michoacán con una superficie de 197, 288 ha. Las superficies identificadas presentan también pendientes menores a 20% con un uso de suelo predominantemente agrícola (Zamarripa y Díaz, 2008).

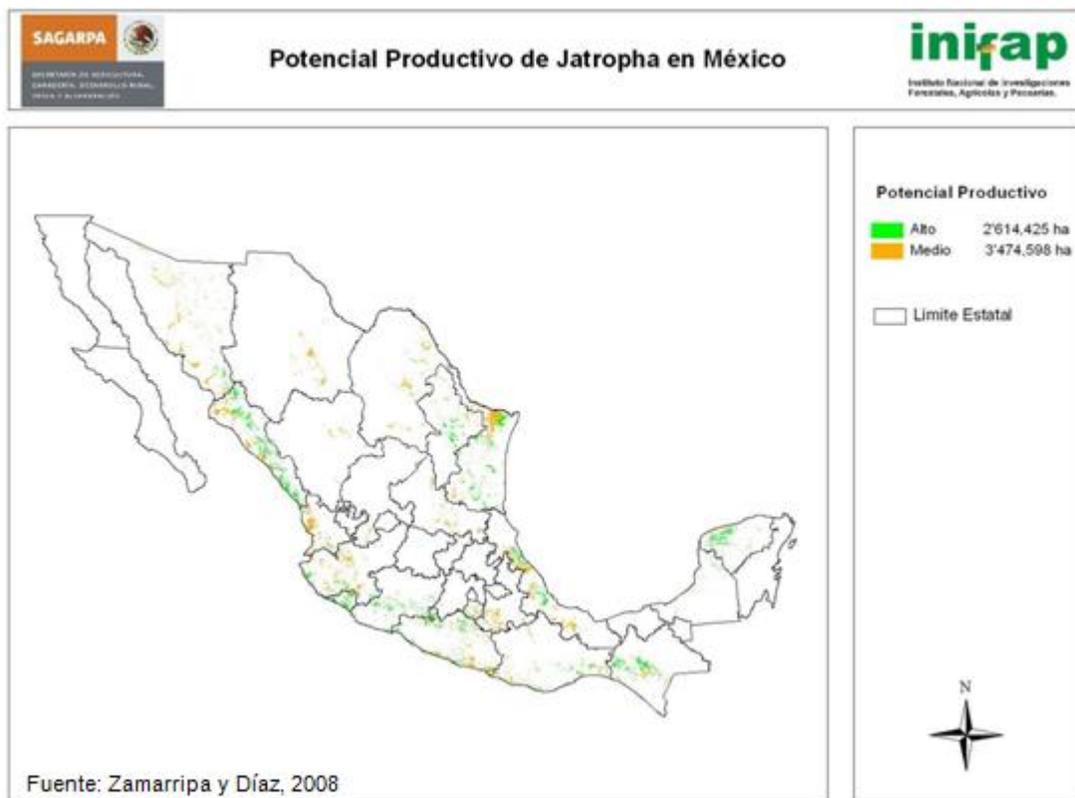


Figura 11. Potencial productivo de Jatropha en México

Los estados de Veracruz, Yucatán, Colima, Jalisco, Oaxaca y Nuevo León tienen superficies superiores a 100 mil y menores a 175 mil hectáreas con alto potencial productivo para piñón. Se estimaron mas de 3.4 millones de hectáreas con potencial medio para la producción de piñón, es decir áreas con una altitud

de 1000 a 1,500msnm, precipitación pluvial de 1,200 a 1,500 mm anuales y temperatura media entre 28 y 34 ° C. En estas condiciones agroecológicas de potencial medio, destacan con mayor superficie los estados de Tamaulipas con 442, 935 ha, Veracruz con 336, 314 ha, Sonora con 348, 446 ha, Guerrero con 283, 191 ha y Jalisco con 261, 989 ha (Zamarripa y Díaz, 2008).

En base de los resultados anteriormente expuestos se puede concluir que México tiene un gran potencial para la producción del piñón y este cultivo representa una alternativa para el productor mexicano.

4.5 Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

4.5.1 Origen

Una primera aproximación del centro de origen del frijol (*phaseolus vulgaris* L.) fue descrita por Linnaeus en 1753, considerando a la india como posible centro de diversificación justificando esta hipótesis por la gran variedad de tipos que existían, postulando así al continente asiático como principal centro de origen; después de más de un centenario de años aparece Candolle (1886) postulando a Asia occidental como el centro de origen esta hipótesis estaba sustentada en los escritos griegos sobre el cultivo de leguminosas, posteriormente este mismo autor ratifica su opinión dando la posibilidad de que el centro de origen fuera América del Sur en base a las semillas de *phaseolus vulgaris* junto con *P.*

lunatus L. encontradas por Wittmack en las excavaciones de Ancona, Perú; y en 1931 Bukasov y Vavilov dedujeron que el área México-Guatemala era el centro con mayor diversidad como resultado del estudio de numerosas variedades de frijol recolectados en México, Guatemala, Colombia, Perú, Chile y Bolivia (Solorzano, 1994).

Lo anterior se complementa con los restos arqueológicos de *phaseolus vulgaris* encontrados en los países de México, Estados Unidos y en Perú. De estos tres países destaca México con los restos más antiguos que datan de más de 7,000 años, equivalente al año de 4,975 A.C, en las cuevas de Coxcatlán, en el valle de Tehuacán, Puebla (Ortiz, 1998; Kaplan, 1956).

4.5.2 Clasificación

Desde el punto de vista taxonómico, el frijol es el prototipo del género *Phaseolus* y su nombre científico es *Phaseolus vulgaris* L. asignado por Lineo en 1753. Pertenece a la tribu *Phaseolae* de la subfamilia papilionoidae dentro del orden Rosales y la familia Leguminoseae. La clasificación botánica es como sigue:

Reino:	Vegetal	Orden:	Rosales
División:	Tracheofita	Familia:	Leguminoseae
Clase:	Angiospermae	Genero.	Phaseolus

El género *Phaseolus* incluye aproximadamente 35 especies, de las cuales cuatro se cultivan: *P. vulgaris* L.; *P. lunatus* L.; *P. coccineus* L., y *P. acutifolius* A. (CIAT, 1984).

4.5.3 Morfología

La raíz: En general, el sistema radical es superficial, ya que el mayor volumen de raíces se encuentra en los primeros 20 centímetros de profundidad del suelo. En la primera etapa de desarrollo, el sistema radical está formado por la radícula del embrión, la cual se convierte posteriormente en la raíz principal o primaria. A los pocos días de la emergencia de la radícula, es posible ver las raíces secundarias, que se desarrollan especialmente en la parte superior o cuello de la raíz principal. Sobre las raíces secundarias se desarrollan las raíces terciarias y otras subdivisiones como los pelos absorbentes, los cuales, además, se encuentran en todos los puntos de crecimiento de la raíz. Como miembro de la subfamilia papilionoideae, *Phaseolus vulgaris* L. presenta nódulos distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical. Estos nódulos son colonizados por bacterias del género *Rhizobium*, las cuales fijan el nitrógeno atmosférico que contribuye a satisfacer los requerimientos de este elemento en la planta (Arias *et al.*, 2007; Ortiz, 1998).

El tallo: el tallo puede ser identificado como el eje central de la planta, el cual está formado por la sucesión de nudos y entrenudos. Se origina del meristemo apical del embrión de la semilla. Desde la germinación, y en las primeras etapas de desarrollo de la planta, este meristema tiene fuerte dominancia apical y en su proceso de desarrollo genera nudos. Un nudo es el punto de inserción de las hojas o de los cotiledones en el tallo. El tallo es herbáceo y con sección cilíndrica o levemente angular, debido a pequeñas corrugaciones de la epidermis. El tallo empieza en la inserción de las raíces. En orden ascendente, el primer nudo que se encuentra es el de los cotiledones, que se caracteriza por tener dos inserciones opuestas correspondientes a los cotiledones. La primera parte del tallo comprendida entre la inserción de las raíces y el primer nudo se llama hipocótilo. El siguiente nudo es el de las hojas primarias, las cuales son opuestas. Entre el nudo de los cotiledones y el de las hojas primarias se encuentra un entrenudo real llamado epicotilo. En el tallo se encuentran presentes, a nivel de cada nudo, otros órganos como las hojas, las ramas, los racimos y las flores (Arias *et al.*, 2007; Ortiz, 1998).

Hábito de crecimiento: 1.- hábito de crecimiento determinado arbustivo: El tallo y las ramas terminan en una inflorescencia desarrollada, en general, el tallo es fuerte, con un bajo número de entrenudos, de cinco a diez, normalmente cortos. La altura puede variar entre 30 y 50 cm; sin embargo, hay casos de plantas enanas, más cortas. La etapa de floración es corta y la madurez de todas las vainas ocurre casi al mismo tiempo. 2.- hábito de crecimiento indeterminado arbustivo: Tallo erecto sin aptitud para trepar, aunque termina en una guía

corta. Las ramas no producen guías. El número de nudos del tallo es generalmente más de 12. Como todas las plantas de hábito de crecimiento indeterminado, éstas continúan creciendo durante la etapa de floración, aunque a un ritmo menor. 3.-hábito de crecimiento indeterminado postrado: Plantas postradas o semipostradas con ramificación bien desarrollada. La altura de las plantas es generalmente mayor a 80 cm. El desarrollo del tallo y el grado de ramificación originan variaciones en la arquitectura de la planta. Algunas plantas son postradas desde las primeras etapas de la fase vegetativa; otras son arbustivas hasta prefloración y luego son postradas. Pueden presentar aptitud trepadora. 4.- hábito de crecimiento indeterminado trepador. Se considera que las plantas de este tipo de hábito de crecimiento son las del típico hábito trepador: a partir de la primera hoja trifoliada, el tallo desarrolla la doble capacidad de torsión, lo que se traduce en su habilidad trepadora. Las ramas muy poco desarrolladas a causa de su dominancia apical. El tallo, el cual puede tener de 20 a 30 nudos, puede alcanzar más de 2 m de altura con un soporte adecuado. La etapa de floración es significativamente más larga que la de los otros hábitos, de tal manera que en la planta se presentan, a un mismo tiempo, la etapa de floración, la formación de las vainas, el llenado de las vainas y la maduración (Arias *et al*, 2007; Ortiz, 1998).

Ramas: las ramas se desarrollan a partir de un complejo de yemas localizado siempre en las axilas, formadas por el pulvínulo de una hoja y el tallo o rama, aunque también se localizan en la inserción de los cotiledones. Es el denominado complejo axilar, que generalmente está formado por tres yemas

visibles desde el inicio de su desarrollo. De éste, además de ramas, se pueden desarrollar otras estructuras, como las inflorescencias. El predominio de ramas o inflorescencias depende del hábito de crecimiento y de la parte de la planta considerada. Las tres yemas forman un complejo axilar llamado tríada, y pueden tener un desarrollo diferente que puede ser de tres tipos: *Tipo 1*: Desarrollo completamente vegetativo, si las tres yemas son vegetativas; *Tipo 2*: Desarrollo floral y vegetativo, si existen yemas florales y vegetativas, *Tipo 3*: Desarrollo completamente floral, si las tres yemas son yemas florales (CIAT, 1984).

Hojas: Las hojas del fríjol son de dos tipos, simples y compuestas, y están insertadas en los nudos del tallo y las ramas. Las hojas primarias son simples, aparecen en el segundo nudo del tallo, se forman en la semilla durante la embriogénesis, y caen antes de que la planta esté completamente desarrollada. Las hojas compuestas trifoliadas son las hojas típicas del fríjol, tienen tres folíolos, un pecíolo y un raquis. En la inserción de las hojas trifoliadas hay un par de estípulas de forma triangular que siempre son visibles (CIAT, 1984).

Inflorescencia: Las inflorescencias pueden ser terminales o axilares. Desde el punto de vista botánico, se consideran como racimos de racimos, es decir, un racimo principal compuesto de racimos secundarios, los cuales se originan de un complejo de tres yemas (tríada floral) que se encuentra en las axilas formadas por las brácteas primarias y el raquis. En la inflorescencia se pueden distinguir tres componentes principales: el eje de la inflorescencia que se

compone de pedúnculo y de raquis, las brácteas primarias y los botones florales (CIAT, 1984).

Flor: La flor del frijol es una típica flor papilionácea. En el proceso de desarrollo de dicha flor se pueden distinguir dos estados, el botón floral y la flor completamente abierta. El botón floral, bien sea que se origine en las inserciones de un racimo o en el desarrollo completamente floral de las yemas de una axila en su estado inicial, está envuelto por las bracteolas que tienen forma ovalada o redonda. En su estado final, la corola, que aún está cerrada, sobresale, y las bracteolas cubren sólo el cáliz. Cuando ocurre el fenómeno de anthesis la flor se abre (CIAT, 1984).

Fruto: el fruto es una vaina con dos valvas, las cuales provienen del ovario comprimido. Puesto que el fruto es una vaina, esta especie se clasifica como leguminosa. Las vainas pueden ser de diversos colores, uniformes o con rayas, dependiendo de la variedad. Dos suturas aparecen en la unión de las valvas: la sutura dorsal, llamada placentar, y la sutura ventral. Los óvulos, que son las futuras semillas, alternan en la sutura placentar. Las semillas son de diferente colores desde blanco hasta negro, pasando por crema, amarillo, rosa, y rojo su forma es plana o bola y opaca o brillante (Ortiz, 1998).

4.5.4 Requerimientos ambientales

Los factores abióticos que inciden en la productividad del frijol son la sequia, las temperaturas extremas, la salinidad, la pobre aireación del suelo, la toxicidad (aluminio) y deficiencias de fosforo y zinc, así como el granizo y los vientos, de las cuales se clasifican como factores controlables y los no controlables (Ramírez y Acosta, 1995).

Una precipitación de 400 a 500 milímetros distribuida durante el ciclo del cultivo es adecuada para el frijol. Por otra parte, la humedad relativa alta favorece los problemas de enfermedades causadas por bacterias y hongos.

La temperatura: El frijol es un cultivo de clima cálido, por lo que su mejor desarrollo se logra en ambientes con temperatura media de 16 a 26°C durante la estación de crecimiento Acosta *et al.* (2004), mientras otros autores reportan otras variantes de temperaturas optimas para la germinación, crecimiento y producción como el de 18 a 30 °C (Solorzano, 1994), de 12.2 a 29.1 °C, con una media de 20.6°C según Ramírez y Acosta, (1995), mientras que para Ortiz, (1998), el rango de temperatura optimo es de 15 a 27 °C.

Las altas temperaturas y la sequía durante la floración y formación de vainas provocan la caída de un alto porcentaje de flores y pequeñas vainas. El frijol también es muy sensible a las bajas temperaturas, problema que pueden

causar daños por enfriamiento o por heladas; en la época de siembra retrasan la germinación y pueden generar una pobre población inicial (Nuland, *et al*, 1983), dado que la temperatura óptima para la germinación es de 20°C. Por debajo de los 0°C las plantas sufren daños físicos y fisiológicos, y temperaturas superiores a los 30 °C puede detener el crecimiento y puede generar estrés de la planta (Ortiz, 1998; Acosta *et al*. 2004).

Granizo y viento: son dos fenómenos climatológicos cuyo principal efecto directo es la reducción de la eficiencia fotosintética del cultivo como consecuencia del daño mecánico sobre el dosel y el tallo, que causa el desgarre de las hojas, el acame, el rompimiento de tallos, las caída de flores y vainas, y el daño de la vaina y calidad de la semilla por el efecto mecánico del impacto sobre ambas estructuras. Un efecto indirecto de ambos fenómenos consiste en la mayor dispersión de enfermedades y el incremento de la susceptibilidad por heridas en las hojas (Ramírez y Acosta, 1995)

pH en el suelo: El pH óptimo para la producción de frijol fluctua entre 6.5 y 7.5, intervalo dentro del cual la mayoría de los elementos nutritivos presentan su máxima disponibilidad a la planta. El frijol puede tolerar un pH bajo, dentro del intervalo de 4.5 a 5.5, sin embargo niveles inferiores le provocan síntomas de toxicidad por aluminio y manganeso. También es capaz de tolerar un pH superior a los 8.2 sin embargo se disminuye la asimilación de la planta y dispersa los minerales arcillosos del suelo, lo cual reduce su capacidad de drenaje (Howeler, 1980).

Sequia: el estrés por sequía ocasionado por la insuficiente disponibilidad de agua en cantidad, distribución y tiempo, es sin duda una de las principales causas de la baja productividad del frijol en el mundo. Aun cuando el frijol se cultiva bajo condiciones limitantes de humedad, no es tolerante a periodos de sequias prolongados y dada su sensibilidad al estrés hídrico, la cantidad y calidad de la producción puede ser severamente afectadas, aun por periodos cortos de sequías especialmente en la etapa reproductiva (Ramírez y Acosta, 1995).

Para la presente investigación se utilizo la variedad comercial negro Nayarit, debido a que es la que se cultiva y es preferida en la zona. El frijol negro Nayarit es una planta de semiguia erecta, su grano es de color negro opaco y de tamaño pequeño, se tarda 46 días en comenzar a florecer y 99 días para completar su madurez. La cantidad de semilla que se necesita para sembrar una hectárea es de 60 kilogramos (INIFAP, 2011).

CAPITULO V MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del área experimental

La parcela (Figura 12) que se utilizó para establecer el experimento de la presente investigación tiene una extensión de 9600 m²; es propiedad del Sr. Abraham Azuara Azuara, y se encuentra ubicada en las coordenadas 21°31'20'' latitud Norte y 98°22'49'' longitud Oeste.



Figura 12. Localización de la parcela experimental

5.2 Diseño experimental y muestreo.

Lo primero que se realizó es el diseño utilizando para ello el Diseño Experimental de Bloques al Azar (Figura 13), con los siguientes tres sistemas de producción: frijol monocultivo, piñon monocultivo y la tecnología agroforestal, cultivo en callejones utilizando piñon y frijol.

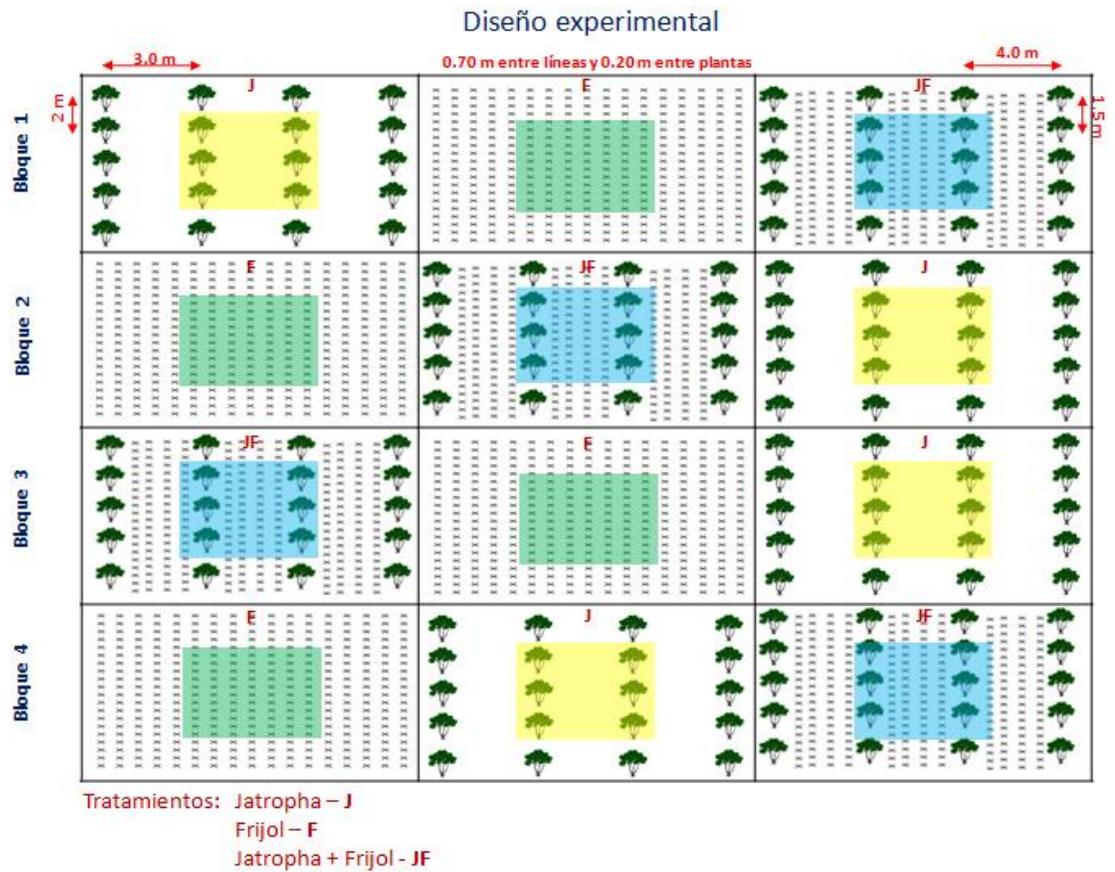


Figura 13. Diseño experimental bloques al azar y área de muestreo

El área de cada unidad experimental en los tres sistemas es de 72 m² formando un rectángulo de 12m x 6m. Cada bloque o repetición posee una extensión de 216 m² y el área total de análisis de cada sistema establecido es de 288 m².

Las variables consideradas para la comparación del comportamiento de las especies (piñón y frijol) cultivadas en monocultivo y bajo el sistema agroforestal cultivo en callejones son: 1) Piñón: altura y Contenido de clorofila y 2) Frijol: rendimiento, número de vainas, peso seco de raíz, tallo y vaina.

El muestreo se realizó (Figura 13) en el área coloreada de cada unidad experimental, con el fin de evitar el efecto de orilla. La toma de datos para cada variable a analizar, consistió en la elección de 5 plantas al azar de cada tratamiento, a las cuales se les tomaron los datos correspondientes.

Para el caso del peso seco se tomaron las muestras en campo y después se llevo a cabo su proceso de secado en el laboratorio.

5.3 Establecimiento del sistema *Jatropha curcas* monocultivo

Se comenzó con la preparación del terreno, la cual se realizó los días 20 y 21 de septiembre de 2009 y consistió en un barbecho a una profundidad de 20 a 30 centímetros, con el fin de romper, voltear y aflojar el suelo. Posteriormente se realizaron dos pasos de rastra de forma cruzada a fin de dejar el terreno libre de terrones grandes. Las plántulas que se utilizaron para este sistema se trajeron de un vivero ubicado en Tepetzintla, Veracruz a 80 km aproximadamente de Tempoal, dicho vivero pertenece al gobierno del estado, quien a través del Instituto Veracruzano de Bionergeticos, impulsa la siembra de piñón en la zona norte de Veracruz. El establecimiento de las plántulas en el terreno quedó de la siguiente forma (Figura 14):



Figura 14. Representación esquemática del cultivo de piñón (*Jatropha curcas*), en monocultivo

- Iniciando de un lado del terreno se marcaron los callejones a lo largo del terreno con la ayuda de una cinta métrica y con hilo rafia, dejando un espaciamiento entre línea y línea de 3.0 metros.
- Posteriormente sobre cada una de las líneas trazadas, se marcaron los puntos donde se plantaron las plántulas, a una distancia una de otra de 2 metros, apoyándose con una cinta métrica y con estacas. Bajo este diseño de plantación se tiene una densidad de 1,666 plantas de piñón (*Jatropha curcas*) por hectárea.
- Una vez marcadas las líneas y todos los puntos en todo el terreno de siembra, se procedió a realizar el hoyado para la plantación con la ayuda de una pala recta y cavahoyos; se cavó un cepa de aproximadamente 20 cm de diámetro por 25 centímetros de profundidad. Se realizaron las cepas que se plantaron en una jornada de trabajo y no más, a fin de evitar que el área donde se plantó perdiera humedad.
- Antes de introducir las plántulas en las cepas se realizó una fertilización de fondo por cepa, utilizando el fertilizante químico Triple 16 a razón 28 gramos (46.65 Kg/ha).

- Cuando se realizó la plantación se procuró que el cuello de la planta quedara al nivel del suelo, para evitar que cuando se eche tierra esta se compacte y cuando se retire la bolsa no se dañen las raíces. La fecha de plantación fue el 4 y 5 de octubre de 2009.
- Control de malezas: se llevo a cabo de forma manual, ya que la utilización de productos químicos como los herbicidas puede afectar seriamente a la planta e incluso diezmarla. Durante el primer año, se dió prioridad a esta actividad y posteriormente cuando se tuvo un desarrollo mucho mayor bastó con limpieas menos intensas, véase Figura 15.



Figura 15. Cultivo de piñón (*Jatropha curcas*) en monocultivo

Las plagas que se presentaron en este cultivo fueron: 1) trips, pertenecientes al orden *Thysanoptera*, familia *Thripidae* y 2) esperanza o saltamontes verde de aparato masticador, perteneciente al orden *ortóptera*; para su control se utilizó el insecticida de nombre comercial Foley, esto se aplicó a una frecuencia de cada 15 días después de la incidencia de la plaga hasta controlarla. En el caso de las enfermedades se presentó la roya, para su control se utilizó Thiodan.

5.4 Establecimiento del sistema frijol monocultivo

- La preparación del terreno para establecer el cultivo de frijol se realizó el 12 y 13 de octubre de 2009 y comenzó con un barbecho a una profundidad de 20 a 30 centímetros, a fin de romper, voltear y aflojar el suelo. Se pasó dos veces la rastra de forma cruzada a fin de dejar el terreno libre de terrones grandes. Para el cultivo de frijol las plantas se establecieron de la siguiente forma:
- La siembra del frijol se realizó con una sembradora de tres botes, la cual se calibró para realizar la siembra y fertilización (se utilizó triple 16, a razón de 150 kg/ha). La distancia de siembra fue de 70 centímetros entre surco y surco, y 20 centímetros entre planta y planta (Figura 16), obteniendo así una densidad de 71,428 plantas/ha. La semilla que se utilizó fue de la variedad comercial de frijol Negro Nayarit.

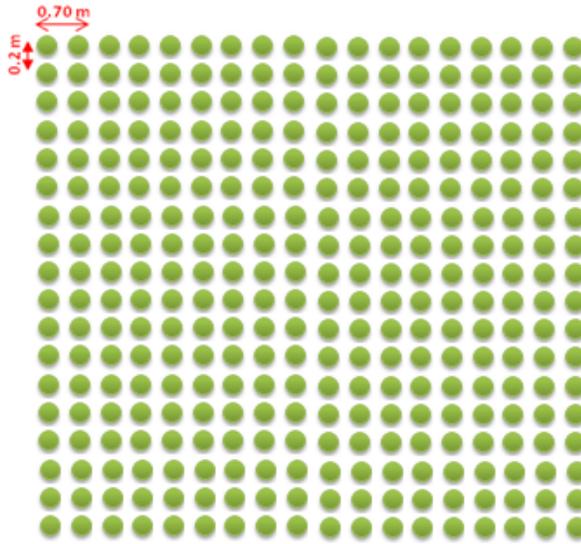


Figura 16. Representación esquemática del cultivo de frijol en monocultivo

- Su siembra se realizó el 12 de noviembre, tal y como lo recomiendan los productores de la región Huasteca, donde se ha observado mejores rendimientos y menores problemas con enfermedades e insectos.
- El control de malezas se realizó de forma manual con azadón. Manteniendo este cultivo limpio los primeros 30 a 40 días después de su siembra, debido a que las malezas compiten con el cultivo por espacio, luz, agua y nutrimentos, además que favorecen la incidencia de plagas y todo ello se ve reflejado en una reducción del rendimiento.
- La plaga principal que se presentó en el frijol fue la palomilla la cual se controló con Furadan.

5.5 Establecimiento del sistema Agroforestal Cultivo en Callejones

Para lograr un buen establecimiento del sistema agroforestal y una buena nacencia de las semillas de frijol se realizó un barbecho a una profundidad de 20 a 30 centímetros, a fin de romper, voltear y aflojar el suelo. Posteriormente un mes antes de la siembra de frijol se llevó a cabo dos pasos de rastra a fin de dejar el terreno libre de terrones grandes.

Los componentes vegetales para el diseño del cultivo en callejones se dividieron en dos tipos: 1) El componente leñoso y perenne que fue el Piñón (*Jatropha curcas*) y 2) El componente herbáceo y/o cultivo que fue en este caso el frijol (*Phaseolus vulgaris*). Su establecimiento en campo queda como lo ilustra la Figura 17.

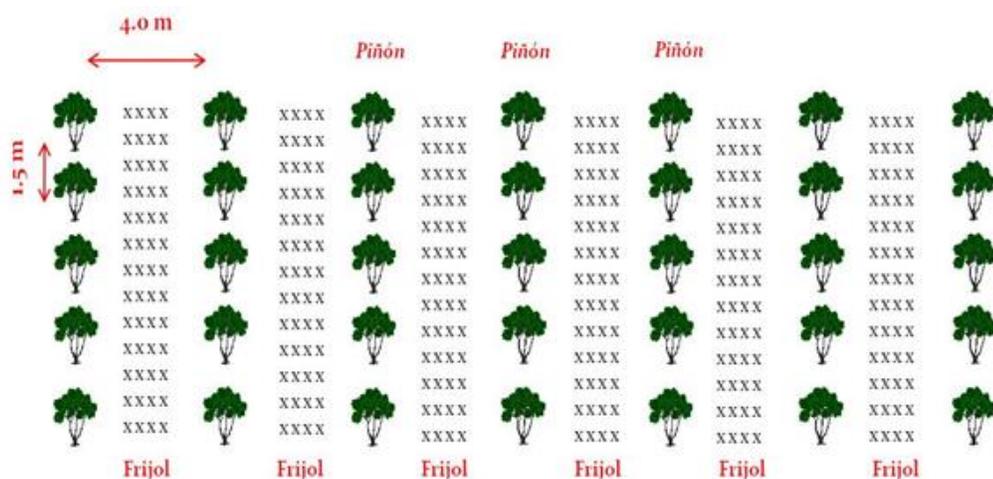


Figura 17. Representación esquemática del sistema agroforestal, cultivo en callejones en base al cultivo de piñón (*Jatropha curcas*), con frijol.

Para el diseño del Sistema Agroforestal, Cultivo en Callejones, primero se plantó el piñón, de la siguiente forma:

- Iniciando de un lado del terreno se marcaron los callejones a lo largo del terreno, con la ayuda de una cinta métrica y con hilo rafia, dejando un espaciamiento entre línea y línea de 4.0 metros.
- Posteriormente sobre cada una de las líneas trazadas, se marcaron con ayuda de una cinta métrica y estacas los puntos donde se plantaron las plántulas a un espaciamiento de 1.5 metros. Bajo este diseño de plantación se tiene una densidad de 1,666 plantas de piñón (*Jatropha curcas*) por hectárea.
- Una vez que se marcaron las líneas y todos los puntos en el terreno de siembra, se procedió a realizar el hoyado para la plantación; se realizó una cepa de aproximadamente 20 cm de diámetro por 25 centímetros de profundidad, se realizaron únicamente las cepas que se plantaron en una jornada de trabajo y no mas, a fin de evitar que el área donde se plantó se resecará demasiado.
- Antes de introducir las plántulas en las cepas se realizó una fertilización de fondo por cepa, para lo cual se utilizaron 28 gramos de fertilizante químico triple 16 (46.7 Kg/ha). Se procuró que durante el trasplante el

cuello de la planta quedara al nivel del suelo, para evitar daños en las raíces.

- La siembra del frijol se realizó con una sembradora de tres botes, la cual se calibró para realizar la siembra y fertilización (se utilizaron 150 kg/ha de triple 16) al mismo tiempo; se dejó un espacio libre de 60 centímetros a partir de la línea donde se plantaron los piñones, a fin de evitar cualquier daño a estos.
- La distancia de siembra fue de 70 centímetros entre surco y surco, y 20 centímetros entre planta y planta. Lo cual da como resultado cuatro surcos de frijol por callejón, lo que da una densidad de siembra de 50,000 plantas por hectárea (véase Figura 18).



Figura 18. Sistema agroforestal, cultivo en callejones en base al cultivo de piñón (*Jatropha curcas*) y frijol

- A fin de aprovechar la humedad residual de la temporada de lluvias la plantación del piñón (*Jatropha curcas*), se trasplantó los días 4 y 5 de octubre de 2009. Para el caso del frijol, lo recomendable es sembrarlo en el ciclo Otoño – Invierno; por lo que su siembra se realizó el 12 de noviembre.
- El control de malezas se realizó de forma manual con azadón (Ver Figura 19). Manteniendo este cultivo limpio los primeros 30 a 40 días después de su siembra, debido a que las malezas compiten con el cultivo por espacio, luz, agua y nutrimentos, además que favorecen la incidencia de plagas y todo ello se ve reflejado en una reducción del rendimiento.



Figura 19. Control de malezas en el cultivo de frijol y sobre la línea de plantas de piñón, actividad realizada de forma manual

- La plaga principal que se presentó en el frijol fue la palomilla la cual se controló con Furadan y en el caso del piñón se tuvo la presencia de roya, esta se controló utilizando Thiodan. Se tuvo también la presencia de trips y esperanza o saltamontes verde de aparato masticador, para su control se utilizó Foley.

Una vez establecidos los sistemas se procedió con la toma de datos y posteriormente su análisis utilizando el software SAS (Statistical Analysis Software). Para cada variable analizada en cada sistema se realizó interacciones entre bloques y tratamientos.

CAPITULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la comparación entre el cultivo del piñón y el frijol establecidos bajo un sistema agroforestal (cultivo en callejones) y su producción bajo la modalidad de monocultivos.

6.1 Frijol (*Phaseolus vulgaris*)

6.1.1 Peso seco del tallo, vaina y raíz

De acuerdo con el programa SAS para el peso seco del tallo el análisis de varianza (Cuadro 3) muestra lo siguiente:

Cuadro 3. Análisis de varianza del peso seco del tallo de frijol

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	1	63.2434	63.2434	26.13	0.0145
Bloque	3	14.2095	4.7365	1.96	0.2976
Tratamiento*Bloque	3	7.2598	2.4199	1.08	0.3724
Tratamiento*Bloque* Planta	32	69.5344	2.2430	9.16	0.2568
Total	39	156.9151			

El análisis de varianza anterior nos indica que existen diferencias significativas entre los dos tratamientos.

Para comprobar el resultado anterior se procede a realizar la prueba de separación de medias, utilizando método de Tukey (Cuadro 4).

Cuadro 4. Prueba de Tukey para el peso seco del tallo de frijol

TUKEY AGRUPAMIENTO*	MEDIA	N	TRATAMIENTO
A	7.7335	20	Frijol intercalado
B	5.1795	20	Frijol monocultivo

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

En base a los resultados obtenidos en la separación de medias por el método de tukey podemos observar que las medias de los tratamientos son diferentes para la variable peso seco del tallo.

En el caso del peso seco de la vaina, el análisis de varianza y la prueba de Tukey (Cuadro 5 y 6) se muestran a continuación:

Cuadro 5. Análisis de varianza del peso seco de la vaina de frijol

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	1	161.1250	161.1250	11.93	0.0408
Bloque	3	76.6052	25.5350	1.89	0.3070
Tratamiento*Bloque	3	40.5208	13.5069	0.88	0.4613
Tratamiento*Bloque*	32	474.8619	15.3181	30.03	0.1436
Planta					
Total	39	756.6387			

Cuadro 6. Prueba de Tukey para el peso seco de la vaina de frijol

TUKEY AGRUPAMIENTO*	MEDIA	N	TRATAMIENTO
A	12.049	20	Frijol intercalado
B	8.003	20	Frijol monocultivo

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

El análisis de varianza del peso seco de la vaina nos muestra que existen diferencias significativas estadísticamente hablando entre los dos tratamientos, lo cual se comprobó con la prueba de Tukey, en la cual se puede observar que las medias de los tratamientos son diferentes.

En el caso del peso de la raíz de frijol el análisis de varianza (Ver Cuadro 7) muestra que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo cual se comprueba con la realización de la prueba de medias (Ver Cuadro 8).

Cuadro 7. Análisis de varianza del peso seco de la raíz de frijol

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	1	0.6060	0.6060	3.24	0.1697
Bloque	3	1.2449	0.4149	2.22	0.2649
Tratamiento*Bloque	3	0.5611	0.1870	1.36	0.2717
Tratamiento*Bloque*	32	4.2484	0.1370	0.58	0.8028
Planta					
Total	39	6.8375			

Cuadro 8. Prueba de Tukey para el peso seco de la raíz de frijol

TUKEY AGRUPAMIENTO*	MEDIA	N	TRATAMIENTO
A	1.4535	20	Frijol intercalado
A	1.2115	20	Frijol monocultivo

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Los resultados anteriormente expuestos encontrados mediante la utilización del programa SAS, los podemos apreciar claramente en la Figura 20, elaborada con los datos del Cuadro 9.

Cuadro 9. Peso seco del tallo, vaina y raíz del frijol cultivado en monocultivo y bajo sistema agroforestal

Parte del frijol	Promedio de 20 observaciones de peso seco en gramos*	Peso seco (Kg/ha)
Tallo en sistema agroforestal	7.73	386.68
Tallo en monocultivo	5.18	369.96
Vaina en sistema agroforestal	12.05	602.45
Vaina en monocultivo	8.00	571.60
Raíz en sistema agroforestal	1.45	72.68
Raíz en monocultivo	1.21	86.54

* Para ver el valor de cada una de las 20 muestras tomadas dirigirse al Anexo 1

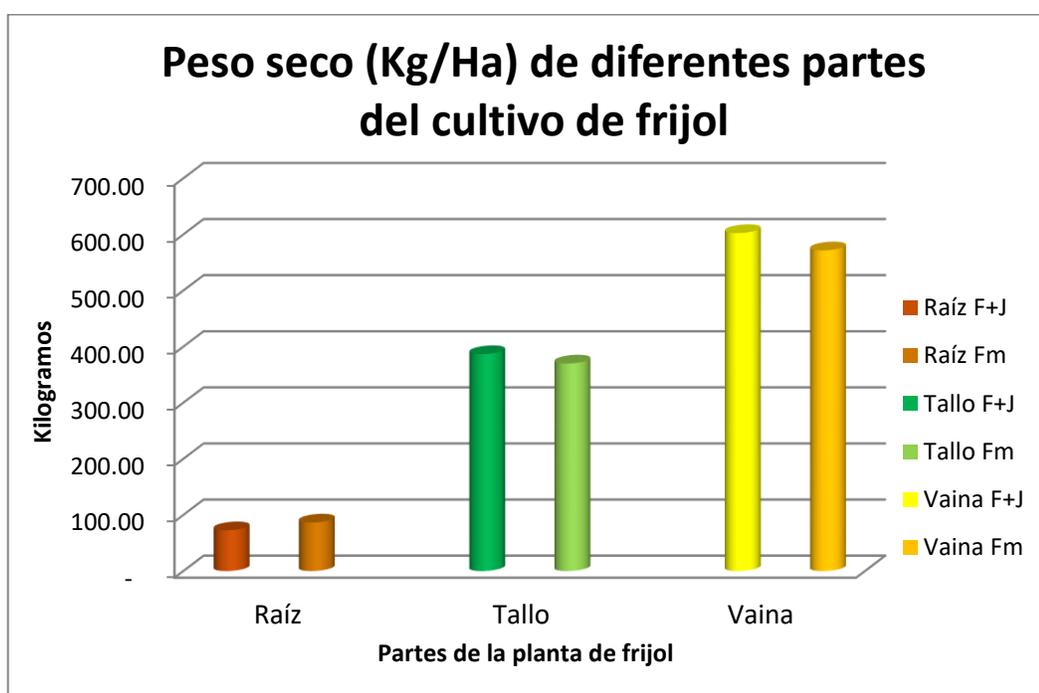


Figura 20. Comparación del peso seco de la raíz de frijol cultivado en monocultivo y bajo sistema agroforestal

En la figura anterior se puede observar que la producción de biomasa en tallo y vaina de frijol es mayor en el sistema agroforestal, cultivo en callejones a comparación del sistema en monocultivo, a pesar de que en monocultivo se tiene una mayor densidad de siembra.

Esta diferencia se atribuye a que el sistema de producción de frijol en monocultivo maduro (se cosechó) dos semanas antes que el agroforestal; es decir, el frijol en el sistema agroforestal tuvo dos semanas más para seguir aprovechando luz, agua, nutrientes, lo cual incrementó la cantidad de biomasa producida.

Otra explicación sobre la obtención de este resultado es que en el caso del sistema agroforestal se realizaron dos fertilizaciones, una para el frijol y otra para el piñón; en el caso del monocultivo solo se fertilizó una vez.

6.1.2 Número de vainas

El análisis de varianza (Cuadro 10) para el número de vainas de frijol, muestra que no existen diferencias significativas entre los dos tratamientos.

Cuadro 10. Análisis de varianza del número de vainas de frijol

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	1	302.50000	302.5000	2.47	0.2144
Bloque	3	326.60000	108.8666	0.89	0.5380
Tratamiento*Bloque	3	368.10000	122.7000	14.61	<.0001
Tratamiento*Bloque*Planta	32	268.80000	8.4000	-	-
Total	39	1266.0000			

Al realizar la prueba de separación de medias utilizando el método Tukey (Cuadro 11), se encontró que no existen diferencias entre las medias de los tratamientos.

Cuadro 11. Prueba de Tukey para el número de vainas de frijol

TUKEY AGRUPAMIENTO*	MEDIA	N	TRATAMIENTO
A	22.250	20	Frijol intercalado
A	16.750	20	Frijol monocultivo

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Si bien, de acuerdo con las pruebas estadísticas arriba mencionadas no se encontró diferencias significativas; al graficar el promedio (22.25 vainas para el sistema agroforestal y 16.75 vainas para el monocultivo) de las 20 observaciones tomadas (Ver Anexo 2), se obtiene la Figura 21.

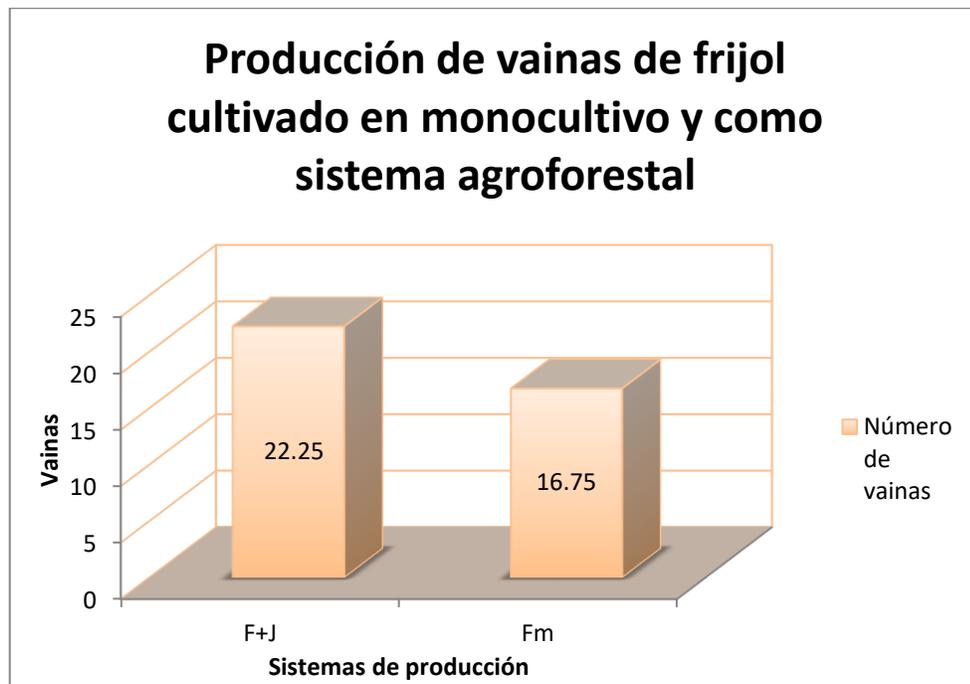


Figura 21. Producción de vainas de frijol bajo dos sistemas de producción

En la grafica anterior se aprecia que la producción de vainas por planta es mayor en el sistema agroforestal. Con base en este resultado se puede decir que se espera obtener un buen rendimiento en el cultivo de frijol asociado.

La presencia de menor número de vainas en el frijol monocultivo, se atribuye a que este sistema solo recibió una fertilización, mientras que, el agroforestal recibió dos, una para el componente leñoso y otra para el cultivo anual.

Tomando en cuenta la densidad de plantación en ambos sistemas (frijol monocultivo 71,428 plantas/ha y 50,000 plantas/ha en sistema agroforestal), resulta que en frijol monocultivo se tendrían 1, 196, 419 vainas/ha; mientras que en sistema agroforestal habría 1, 112, 500 vainas/ha; lo que nos daría una diferencia de 83,919 vainas/ha a favor del monocultivo de frijol, a pesar de que el sistema agroforestal supera al monocultivo en producción de vainas por planta.

6.1.3 Rendimiento

El análisis de varianza realizado para el rendimiento de frijol (Cuadro 12) muestra que no existen diferencias significativas entre los dos tratamientos.

Cuadro 12. Análisis de varianza del rendimiento de frijol

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	1	113.4358	113.4358	1.17	0.3590
Bloque	3	449.0559	149.6853	1.54	0.3655
Tratamiento*Bloque	3	291.3704	97.1234	11.94	<.0001
Tratamiento*Bloque* Planta	32	260.2335	8.1322	-	-
Total	39	1114.0957			

Este resultado se reafirma con la prueba de separación de medias del Cuadro 13; en el cual se aprecia que no existen diferencias entre las medias de los dos tratamientos.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para el rendimiento del frijol

TUKEY AGRUPAMIENTO*	MEDIA	N	TRATAMIENTO
A	17.027	20	Frijol intercalado
A	13.659	20	Frijol monocultivo

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Si bien no existen deferencias estadísticas significativas, la Figura 22, realizada con el peso en gramos de las 20 plantas muestreadas (Ver anexo 3), muestra una ligera diferencia de 3.38 g/planta a favor del sistema agroforestal.

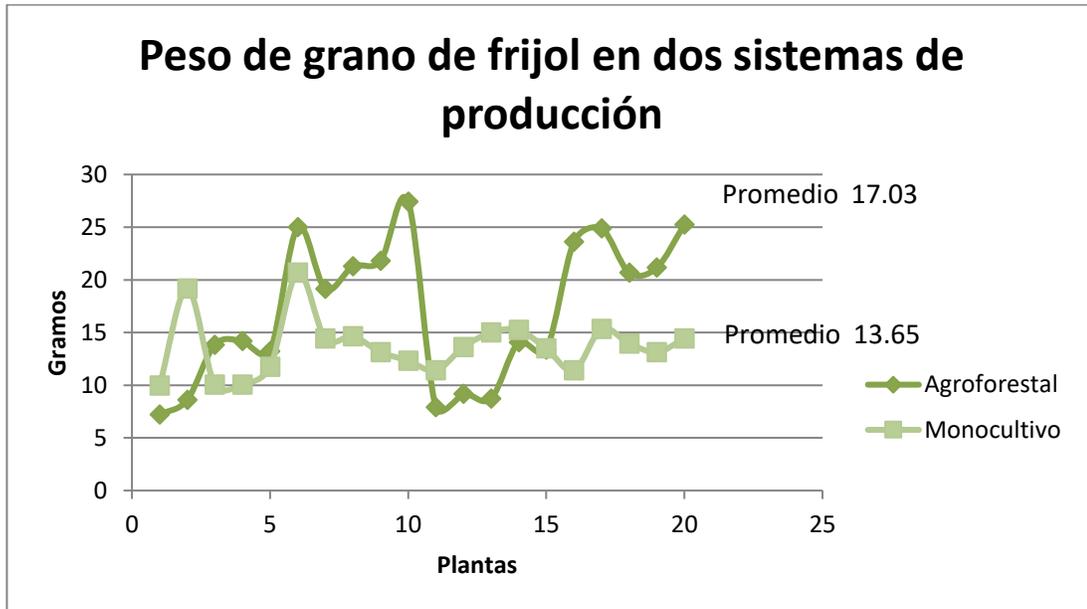


Figura 22. Peso del grano del frijol

Sin embargo, tomando en cuenta la densidad de plantación de ambos sistemas, se tendría un rendimiento (kg/ha) de 975 para el monocultivo y de 852 para el sistema agroforestal. Lo cual da una diferencia de 123 kg a favor del monocultivo de frijol. En otro escenario, si se tuviera una densidad similar en ambos sistemas; con la densidad de 50000 pl/ha, el frijol en la modalidad de cultivo en callejones mostraría un mayor rendimiento con una diferencia de 168 kg con respecto al monocultivo. Mientras que con 71428 pl/ha, la diferencia sería de 240 Kg/ha a favor del frijol asociado.

6.2 Piñón (*Jatropha Curcas* L.)

6.2.1 Crecimiento del piñón.

El Cuadro 14 muestra los valores obtenidos para la variable altura del piñón cultivado en los dos diferentes sistemas. En la Figura 23, se puede notar que el piñón alcanzo un crecimiento mayor el sistema agroforestal.

Cuadro 14. Crecimiento del piñón en monocultivo y bajo sistema agroforestal

Bloque	Observación	Altura (cm) piñón Sistema agroforestal	Altura (cm) Piñón Monocultivo
1	1	81.05	75.85
1	2	79.25	75.5
1	3	82.55	72.95
1	4	78.7	74.1
1	5	82.45	74.4
2	1	78.8	73.7
2	2	81.9	76.8
2	3	81.95	75
2	4	80.3	76.35
2	5	79.5	75.6
3	1	77.4	74.65
3	2	78.9	75.3
3	3	81.1	75.8
3	4	81.7	75.9
3	5	79.5	75.85
4	1	82	76.65
4	2	82.55	77.65
4	3	81.85	76.65
4	4	80.8	77
4	5	82.15	75.95
	Promedio	80.72	75.58

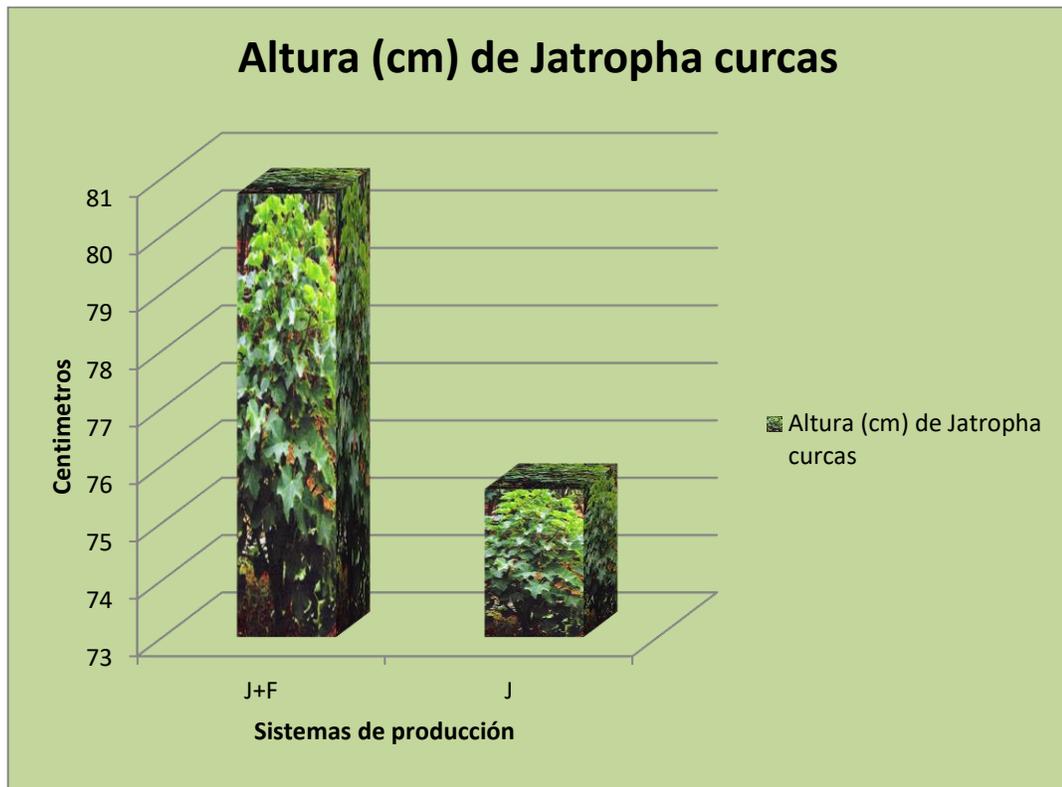


Figura 23. Comparación del crecimiento de piñón cultivado en monocultivo y bajo sistema agroforestal

El resultado de la figura anterior, se comprueba con el análisis de varianza para el crecimiento del piñón (Cuadro 15), donde se observa que existen diferencias significativas entre los dos tratamientos con respecto a la variable altura.

Cuadro 15. Análisis de varianza del crecimiento del piñón.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	1	243.5422	243.5422	67.19	0.0038
Bloque	3	25.9687	8.6562	2.39	0.2467
Tratamiento*Bloque	3	10.8747	3.6249	2.90	0.0499
Tratamiento*Bloque*Planta	32	39.9520	1.2485	-	-
Total	39	320.3377			

Por su parte la prueba de Tukey (Cuadro 16) muestra diferencias entre las medias de ambos tratamientos.

Cuadro 16. Prueba de Tukey del crecimiento de piñón

TUKEY AGRUPAMIENTO*	MEDIA	N	TRATAMIENTO
A	81.6250	20	Frijol intercalado
B	76.6900	20	Frijol monocultivo

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Este crecimiento mayor en el sistema agroforestal se atribuye a que el frijol es una planta por naturaleza fijadora de nitrógeno, lo cual facilitó la disposición en el suelo de este nutriente para el crecimiento del piñón.

Además de la relación benéfica en la asociación de piñón y frijol, este crecimiento va relacionado con el hecho que en el sistema agroforestal se fertilizo una vez al frijol y una vez al piñón, mientras que en el monocultivo solo se realizó una fertilización al piñón.

6.2.2 Contenido de clorofila

El contenido de clorofila es un indicador de la producción primaria, los datos obtenidos de esta variable en la investigación se muestran en el Anexo 4. En la Figura 24, se pueden apreciar graficados los promedios del contenido de clorofila de ambos tratamientos.

En Figura 24 se puede observar, que no existe diferencia hasta el momento entre cultivar el piñón en el sistema agroforestal o en monocultivo, aunque es importante señalar, que debido a que el piñón es un cultivo de larga duración no se pueden realizar inferencias tan fácilmente.

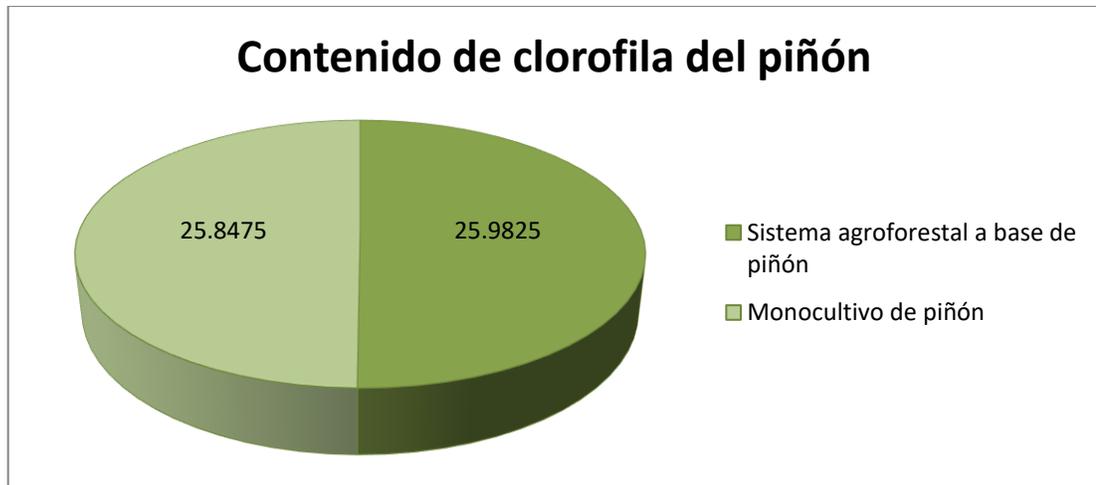


Figura 24. Comparación del contenido de clorofila de piñón cultivado en monocultivo y bajo sistema agroforestal

El análisis de varianza (Cuadro 17) comprueba lo anteriormente expuesto, al hacer notar que no existen diferencias significativas entre el contenido de clorofila del piñón de un sistema y de otro.

Cuadro 17. Análisis de varianza del contenido de clorofila del piñón

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamiento	1	0.0722	0.0722	0.04	0.8468
Bloque	3	1.0387	0.3462	0.21	0.8823
Tratamiento*Bloque	3	4.8927	1.6309	9.80	<.0001
Tratamiento*Bloque*	32	5.3240	0.1663		
Planta					
Total	39	11.3277			

La prueba de separación de medias (Cuadro 18), muestra que las medias de los dos tratamientos son iguales.

Cuadro 18. Prueba de Tukey para el contenido de clorofila del piñón

TUKEY AGRUPAMIENTO*	MEDIA	N	TRATAMIENTO
A	28.0500	20	Frijol intercalado
A	27.9650	20	Frijol monocultivo

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

CAPITULO VII. CONCLUSIONES

La producción de frijol cultivado bajo el sistema agroforestal, cultivo en callejones; fue superior en cuanto a eficiencia para absorber, transformar y asimilar los nutrientes del suelo, esto se reflejó en la mayor producción de biomasa producida en el tallo y vaina.

El sistema agroforestal tiene una mayor producción de vainas por planta, sin embargo debido a su menor densidad de plantación es superado por el monocultivo en la producción de vainas en una hectárea. Y por lo tanto en rendimiento.

En el sistema agroforestal se tiene un mayor crecimiento del piñón, debido a la interacción positiva que se crea con el frijol; por lo que el sistema agroforestal, cultivo en callejones en base al cultivo de piñón (*Jatropha curcas*), con frijol (*Phaseolus ssp*) variedad negro Nayarit se recomienda ampliamente para su establecimiento, en lugares con características similares a Tempoal de Sánchez, Ver.

En cuanto al indicador para la producción primaria (contenido de clorofila) se concluye que debido a que el piñón es un cultivo de larga duración no se puede realizar un comentario al respecto, este puede ser un tema para futuras investigaciones

A través del diseño de los sistemas agroforestales se puede contribuir a la seguridad alimentaria de los individuos, al establecer sistemas que permitan tener acceso a los alimentos indispensables para la dieta familiar. Así también, los sistemas agroforestales representan una estabilidad económica para los productores al diversificar sus fuentes de ingreso y de esta manera evitar la dependencia a un solo producto.

CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES

- Para la plantación de la especie leñosa (*Jatropha curcas*) es mejor utilizar plántulas producidas en vivero, con una edad de dos meses, ya que de lo contrario se pueden presentar problemas cuando se llevan a campo, como, un mayor estrés y su sistema radicular puede verse dañado más fácilmente, lo que repercute en un lento desarrollo; además cuando se siembra directamente la semilla en campo se pueden presentar problemas en su germinado y esta requeriría mucho esfuerzo para su cuidado.
- A fin de aprovechar la humedad residual de la temporada de lluvias la plantación del piñón (*Jatropha curcas*), se recomienda realizarla entre septiembre y octubre.
- Para evitar o reducir la incidencia de plagas y enfermedades en la planta de piñón (*Jatropha curcas*), es recomendable realice un control oportuno de plagas, evitar daños mecánicos, ya que la mayoría de las enfermedades son fácilmente transmitidas a través de implementos agrícolas y personal de campo; y evite los encharcamientos.

- Lo recomendable es tener libre de malezas una franja de 120 centímetros sobre la línea de las plantas de piñón, lo que nos permitirá tener 60 centímetros de cada lado libres de malezas para evitar competencia y favorecer el crecimiento de los arboles. Durante el primer año, es importante darle prioridad a esta actividad y posteriormente cuando tenga un desarrollo mucho mayor bastara con limpieas menos intensas.
- En este trabajo no se realizó poda al piñón, debido a que nos interesaba medir su altura. Sin embargo se recomienda realizar esta actividad hasta que el piñón tenga una altura de 80 cm, con el propósito de romper la dominancia apical, lo cual favorece la emisión de nuevos brotes, logrando la mayor ramificación posible de la planta.
- Para el caso de la siembra de frijol, este se recomienda utilizar la variedad de la zona tal como lo es el Negro Nayarit, el cual por sus características se adapta adecuadamente, además de que para su comercialización, es el de mayor consumo en la zona. La semilla se puede conseguir en tiendas especializadas.

- También para el frijol se recomienda realizar los deshierbes que sean necesarios para mantenerlo libre de maleza durante los primeros 30 a 40 días. Pero no utilizar herbicidas ya que al aplicarlo fácilmente volaría y llegaría a las plantas del piñón lo que las dañaría.

CAPITULO IX. LITERATURA CITADA

- ❖ Acosta G., J. A., M. López B., C. A. Tapia N., H. García N., y E. Ventura R. 2004. Guía para producir frijol de temporal en Querétaro. Querétaro, Qro., México. INIFAP, Campo Experimental Querétaro. (Publicación Técnica Núm. 2). 24 p.
- ❖ Arévalo V. V. P. 1999. Potencial de los huertos caseros para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 119 p.
- ❖ Arias, J.H; Jaramillo, M. y Rengifo, T. 2007. Manual: Buenas Prácticas Agrícolas, en la Producción de Frijol Voluble. FAO, Gobernación de Antioquia, Centro de Investigación “La Selva”. Primera edición. Colombia. 167pag.
- ❖ Ayala G.A.V., Schwentesius R.R., Almaguer V.G., Gómez C. M. A., Márquez B.S. 2008. Competitividad del frijol de México en el contexto de libre comercio. Imprenta universitaria de la UACH. Chapingo, Estado de México. 190p.
- ❖ Bautista R. E. 2007. Contribución al desarrollo etnobotánico del piñon (*Jatropha curcas* L.) y alternativas para la conservación de su plasma germinal. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 60 pag.

- ❖ Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2001. Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Diario Oficial de la Federación. México. 66 p.
- ❖ Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2008. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Diario Oficial de la Federación. México. 12 p.
- ❖ Cano A. L., Hernández A. C. 1984. El piñoncillo, *Jatropha curcas* recurso biótico silvestre del trópico. Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bioticos. Xalapa, Veracruz, México. 16 pag.
- ❖ Centro Estatal de Estudios Municipales. 1988. LOS MUNICIPIOS DE VERACRUZ. Colección Enciclopedia de los Municipios de México. Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave. Talleres Gráficos de la Nación. México, D.F., 523 pág.
- ❖ Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1984. Morfología de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Guía de estudio. CIAT, Cali Colombia, 49 pp.
- ❖ Espinoza V. M., Martínez A.A., Méndez L. J., Vasquez M. E. 2010. Caracterización de plagas y enfermedades relacionadas con el cultivo de *Jatropha curcas* (L.) en Sinaloa. Instituto Politecnico Nacional (IPN). Consultado en <http://www.dcb.rsip.ipn.mx/encuentro/resumenes/doctorado/quinto/Espinoza%20Verduzco%20Ma%20de%20los%20Angeles.pdf>. el 28 de junio de 2011.

- ❖ Esser J. 2005. Informe de actividades sobre el uso de biodiesel a base de *Jatropha curcas* en Belice. Fact. Seminar *Jatropha curcas* L. pp
- ❖ García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. OFFSET LARIOS S.A. México, D.F. 252 p.
- ❖ Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Presidencia de la República. 2007. Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012). Talleres de Impresión de Estampillas y Valores (TIEV) de la SHCP. México, D.F. 324p.
- ❖ Grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático (IPCC). 2007. IV Informe de evaluación del Grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático. World Meteorological Organization. UNEP. <http://www.ipcc.ch>. Consultado en junio de 2010.
- ❖ Heller J. 1996. Physic nut. *Jatropha Curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources institute, Rome, Italy. 66 p.
- ❖ Hernández V.J.D. 2011. Evaluación de *Jatropha curcas* en sistemas agroforestales para la producción de biocombustibles en el Norte de Veracruz. Tesis profesional. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 98 pag.
- ❖ Howeler R.H. 1980. Desordenes Nutricionales En Problemas de Producción de frijol: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de *Phaseolus vulgaris*. CIAT. Cali, Colombia.
- ❖ Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2004. Cadena agroindustrial-Etanol. IICA. JICA. MAGFOR. Nicaragua. 24 p.

- ❖ Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Censo de población y vivienda 2010. INEGI (<http://www.censo2010.org.mx/>) consultado el 24 de junio de 2011.
- ❖ Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Tempoal, Veracruz de Ignacio de la Llave. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. INEGI. 8 pag.
- ❖ Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. INEGI (http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx) consultado el 27 de junio de 2011.
- ❖ Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2010. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Gobierno del Estado de Veracruz. En línea <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/veracruz/municipios/30161a.htm>. Consultado el 12 de enero de 2011.
- ❖ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y Fundación Produce Nayarit (FUPRONAY). 2011. Guía para la asistencia Técnica Agrícola de Nayarit, frijol. INIFAP. Nayarit, México. 10 p.
- ❖ Kaplan L. 1956. The Cultivated Beans of the Prehistoric Southwest. <http://www.azwater.gov/Adjudications/documents/HopiContestedCaseDisclosures/Hopi%20Initial%20Disclosure/HP1221%20-%20HP1234.pdf> (20 de mayo de 2011).

- ❖ King A.J., He W., Cuevas J., Freudenberger M., Ramiamanana D., Graham I. 2009. Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60, No. 10, pp. 2897–2905

- ❖ Krishnamurthy L. Krishnamurthy K., Rajagopal I., Arroyo G. A. 2003. Introducción a la agroforestería para el desarrollo rural. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F. 105 p.

- ❖ Krishnamurthy, L. y Ávila, M. 1999. Agroforestería básica. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental No. 3. PNUMA. 340 p.

- ❖ Krishnamurthy L.; Uribe G. M. 2002. Tecnologías agroforestales para el desarrollo rural sostenible. Red de formación ambiental. México, D.F. 461 pag.

- ❖ López M.R. 2008. Potencial de producción de semilla de *jatropha curcas* en Sinaloa. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado en <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/treRebecaLM09.pdf> el 28 de junio de 2011.

- ❖ Mergier, A. M. 2007. El destino nos alcanzó... Proceso. Semanario de información y análisis No. 1580. 11 de febrero de 2007. México. 82 p.

- ❖ Nuland D.S; Schwartz, H.F. y Forster, R.L., 1983. Recognition and management of dry bean production problems. North Central regional extension publication - Michigan State University, Cooperative Extension Service. 198 p.

- ❖ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2010. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo: La inseguridad alimentaria en crisis prolongadas. FAO. Roma. 63 pag
- ❖ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. FAO. Roma, Italia. 145 p.
- ❖ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2006. Segundo informe de políticas: Seguridad alimentaria. FAO. Roma. En línea ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policybriefs/pb_02_es.pdf consultado el 27 de junio de 2011.
- ❖ Ortiz V. M. 1998. El frijol en el estado de zacatecas. Gobierno del Estado de Zacatecas. Zacatecas México. 181 pag.
- ❖ Ouwens K. D., Francis G. Y., Franken Y. J., Rijssenbeek W., Riedacker A., Foidl N. Jongschaap R. Y Bindraban P. 2007. Position paper on *Jatropha curcas*: State of the art, small and large project development. FACT Foundation. Wageningen, The Netherlands. Consultado en http://www.fact-fuels.org/media_en/Position_Paper_on_Jatropha_Curcas en septiembre de 2010.
- ❖ Porcel S. 2007. Biocombustibles: otra oportunidad para el campo. Fundación Global Agro Biodiesel. Argentina. 3p.
- ❖ Ramírez V.P y Acosta G.J.A., 1995. Factores Abioticos que Afectan la Productividad del Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.) con Énfasis en la Sequía. EN: Diversidad Genética y Patología del Frijol. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 141 pag.

- ❖ Reyes Q.C.K. 2003. Fitorremediación de un suelo contaminado con petróleo empleando *Jatropha curcas* L., una planta productora de biodiesel. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 96 pag

- ❖ Ribeiro G., W.L. 2007. Perspectivas para el biodiesel en Centroamérica: Costa Rica, el Salvador, Guatemala y Honduras. Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. 80 pag.

- ❖ Rojas, J.P. 2007. Biocombustibles: Esperanza ambiental. CEGESTI. Éxito Empresarial. No. 53:1-3

- ❖ Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. Primera Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.

- ❖ Schmook B. Y Serralta P. L. 1997. *Jatropha curcas*: distribution and uses in the Yucatan peninsula of México. In: Gubitz G. M., Mittelbach M. and Trabi M. (Eds). Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas*. Dbv-Velarg für die Technische Universität Graz. Austria. 53-57 pp.

- ❖ Solorzano V. E. 1994. El Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Apuntes para el Curso de Producción de Leguminosas de Grano. Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Estado de México. 498 pag.

- ❖ Sunder S. 2006. *Jatropha curcas* for biodiesel, organic farming and health. J.V. Publishing House. India. 98 p.

- ❖ Torres, F. 2002. Aspectos Regionales de la Seguridad Alimentaria en México. En Notas. Revista de información y análisis, No. 22. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. D.F. 15-26 pp.

- ❖ Universidad de Buenos Aires (UBA). s/f. Técnicas Energéticas 67.56 *Jatropha curcas*. Facultad de Ingeniería. En línea http://www.altanoghave.dk/jathropa/produccion_Biodiesel.pdf consultado el 6/julio de 2011.

- ❖ Zamarripa C., A.; De la Piedra C. R.; Olivera D. A.; Gómez S. D., 2008. Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L., en el trópico de México. Folleto Técnico No. 6. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 30 p.

- ❖ Zamarripa C.A. y Díaz P. G. 2008. **Áreas de potencial productivo de piñón *Jatropha Curcas* L., como especie de interés bioenergético en México. Boletín número 16. Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas. México, D.F. en línea http://www.oleaginosas.org/art_211.shtml consultado el 28 de junio de 2011.**

CAPITULO X. ANEXOS

Anexo 1. Observaciones obtenidas del peso seco del tallo, vaina y raíz del frijol.

Bloque	Observacion	Peso seco en gramos					
		Raíz (J+F)	Raíz (Fm)	Tallo (F+J)	Tallo (Fm)	Vainas (F+J)	Vainas (Fm)
1	1	1.25	1.45	5.89	4.73	7.48	7.78
1	2	1.73	1.05	9.62	5.45	14.9	6.02
1	3	0.72	0.76	7.84	4.03	4.52	6.77
1	4	2.19	0.87	10.73	4.87	18.8	8.86
1	5	1.17	0.87	6.65	4.47	21.83	6.8
2	1	1.35	1.15	5.49	6.63	8.95	9.65
2	2	1.4	0.36	4.94	2.59	3.46	7.43
2	3	1.85	1.03	7.18	5.14	17.33	5.61
2	4	0.94	1.04	6.41	3.62	3.15	7.29
2	5	1.42	0.75	7.52	6.16	12.06	6.54
3	1	1.1	1.2	7.8	5.3	8.5	5.8
3	2	1.8	1.5	8.4	5.2	12.6	7.9
3	3	0.95	1.9	11.8	6.4	6.9	10.1
3	4	1.9	1	9.6	3.7	11.2	8.8
3	5	1.3	1.6	7.1	7.1	14.8	9.4
4	1	1.7	2.1	6.3	7.2	18.4	11
4	2	1.4	1.7	8.3	5.3	13.9	8.5
4	3	1.9	1.4	9.8	6.1	16	9.7
4	4	1.3	1	5.9	5.7	9.7	8.2
4	5	1.7	1.5	7.4	3.9	16.5	7.9
Promedio		1.4535	1.2115	7.7335	5.1795	12.049	8.0025

Anexo 2. Toma de datos para la variable numero de vainas de frijol

Bloque	Observación (planta)	Número de vainas de frijol	
		Sistema agroforestal	Monocultivo
1	1	14	13
1	2	16	25
1	3	18	15
1	4	19	16
1	5	19	19
2	1	29	23
2	2	30	14
2	3	30	19
2	4	31	17
2	5	32	12
3	1	13	15
3	2	15	18
3	3	17	14
3	4	18	19
3	5	18	17
4	1	26	14
4	2	24	18
4	3	28	15
4	4	22	13
4	5	26	19
Promedio		22.25	16.75

Anexo 3. Peso de grano de frijol en dos sistemas de producción

Tratamiento	Bloque	Observación	Peso de grano (gr/planta)	
			Sistema agroforestal	Monocultivo
J+F	1	1	7.22	9.95
J+F	1	2	8.60	19.19
J+F	1	3	13.84	10.05
J+F	1	4	14.17	10.06
J+F	1	5	13.23	11.74
J+F	2	1	25.00	20.70
J+F	2	2	19.14	14.42
J+F	2	3	21.28	14.63
J+F	2	4	21.79	13.14
J+F	2	5	27.42	12.33
J+F	3	1	7.91	11.40
J+F	3	2	9.19	13.60
J+F	3	3	8.72	15.00
J+F	3	4	14.07	15.23
J+F	3	5	13.37	13.49
J+F	4	1	23.60	11.40
J+F	4	2	24.88	15.35
J+F	4	3	20.70	13.95
J+F	4	4	21.16	13.14
J+F	4	5	25.23	14.42
Promedio			17.03	13.66

Anexo 4. Contenido de clorofila del piñón

Bloque	Observación	SPAD Frijol en sistema agroforestal	SPAD Frijol en monocultivo
1	1	26.7	25.9
1	2	26.55	25.95
1	3	27.05	24.85
1	4	26.65	24.8
1	5	26.5	25.45
2	1	25.7	26.3
2	2	25.65	25.15
2	3	25.9	24.7
2	4	25.55	25.95
2	5	26	25.95
3	1	25.4	25.85
3	2	25.8	25.2
3	3	25.8	26
3	4	26	26.05
3	5	25.45	26.55
4	1	25.45	26.25
4	2	25.5	26.25
4	3	26.05	26.4
4	4	25.5	27.1
4	5	26.45	26.3
Promedio		25.9825	25.8475