



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS
Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ Y HABA**

MARIA DE LOS ANGELES VELA COYOTL

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2015



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

SUBDIRECCIÓN DE EDUCACIÓN

CAMPUE- 43-2-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **María de los Angeles Vela Coyotl**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Zenón Gerardo López Tecpoyotl**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Caracterización físico-química de biofertilizantes líquidos y su efecto en el rendimiento de Maíz y Haba**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 23 de Julio del 2015.

María de los Angeles Vela Coyotl

Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis
Zenón Gerardo López Tecpoyotl

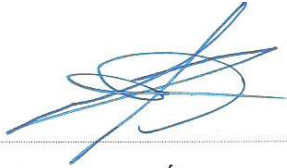
La presente tesis, titulada: **Caracterización físico-química de biofertilizantes líquidos y su efecto en el rendimiento de Maíz y Haba**, realizada por el alumna: **Maria de los Angeles Vela Coyotl**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



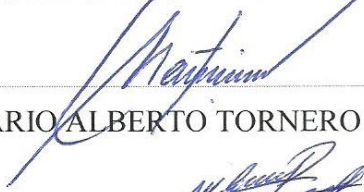
DR. ZENÓN GERARDO LÓPEZ TECPOYOTL

ASESOR:



DR. ENGELBERTO SANDOVAL CASTRO

ASESOR:



DR. MARIO ALBERTO TORNERO CAMPANTE

ASESOR:



DR. MARIO ANTONIO COBOS PERALTA

Puebla, Puebla, México, Julio del 2015

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ Y HABA

Maria de los Angeles Vela Coyotl, M.C

Colegio de Postgraduados, 2015

Las características físico-químicas de los efluentes provenientes de digestores de flujo continuo han sido con frecuencia investigadas, pero sus estudios de fertilización son escasos. Sus características dependen de una serie de factores entre los que prevalece el tipo de material a fermentar y las condiciones del proceso de digestión. Para conocer su efecto como fertilizante se caracterizaron efluentes y biogás obtenidos a partir de excreta bovina, asimismo se llevaron a cabo ensayos de campo con dos cultivos de importancia económica en la zona del Alto Atoyac de Puebla: maíz y haba. El maíz se estableció en campo, bajo condiciones de temporal, con un diseño experimental de bloques completos al azar y arreglo factorial de tratamientos, probando fertilizantes líquidos y sólidos. El cultivo de haba se estableció en invernadero, usando como medios de cultivo suelo y tezontle como sustrato, el diseño experimental fue completamente al azar. Los resultados señalan que los efluentes mostraron buenas características como fertilizante por su contenido de nutrimentos, además la concentración de metano presentó porcentajes superiores al 50%. Los tratamientos aplicados al cultivo de maíz tuvieron efecto sobre rendimiento de grano y rastrojo, los mejores correspondieron a la combinación de dosis medias de fertilizantes orgánicos y químicos. Entre los fertilizantes aplicados al suelo, el biofertilizante sólido digerido (biosol), tuvo efectos mínimos en rendimiento pero fue mejor que el testigo, sin embargo la aplicación foliar de biosol al 15% no tuvo efectos. Los tratamientos aplicados al cultivo de haba tuvieron efectos en altura y producción de materia seca de la planta, y rendimiento de grano en medio de cultivo suelo y sustrato tezontle.

Palabras clave: *Zea mays* L, *Vicia faba* L, digestión anaerobia

CHARACTERIZATION PHYSIC-CHEMICAL BIOFERTILIZERS LIQUIDS AND ITS EFFECT ON THE YIELD OF CORN AND FABA BEAN

ABSTRACT

Maria de los Angeles Vela Coyotl, M.C
Colegio de Postgraduados, 2015

The physic-chemical characteristics of effluent from continuous flow digesters have often been investigated, but their fertilization studies are scarce. Their characteristics depend on a number of factors including the prevailing type of material to ferment and the conditions of digestion. Aiming to identify its effect as fertilizer, effluents and biogas obtained from bovine excreta were characterized, at the same time field trials were out carried with two crops of economic importance in the Alto Atoyac of Puebla: maize and faba bean. Corn was established in field, under rainfed conditions with an experimental design and randomized complete block factorial arrangement of treatments, testing liquid and solid fertilizers. The faba bean crop was established in greenhouse, using as growing medium soil and tezontle as substrate, the experimental design was completely randomized. The results showed that the effluents present good characteristics as fertilizer for their nutrient content, besides methane concentration presented percentages above 50%. The treatments applied to maize had an effect on grain yield and forage, the best of them corresponded to a combination of average doses of organic and chemical fertilizers. Among the fertilizers applied to the soil, solid biofertilizer digested (biosol) had minimal effects on performance but it was better than the control however biol foliar application of 15% had no effect. The treatments applied to faba bean crop, had an effect on height and dry matter production of plant and grain yield in growing medium soil and tezontle substrate.

Keys words: *Zea mays* L, *Vicia faba* L, anaerobic digestion

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento brindado para la realización de mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Puebla, por otorgarme la oportunidad de realizar mis estudios.

A la Línea Prioritaria de Investigación (LPI-11) “Sistemas de Producción Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola y Pesquera” del Colegio de Postgraduados por su apoyo para efectuar la presente investigación.

Le agradezco al Dr. Zenón Gerardo López Tecpoyotl por su ayuda, quien leyó este documento y me indicó un sinnúmero de mejoras y formas de aclarar los conceptos para la lectura del presente informe

Al Dr. Engelberto Sandoval Castro, por ofrecerme su apoyo constante, conocimiento y consejos durante el proyecto y revisión de tesis.

Al Dr. Mario Alberto Tornero Campante, por su motivación, conocimiento y sugerencias para el desarrollo de la presente investigación.

Al Dr. Mario Antonio Cobos Peralta por su valiosa colaboración y apoyo para entender diversos aspectos durante mi formación profesional.

A los profesores del Campus Puebla, en especial a ese grupo de hombres que sin egoísmo compartieron conmigo sus conocimientos: Dr. Miguel Sánchez Hernández, Dr. Juventino Ocampo Mendoza, Dr. Antonio Turrent Fernández, Dr. José Isabel Cortez, Dr. Néstor Estrella Chulím, Dr. Javier Ramírez Juárez, Dr. Pedro Antonio López, Dr. Javier Cruz, Dr. Enrique Ortiz Torres, Dr. Benjamín Peña Olvera.

Agradezco a los productores del municipio de San Felipe Teotlalcingo: Sr. Herón Quiroz y Sra. Maribel Sánchez, por su apoyo en la realización del trabajo de campo en el cultivo de maíz. En el municipio de Huejotzingo agradezco al M.C. Sidonio Juárez por facilitar sus instalaciones del biodigestor para el muestreo y aplicación de biol en el cultivo de haba.

Al Sr. José Hernández Osorio, por sus consejos y apoyo durante mi trabajo en invernadero. A mi compañera Anay López por su apoyo y compromiso durante el trabajo campo.

A mis amigos Carmen Guadalupe, Mónica Lima, María Luisa, Heriberto, Mayra, Ana Laura, Donaji, Jorge, Orlando, Israel y Joaquín, por su ayuda en la realización de esta investigación.

A mis amigos atletas del Holbein Team, de la 2 de octubre y del Jardín Botánico.

Reciban, pues, todos ustedes mi reconocimiento, afecto y gratitud.

DEDICATORIA

A DIOS

Energía infinita por encima de toda forma y religión y más allá de toda ciencia.

A MIS PADRES

Isabel y Esteban

Por la ayuda y apoyo que en todos los aspectos siempre me han dado, a quienes amo y respeto.

A MIS HERMANOS

Gis, Gustavo y Gerardo

Por ser ejemplos dignos y hacerme feliz con su compañía en todo momento.

ÍNDICE

Índice de Cuadros	xii
Índice de Figuras y Anexos	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	3
2.1 Teoría general de sistemas	3
2.2 Agricultura	3
2.3 Agricultura industrial	4
2.4 Agricultura protegida	6
2.4.1 Invernaderos	6
2.4.2 Hidroponía y sistemas hidropónicos	7
2.5 Agroecología	8
2.5.1 Agroecosistema	9
2.6 Seguridad alimentaria	10
2.7 Innovación tecnológica	11
2.8 Abonos orgánicos	12
2.9 Biodigestor	13
2.10 Digestión anaerobia	15
2.11 Factores que influyen en la digestión anaerobia	16
2.12 Biofertilizantes producidos a partir de la digestión anaerobia	17
2.13 Biol	19
2.14 Uso de los biofertilizantes digeridos	20
2.15 El cultivo de maíz	21
2.16 El cultivo de haba	23
III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	25
IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	28
4.1 Objetivo general	28
4.1.1 Objetivos específicos	28
4.2 Hipótesis general	28
4.2.1 Hipótesis específicas	28
V. MARCO DE REFERENCIA	29
5.1 Microrregión del Alto Atoyac	29
5.2 Medio físico de San Felipe Teotlalcingo	29
5.2.1 Demografía y actividad económica	31
5.3 Medio físico de Huejotzingo	32
5.3.1 Demografía y actividad económica	32
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	34
6.1 Caracterización físico-química de biofertilizantes	34
6.1.1 Localización de los municipio de colecta de biofertilizantes	34
6.1.2 Obtención de la muestra	35
6.1.3 Análisis físico-químico de biofertilizantes líquidos	35
6.1.4 Análisis de biogás	36

6.1.5	Análisis estadístico	36
6.2	Efecto de biofertilizantes líquidos y sólidos en el cultivo de maíz	36
6.2.1	Establecimiento de la parcela experimental	36
6.2.2	Diseño experimental	37
6.2.3	Tratamientos	37
6.2.4	Preparación del terreno	38
6.2.5	Manejo del cultivo	38
6.2.6	Medición de variables	38
6.2.7	Análisis estadístico	39
6.3	Efecto de biofertilizantes líquidos en haba	39
6.3.1	Establecimiento del trabajo experimental	39
6.3.2	Medios de cultivo	39
6.3.2.1	Suelo	39
6.3.2.2	Sustrato tezontle rojo	39
6.3.3	Siembra	40
6.3.4	Solución nutritiva	40
6.3.5	Manejo del cultivo	41
6.3.6	Tratamientos en suelo	41
6.3.7	Tratamientos en sustrato tezontle	42
6.3.8	Diseño experimental	43
6.3.9	Medición de variables	43
6.3.10	Análisis estadístico	43
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
7.1	Caracterización físico-química de biofertilizantes líquidos	44
7.1.1	pH y nitrógeno amoniacal	44
7.1.2	Contenido de nutrimentos	46
7.1.2.1	Análisis de varianza	46
7.1.3	Análisis de biogás	49
7.1.3.1	Concentración de metano y dióxido de carbono	49
7.2	Efecto de biofertilizantes líquidos y sólidos en el cultivo de maíz	50
7.2.1	Factores climáticos	50
7.2.2	Análisis de varianza	52
7.2.3	Efecto de tratamientos en rendimiento de grano, rastrojo y componentes de mazorca	53
7.2.4	Efecto del factor fertilización al suelo en el rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca	54
7.2.5	Efecto del factor fertilización foliar en el rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca	57
7.3	Efecto de biofertilizantes líquidos en el cultivo de haba	58
7.3.1	Factores climáticos	58
7.3.2	Efecto de tratamientos en medio de cultivo suelo	59
7.3.2.1	Análisis de varianza	59
7.3.2.2	Altura de la planta	60
7.3.2.3	Producción de materia fresca y peso seco de hoja, tallo y raíz	61
7.3.2.4	Rendimiento y componentes del fruto de haba	63
7.3.3	Efecto de tratamientos en medio de cultivo tezontle	64

7.3.3.1 Análisis de varianza	64
7.3.3.2 Altura de la planta	65
7.3.3.3 Producción de materia fresca y peso seco de hoja, tallo y raíz	66
7.3.3.4 Rendimiento y componentes del fruto de haba	67
7.3.4 Comparación de los medios de cultivo en el rendimiento de haba	69
VIII. CONCLUSIONES	71
8.1 Conclusiones	71
IX. ESTRATEGIA PROPUESTA SOBRE UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCION AGRICOLA CON FERTILIZACIÓN ORGANO-MINERAL.	72
X. BIBLIOGRAFÍA	75

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Tratamientos aplicados al cultivo de maíz.	37
Cuadro 2. Análisis de las características físicas y químicas del agua.	40
Cuadro 3. Fertilizantes comerciales para la preparación de la solución nutritiva Steiner.	40
Cuadro 4. Riego administrado en medios de cultivo.	41
Cuadro 5. Tratamientos utilizados en suelo en el cultivo de haba.	42
Cuadro 6. Tratamientos utilizados en sustrato tezontle en el cultivo de haba.	43
Cuadro 7. Dieta principal del ganado bovino durante la época de muestreo.	44
Cuadro 8. pH y nitrógeno amoniacal (N-NH ₃) en excretas bovinas antes, durante y después de la fermentación anaerobia.	44
Cuadro 9. Cuadrados medios y significancia estadística del contenido de nutrimentos en biofertilizantes digeridos.	46
Cuadro 10. Contenido de nutrimentos en biofertilizantes digeridos.	47
Cuadro 11. Metano (CH ₄) y dióxido de carbono (CO ₂) en biogás producido a partir de la fermentación anaerobia de excretas bovinas.	49
Cuadro 12. Temperatura y precipitación mensual de los años 2011-2013.	51
Cuadro 13. Características físico-químicas del suelo de San Felipe Teotlalcingo.	51
Cuadro 14. Análisis físico-químico de abonos orgánicos aplicados al cultivo de maíz.	52
Cuadro 15. Cuadrados medios y significancia estadística obtenidos en tratamientos aplicados al cultivo de maíz.	52
Cuadro 16. Efecto de tratamientos en rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca.	53
Cuadro 17. Rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca en función del factor fertilización al suelo.	54
Cuadro 18. Rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca en función del factor fertilización foliar.	57
Cuadro 19. Temperatura y humedad durante los meses de noviembre 2013-abril 2014.	58
Cuadro 20. Cuadrados medios y significancia estadística obtenidos en tratamientos aplicados al medio de cultivo suelo.	60
Cuadro 21. Altura de haba en medio de cultivo suelo.	61
Cuadro 22. Producción de materia fresca y peso seco en medio de cultivo suelo.	62
Cuadro 23. Rendimiento de haba y características de vaina en medio de cultivo suelo.	63
Cuadro 24. Cuadrados medios y significancia estadística en tratamientos aplicados al medio de cultivo tezontle.	65
Cuadro 25. Altura de haba en medio de cultivo tezontle.	66
Cuadro 26. Producción de materia fresca y peso seco en medio de cultivo tezontle.	67
Cuadro 27. Rendimiento de haba y característica de vaina en medio de cultivo tezontle.	68
Cuadro 28. Estrategia propuesta de una alternativa de fertilización órgano-mineral.	72
Cuadro 29. Matriz de análisis FODA de fertilización.	73

Índice de Figuras y Anexos

Figura 1. Funcionamiento de un biodigestor.	14
Figura 2. Etapas en el proceso de la digestión anaerobia.	16
Figura 3. Localización del municipio de San Felipe Teotlalcingo.	30
Figura 4. Localización de los municipios para colecta de biofertilizantes.	34
Figura 5. Contenido de N, P, y K en biofertilizantes.	47
Figura 6. Temperatura promedio dentro de invernadero durante el ciclo del cultivo del haba.	59
Figura 7. Comparación de los medios de cultivo, suelo y tezontle en el rendimiento de haba en fresco y seco.	69
Anexo 1. Muestras de biol en el laboratorio de microbiología.	87
Anexo 2. Medición de longitud en mazorca de maíz.	87
Anexo 3. Plantas de haba en medio de cultivo suelo.	88
Anexo 4. Plantas de haba en medio de cultivo tezontle.	88

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe la necesidad de promover la sostenibilidad y reducir los impactos ambientales antropogénicos, por ello se ha intensificado el desarrollar e implementar métodos ambientalmente eficientes para la gestión de residuos y producción de energías alternas (Tambone *et al.*, 2010). Además el abuso de tecnologías de la agricultura intensiva ha promovido la degradación, pérdida de materia orgánica y fertilidad del suelo, generando el aumento de los costos de producción y la contribución de emisiones de CO₂, lo anterior son factores que impactan en mayor medida a los pequeños productores (EEA, 2011). En este contexto el uso de biofertilizantes tiene un papel importante en los sistemas de producción agrícola al reducir el uso de fertilizantes minerales, y promover afectos positivos en la conservación de los recursos naturales.

Los biofertilizantes son productos que contienen microorganismos que fijan nitrógeno y solubilizan fósforo, los organismos que contienen aceleran los procesos microbianos en el suelo y aumentan con ello la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (TNAU, 2010).

El uso de los efluentes provenientes de digestores de flujo continuo presenta muy buenas propiedades que le confieren característica de biofertilizantes, por su alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Estos biofertilizantes, incluyen productos sólidos y líquidos que tienen potencial como fertilizantes y en la biorremediación de suelos por lo tanto, se considera representan una buena alternativa para sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes inorgánicos (Baba *et al.*, 2013; Holm *et al.*, 2009). Los biofertilizantes ofrecen diversos beneficios económicos y ambientales a los sistemas de producción agrícola al reducir el consumo de insumos externos y reutilizar los productos internos de manera racional (Nagel y Meyer, 1999) ofreciendo con ello nuevas oportunidades de fertilización a los productores.

A pesar de sus diversas cualidades, el estudio del efluente como fertilizante orgánico es escaso y su uso agrícola permanece inexplorado (Zirkler *et al.*, 2014); aunado a ello sus características dependen de un serie de factores entre los que prevalecen la materia prima a fermentar y el proceso de digestión, por lo que existe la necesidad de evaluar el uso del efluente como fertilizantes en la agricultura (Owamah *et al.*, 2014).

El presente trabajo consistió en caracterizar los biofertilizantes líquidos y estudiar su efecto en dos cultivos de importancia agrícola y económica de la zona del Alto Atoyac Puebla, en específico para el municipio de San Felipe Teotlalcingo. El primero de ellos corresponde al cultivo de maíz (*Zea mays* L.), trabajo que se estableció en campo bajo condiciones de temporal y el segundo cultivo fue haba (*Vicia faba* L.), este último trabajo se realizó en invernadero.

En la elaboración del trabajo de tesis, este se estructuró con los siguientes apartados: Capítulo I Introducción general; Capítulo II Marco Teórico y Conceptual; Capítulo III El problema de investigación; Capítulo IV Establecimiento de los objetivos e hipótesis; Capítulo V Marco de referencia; Capítulo VI Materiales y métodos; Capítulo VII Resultados y discusión del trabajo de investigación; Capítulo VIII Conclusiones de la investigación; Capítulo IX Estrategia propuesta para el desarrollo de una fertilización alternativa; Capítulo X Bibliografía utilizada en todo el trabajo.

II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Teoría General de Sistemas

La teoría general de sistemas, a través de su enfoque holístico e integrador, se presenta como una herramienta científica que permite entender el comportamiento de los objetos dinámicos con interés de estudio.

En la actualidad, la teoría sistémica y el concepto “sistema” se aplica a muy distintos ámbitos de la actividad humana (García, 2006).

Un sistema se entiende como “un conjunto de elementos en interacción, organizados en función a un objetivo (Bertalanffy, 1976) en el cual el sistema o entidad investigada es resuelta en partes unidas. Cada una de las partes que constituye un sistema es considerada como un subsistema con características uniformes en estructura y función.

Los sistemas agrícolas son combinaciones complejas de diferentes componentes. Estos componentes tienen una serie de procesos interactivos biológicos, físicos y químicos que son manipulados por los humanos para satisfacer sus necesidades de, alimentos, fibra y energía (Wallach *et al.*, 2014). Son sistemas complejos y dinámicos, que están fuertemente influenciados por el medio rural externo (Dixon *et al.*, 2001).

El comportamiento óptimo de los sistemas de producción agrícola, depende del nivel de interacciones entre sus componentes (Miranda *et al.*, 2006). Las interacciones potenciadoras de sistemas son aquellas en las cuales los productos de un componente son utilizados en la producción de otro.

A medida que los objetos o sistemas de estudio van siendo más complejos, las interrelaciones entre ellas son más complejas y la variedad aumenta (Bertoglio, 1993). Estas afirmaciones cobran real importancia al trabajar con agroecosistemas, los cuales se caracterizan por ser altamente complejos y establecer, en su interior, relaciones estrechas entre sus componentes.

2.2 Agricultura

La mínima expresión a la que la agricultura suele reducirse se refiere a la acción de “cultivar la tierra”, sin embargo, detrás de esa acción se hallan confusos vínculos entre los medios natural,

sociocultural, económico, técnico y hasta cosmogónico. Por esta razón existen tantas definiciones como tipos y formas de hacer agricultura (Ochoa, 2006).

Para Toledo *et al.* (2002) más allá de las diversas modalidades de producción agrícola, es posible arribar a tres formas principales de uso de los recursos naturales. Estas son: el modo extractivo o cinegético, modo campesino o agrario y el agroindustrial o moderno. Siendo el modo campesino y moderno las que sobresalen en la actualidad. Estos dos tipos de agricultura no se presentan como formas puras, sino que existe una amplia gama de estados intermedios como resultado de las múltiples combinaciones entre formas campesinas o agroindustrial y por tanto cualquier tipo de agricultura puede apuntar hacia una tendencia u otra.

La agricultura debe ser considerada como un bien duradero que desempeña múltiples funciones; producir alimentos y fibras, cuidar el medio ambiente, conservar las culturas rurales, mejorar la calidad de vida de los agricultores y sus familias, y ofrecer seguridad alimentaria para los consumidores (Bové y Dufour, 2005).

Así, la complejidad de la agricultura exige un abordaje de la misma naturaleza para darle un enfoque integral, donde se destaquen los procesos y la interrelaciones más que los elementos constituyentes (Duval y Hernández, 2000). Puesto que todas las formas de hacer agricultura modifican el medio ambiente, el reto está en encontrar el equilibrio entre los costos y beneficios para la sociedad (Cadahía *et al.*, 2005).

2.3 Agricultura industrial

Paulatinamente, y en especial durante la segunda mitad del siglo XX se transformó el manejo de los espacios productivos y formas de hacer agricultura, incorporando un estilo tecnológico basado en el monocultivo, las semillas híbridas y transgénicas, la utilización masiva de insumos de origen industrial como fertilizantes químicos, plaguicidas y combustibles fósiles (González, 2007). Poco a poco se orilló a la agricultura a responder en función de una lógica económica mercantil con una fuerte componente tecnológico, integrándose cada vez más al mercado global, este proceso de transformación agrícola se debe a una política nacional enmarcada en la evolución de la internacionalización del campo (Sanderson, 1990). Según Machado (2002) a partir de 1980, el desarrollo tecnológico colocó a la agricultura en una etapa donde predomina, el conocimiento caracterizado por una creciente complejidad y una rápida obsolescencia, donde van desapareciendo las tecnologías blandas que remontan los orígenes de la agricultura.

La agricultura industrializada tiene una prevalencia de insumos ajenos al reciclaje interno de energía y materiales usados en los procesos biológicos, y busca uniformar el medio ambiente local, para estabilizar la producción, afín de controlar el riesgo y disminuir la biodiversidad (García, 2001).

La dimensión ecológica se expresa en un deterioro global de las condiciones naturales que hacen posible la vida en el planeta y que ponen en peligro el futuro como especie. Las formas de utilización de la naturaleza han ocasionado el cambio climático, la contaminación generalizada y creciente del agua, suelos y aire, la pérdida de la biodiversidad, la destrucción sistemática de los bosques, y la imparable erosión de los suelos (Garrido, 2007). En la agricultura industrial o en los sistemas agrícolas modernos los impactos ecológicos se pueden clasificar de las siguientes maneras (Reichmann, 2003):

Degradación de los suelos. Procesos como la compactación, erosión, contaminación, empobrecimiento, mineralización y desertificación de las zonas extensas afectan a más de la mitad de los suelos cultivados en el mundo (Montero y Brasa, 2005).

Sobreconsumo de combustibles fósiles y efecto invernadero. La actividad agrícola representa alrededor del 13% al 33% de las emisiones globales de gases efecto invernadero (GEI); la primera cifra se limita a emisiones directas y la segunda incluye las emisiones indirectas de GEI procedentes de insumos agrícolas, equipo, procesamiento de alimentos, transporte y cambios de uso de suelo (UNCTAD, 2010). Los principales gases de efecto invernadero asociados a la agricultura son: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Otros gases efecto invernadero incluyen el vapor de agua y compuestos basados en hidrocarburos halogenados, pero sus emisiones no consideran para ser influenciado por la agricultura (Snyder *et al.*, 2009). El sector de la producción animal es responsable del 18% de las emisiones globales de GEI, medidas en CO₂, y el 37% del metano antropogénico, que tiene 23 veces el potencial del calentamiento atmosférico del CO₂ (Steinfeld *et al.*, 2006).

Erosión de la biodiversidad silvestre y de la agrobiodiversidad. Los agricultores de dos siglos atrás cultivaban 300 especies de plantas, todas de importancia primordial. Hoy, una familia se alimenta de 30 plantas, responsables del 95% de nuestro potencial nutritivo (Ceccon, 2008). Tres de estos cultivos: trigo, arroz y maíz, aportan el 42% de los alimentos mundiales (Reichmann, 2003). Esta manera de utilizar los recursos naturales implica la simplificación de

los ecosistemas y favorece el deterioro continuo y sistemático de los recursos naturales, lo que además, afecta en contra de la biodiversidad regional a través de la homogeneización de los espacios naturales (Morales, 2011).

Contaminación de los alimentos. El 35% de los alimentos que consumimos contiene restos detectables de pesticidas, sin embargo, la mayoría de los 600 tipos utilizados en la agricultura no es detectable en los alimentos (Montagut *et al.*, 2006).

Si bien la agricultura industrializada ha logrado incrementar temporalmente los rendimientos de algunos cultivos a costa de los recursos naturales, ello no se ha reflejado en el aumento en un aumento en la calidad de vida de los habitantes del medio rural, ni ha mitigado el hambre en el mundo (González de Molina, 2004).

2.4 Agricultura protegida

La agricultura protegida es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras y cubiertas, con la finalidad de obtener productos de mejor calidad. Las estructuras más utilizadas de la agricultura protegida son: casa sombra, macrotúneles, malla anti-insectos y destacan los invernaderos, que se caracterizan por su protección frente a factores y elementos adversos a la producción de cultivos a libre exposición (Ortega *et al.*, 2014; Reséndiz *et al.*, 2011).

2.4.1 Invernaderos

Un invernadero agrícola está compuesto por marcos de estructura metálica o de madera cubiertos con un material transparente, para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas, aumentando la producción en cantidad y calidad y oportunidad comercial de varios cultivos aun fuera de temporada bajo un microclima artificial (Singh y Tiwari, 2010).

Los invernaderos están diseñados para proporcionar un control de los niveles de la radiación solar, temperatura, humedad y dióxido de carbono en el ambiente aéreo. Así las máximas respuestas de los cultivos dependen del nivel de los parámetros ambientales equilibrados (Panwar *et al.*, 2011).

En México la clasificación de los invernaderos se realiza en relación a los siguientes niveles de tecnificación:

- 1) Tecnología baja: es 100% dependiente del medio ambiente, al hacer uso de tecnologías simples similares a las utilizadas en cultivo a intemperie.
- 2) Tecnología media: son estructuras modulares o baterías que están semi-climatizadas, con riegos programados, y pueden ser en suelo o hidroponia.
- 3) Tecnología alta: incluye instalaciones con control climático automatizado, riegos computarizados y de precisión, inyecciones de CO₂, pantallas térmicas y cultivo en sustratos (López *et al.*, 2011; SAGARPA, 2009).

En México, el 70% del crecimiento de los invernaderos es de mediana y baja tecnología. Los estados que concentran el mayor número de hectáreas de cultivo en invernadero son: Sinaloa (22%), Baja California (14%), Baja California Sur (12%) y Jalisco representan el (10%), encontrándose en estos estados más del 50% de la producción total de cultivos protegidos (Reséndiz *et al.*, 2011).

2.4.2 Hidroponia y sistemas hidropónicos

Roushdi *et al.* (2012) mencionan que es necesario encontrar formas adecuadas para utilizar recursos valiosos como el agua y al mismo tiempo tener una producción alternativa de cultivos agrícolas.

El sistema de producción denominado hidroponia, es una alternativa tecnológica que presenta características importantes para atacar problemas agrícolas (Gómez y Pimentel, 2009). La hidroponia no es una técnica moderna, sino ancestral de la que se tiene conocimiento desde hace siglos, teniendo registros sobre el cultivo de plantas en agua de las civilizaciones aztecas, egipcias y chinas (Arano, 2007). Hidroponia por definición corresponde a “trabajo en agua”, pero la evolución de esta técnica también considera a cultivos que se desarrollan en un medio inerte como arena, grava, piedra, entre otros, a lo cuales se les suministra una solución nutritiva (López *et al.*, 2013). La hidroponia es una tecnología utilizada para producir cosechas donde las plantas del cultivo están en soluciones nutritivas (agua y fertilizantes) con o sin el uso de sustratos (Brenes y Jiménez, 2013). Por lo general, los sistemas hidropónicos están encerrados en estructuras tipo invernadero donde los niveles de nutrientes de la raíz y las temperaturas pueden ser controlados (Kendirli, 2006).

En hidroponia, el uso de sustratos es común, un sustrato es todo material distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor en forma pura o en

mezcla permite el desarrollo del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto un soporte para ésta y teniendo gran influencia en el crecimiento y desarrollo de la planta (Ortega *et al.*, 2010). Con lo cual se logra una relación aire-agua más favorable en el espacio radical. Para cumplir con estas funciones conviene que el sustrato sea relativamente liviano, presente cierto grado de porosidad, tamaño apropiado, ausencia de bordes cortantes y que sea químicamente inerte (Rodríguez, 2000).

De acuerdo con Steiner (1961), la solución nutritiva puede definirse como una dilución acuosa de iones inorgánicos; su composición química determina la proporción relativa de cationes y aniones, la concentración iónica y el pH presente en el medio. Las soluciones más básicas de nutrientes consideran en su composición nitrógeno, fósforo, potasio, calcio magnesio y azufre; y se complementan con micronutrientes (Trejo y Gómez, 2012). Un cultivo hidropónico permite a los agricultores controlar el suministro de nutrientes, mediante el ajuste de la concentración de la solución de nutritiva (Caruso *et al.*, 2011).

En hidroponía es necesario llevar a cabo un análisis químico de agua para ser usado en la preparación de soluciones nutritivas. Conocer el tipo y la concentración de iones permite identificar, los que sean necesarios y por lo tanto ser restados de la formulación original, además la calidad de agua puede limitar las sustancias fitotóxicas para la plantas (Tognoni *et al.*, 1998).

En hidroponía se pueden manejar dos tipos de sistemas de producción de acuerdo al camino que sigue la solución de nutrientes a lo largo del ciclo:

Sistema abierto (drenaje y desecho). La solución nutritiva no vuelve a utilizarse, solo se aplica la necesaria para las plantas y se deja que el exceso drene; escurra libremente y se pierda por infiltración en el suelo o sustrato.

Sistema cerrado (recuperación y reciclaje). La solución nutritiva circula a través del cultivo y el exceso se capta y se envía a otro depósito, para su posterior reutilización (García *et al.*, 2008).

2.5 Agroecología

La agroecología es una disciplina que se enfoca al estudio de la agricultura desde una perspectiva ecológica y proporciona un marco teórico cuyo fin es analizar los procesos agrícolas de una manera más amplia; el enfoque agroecológico considera a los agroecosistemas como las

unidades fundamentales de estudio y en estos sistemas los ciclos minerales, las transformaciones de energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas son investigados y analizados como un todo (Altieri, 2002). A la agroecología le interesa no solo la maximización de un solo componente sino la optimización de todo el agroecosistema, considerando las interacciones complejas entre cultivos, animales, suelo y personas (Altieri y Nicholls, 2000).

La agroecología conforma una dimensión de complejidad y esta se hace operativa a través de la consideración de los contextos, desde el local hasta el planetario; desde el insatisfactorio presente hasta el que representa el futuro que deseamos (Muro, 2007).

La agroecología proporciona las bases científicas para apoyar el proceso de transición a estilos de agricultura sustentable, en sus diversas manifestaciones o denominaciones: ecológica, orgánica, biodinámica, agroecológica regenerativa, de bajos insumos externos, biológica (Costabeber y Caporal, 2003).

Los principios agroecológicos tienen aplicación universal pero las formas tecnológicas mediante las cuales esos principios se tornan operativos dependen de las condiciones ambientales y socioeconómicas que prevalecen en cada sitio (Uphoff, 2002).

2.5.1 Agroecosistema

Los agroecosistemas son comunidades de plantas y animales que interactúan con sus entornos físicos y químicos que han sido modificados por las personas para producir alimentos, fibras, combustibles y otros productos para el consumo humano (Altieri y Nicholls, 2005). Los agroecosistemas son de naturaleza dinámica condicionada, tanto por sus elementos constitutivos, como por elementos del exterior con los que se relaciona, lo que propicia una constante respuesta a cambios internos y externos (Pérez, 2009).

El agroecosistema se constituye por componentes relacionados con tecnologías empleadas en su manejo, los recursos naturales, los aspectos socioeconómicos vinculados con la cultura, la costumbre y tradición de las personas que toman decisiones sobre el manejo de estos y sobre los productos agrícolas a obtener, teniendo que ver con la seguridad alimentaria de la población (Miranda *et al.*, 2007).

La sostenibilidad de los agroecosistemas también involucra cambios agroenergéticos, por lo que es necesario armonizar la relación entre la producción agrícola y el consumo de energía no renovable (Costabeber y Caporal, 2003) por ello, la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos del agroecosistema, en este sentido los biofertilizantes constituyen un componente vital de los ecosistemas sostenibles, ya que son un medio económicamente atractivo y aceptable de reducir insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de recursos internos (Alfonso *et al.*, 2005). Los biofertilizantes tienen grandes promesas para mejorar la seguridad alimentaria a través de la mejora de la producción agrícola de alimentos en países en vías de desarrollo (Owamah *et al.*, 2014).

En los centros de investigación existen métodos y tecnologías agroecológicas generadas por científicos en asociación con agricultores con base en experiencias prácticas y con alto potencial para el avance de la agricultura sustentable (Morales, 2011).

2.6 Seguridad alimentaria

Producir alimentos en el territorio de las naciones, es vital para satisfacer la demanda creciente de alimentos de la población. Al respecto Ribeiro (2005) menciona que, solamente el 10% de la producción agrícola mundial se destina al comercio internacional por lo que la mayoría de sus países producen en su territorio casi todos los alimentos que consumen. La FAO (2009a) menciona que los países en desarrollo se han convertido en importadores agrícolas debido a la mayor oferta y menores precios de los bienes agrícolas que los países desarrollados ofrecen en los mercados mundiales. Siendo los países en desarrollo cada vez más dependientes de la producción agropecuaria de los países desarrollados, dado que sus cultivos básicos como maíz y frijol, tienen niveles de producción relativamente bajos y canales de comercialización deficientes, por lo mismo quedan marginados de este mercado (Jiménez, 2008).

El incremento en los precios de los productos agrícolas y la creciente dependencia alimentaria de México, han elevado el costo de importación alimentaria en \$20 mil millones de dólares anuales, aumentando el déficit de la balanza agrícola (Turrent *et al.*, 2012).

El término de seguridad alimentaria originalmente se usó para describir si un país tenía el acceso a suficientes alimentos para satisfacer las necesidades energéticas de su dieta (Pinstrup, 2009). Sin embargo la seguridad alimentaria es una situación que se da cuando todos los individuos

poseen, en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para una vida activa y sana (FAO, 2013).

En el último medio siglo se ha visto un incremento en la producción de alimentos, lo que permite una disminución en la proporción de personas en el mundo que pasan hambre, a pesar de ello una de cada siete personas hoy en día aún no tienen acceso a la proteína y energía suficiente para cubrir sus requerimientos, sufriendo de alguna forma de malnutrición (FAO, 2009b). La seguridad alimentaria mundial es una preocupación constante, pues a pesar del incremento en la producción de alimentos, en muchos lugares el rendimiento de los cultivos ha disminuido, así como la escasez de agua ha ido en aumento; en dichos casos las innovaciones agroecológicas ofrecen cierta promesa para mejorar el rendimiento de los cultivos y, con ello, hacer un progreso sustancial en la mejora de la seguridad alimentaria (Rosegrant y Cline, 2003).

2.7 Innovación tecnológica

El término innovación etimológicamente proviene del latín *innovo*, que significa, renovar, cambiar o alterar las cosas introduciendo novedades (Wole, 2004).

La innovación es el proceso de integración de la tecnología existente, más la tecnología es el conjunto de conocimiento acumulado y sistematizado aplicado a alterar, controlar u ordenar elementos de nuestro medio físico o social (Porter *et al.*, 1991), la dinamización de este concepto conduce al término innovación tecnológica como la materialización de estos avances que se derivan de este conocimiento acumulado y que se concretan en la creación, introducción o venta y difusión de nuevos y mejores procesos, procedimientos y productos en la sociedad (Fernández, 1997). La innovación es más bien un proceso colectivo que individual (Caravaca *et al.*, 2005).

“La innovación es la generación o la recreación participativa de un conocimiento, tecnología, producto o proceso, en el marco de una gestión sostenible del conjunto del sistema productivo, mediante la revalorización de los saberes locales y la sabiduría de los pueblos indígenas originarios, el dialogo intercultural e intercientífico y la transdisciplinariedad, para garantizar la soberanía y la seguridad alimentaria, así como una mejor competitividad en los mercados locales y externos para vivir bien” (Castro, 2002).

A si los componentes de un medio innovador son un espacio territorial, los actores de este espacio, los recursos materiales e inmateriales, una lógica de interacción y una de aprendizaje (Méndez, 2001).

La innovación como el proceso tecnológico, es resultado de un complejo sistema de interacciones entre actores que producen, difunden y aplican diferentes tipos de conocimiento; los actores son: sociales, públicos, privado e institucional (Argumedo *et al.*, 2009).

Las tendencias que impulsan las relaciones entre la innovación y seguridad alimentaria dependen de elementos, como el enfoque integral sostenible del sistema productivo (agroecología), la conservación y promoción de la biodiversidad, la superioridad de la seguridad alimentaria sobre la competitividad en el mercado. Estos elementos son fundamentales en la práctica de la innovación tecnológica (Delgado y Escobar, 2009).

2.8 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y sus efectos varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero *et al.*, 2000).

Los abonos orgánicos son preparados que contienen células vivas o células latentes de cepas eficientes de microorganismos que ayudan a la absorción de nutrientes de las plantas, por sus interacciones en la rizosfera cuando se aplican a través de la semilla o del suelo, aceleran ciertos procesos microbianos del suelo que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a las plantas (Alfa *et al.*, 2014).

El uso de fertilizantes orgánicos a partir de residuos agrícolas regenera los recursos naturales y reduce el consumo de energía fósil, así como los depósitos de fósforo y potasio (Chang *et al.*, 2010). Además se considera que es una manera eficaz de aumentar el carbono orgánico del suelo, el secuestro y suministro de micronutrientes a los cultivos en comparación con el uso de fertilizantes minerales (Maltas *et al.*, 2013).

Existen varios tipos de abonos orgánicos que se utilizan en los sistemas de producción orgánica, como los abonos verdes, el bocashi, la composta, el estiércol y los biofermentados (Picado y Añasco, 2005).

Rowell *et al.* (2001) indican que el uso eficiente y adecuado en la agricultura de los abonos orgánicos procedentes de desechos orgánicos requiere más conocimientos en profundidad tanto en términos de calidad y valor de fertilizante.

Trabajos realizados por Xu *et al.* (2008), indican que la aplicación de abonos orgánicos combinados con fertilizantes químicos es una medida para mantener y mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la eficiencia del uso de fertilizante e incrementar el rendimiento de los cultivos y las cualidades del producto. Estas acciones permiten establecer la relación de insumo-producto del modelo agroecológico para el desarrollo sostenible de la agricultura y proporcionar una base científica con especificaciones técnicas (Zhao y Zhou, 2011).

2.9 Biodigestor

El biodigestor es una estructura en donde se fermentan excretas de animales e incluso del ser humano para producir un biogás combustible rico en metano y un efluente rico en nutrientes (Deublein y Steinhauser, 2010). Se trata de un sistema sencillo y de bajo costo que recicla los residuos orgánicos convirtiéndolos en energía (Rivas *et al.*, 2010).

Los digestores construidos alrededor del mundo varían en su complejidad de diseño, materiales de construcción y costos. En los digestores de flujo continuo modelo Taiwán, el flujo pasa a través de los reactores que consisten en una bolsa tubular de polietileno, tubería de PVC, y mangueras de plástico para transportar el biogás del digestor (Ferrer, 2011).

El uso de esta tecnología no es nueva, desde el siglo pasado se conocía en la India y China el uso de procesos fermentativos para producir biogás y tratar ecológicamente las excretas de animales de forma artesanal (Chao, 2007).

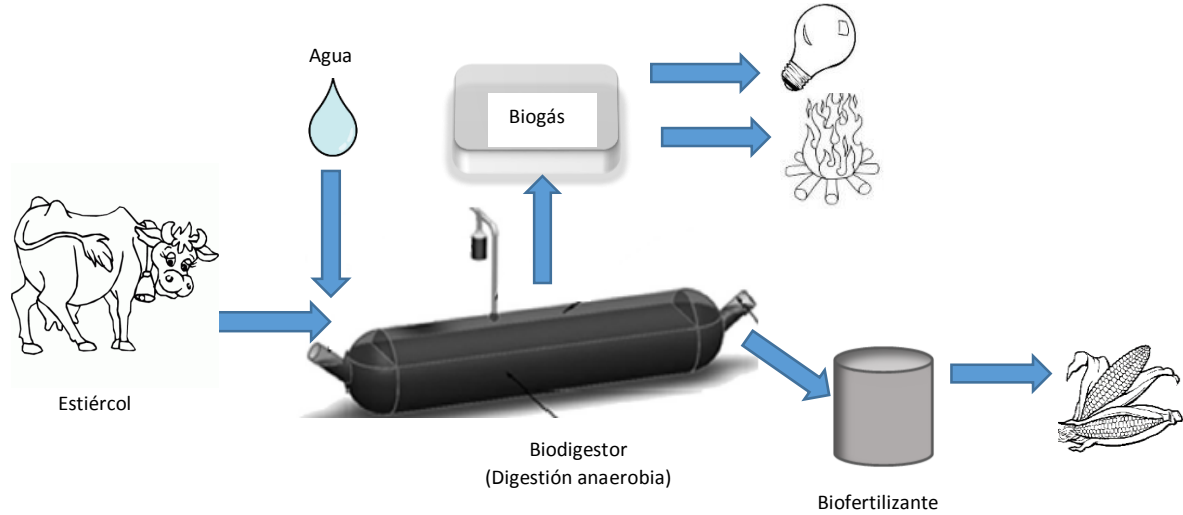


Figura 1. Funcionamiento de un biodigestor.

La producción de biogás ofrece un soporte versátil de energías renovables, pues el metano se puede utilizar en la sustitución de los combustibles fósiles como el carbón, petróleo y el gas natural para la generación de electricidad y calefacción así como combustible para vehículos (Weiland, 2010).

Esta tecnología también tiene efectos en el medio ambiente pues reduce las emisiones de gases como metano y óxido nítrico. Por lo tanto, disminuye el calentamiento global de origen antropogénico, no solo por la sustitución de combustibles fósiles por biogás, sino también por el almacenamiento de carbono en el suelo y la sustitución de fertilizantes inorgánicos (Moller *et al.*, 2009).

La composición de biogás y el rendimiento de metano depende del tipo de material de alimentación que reciba el ganado, el sistema de digestión y el tiempo de retención (Braun, 2007).

La producción de gas contiene aproximadamente 50-80% de metano (Massé *et al.*, 2011); (Erickson *et al.*, 2004), dióxido de carbono de 30-35% y trazas de nitrógeno; sulfuro de hidrogeno y vapor de agua (Cornejo y Wilkie, 2010).

Los biodigestores debido a su creciente importancia del uso sostenible de los recursos naturales en los sistemas agrícolas, hoy se aprecian por su papel en la aplicación potencial para el reciclaje de los nutrientes de los cultivos (Preston, 2005).

La aplicación de residuos, tal como un agente de fertilización que se recicla de vuelta a la tierra cultivable asegura que los cultivos reciban la mayoría de los nutrientes esenciales para su crecimiento, promoviendo el cierre de los ciclos de los nutrientes esenciales y energéticos (Arthurson, 2009).

2.10 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia de residuos animales se considera como un medio de generación de energía eléctrica y térmica (Abubakar e Ismail, 2012). Además es una reconocida tecnología holística y sostenible que contribuye a una gestión integrada de estiércol en la agricultura y la ganadería en pequeña escala (Ferrer *et al.*, 2009).

La digestión anaerobia (DA) es un proceso complejo, en el que los microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. La DA estabiliza la materia orgánica y la convierte principalmente en metano y dióxido de carbono, además de producir efluente, un fertilizante valioso y acondicionador del suelo (Provenzano *et al.*, 2014). Es un proceso que ocurre naturalmente en el tracto digestivo de los animales y debajo de las aguas estancadas o pantanos y es la responsable del ciclo del carbono en los ecosistemas (Arsova, 2010); pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente llamados digestores (Soria *et al.*, 2001).

La DA de material orgánico sigue básicamente cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Figura 2) (Appels *et al.*, 2008).

En la primera etapa las moléculas complejas como las grasas, carbohidratos y proteínas que se encuentran en solución se transforman en moléculas simples como ácidos grasos, glucosa y aminoácidos. Los componentes formados durante la hidrólisis se dividen aún más durante la acidogénesis, en el segundo paso. Los ácidos grasos volátiles se producen por bacterias acidogénicas (o fermentativas) junto con amoníaco (NH_3), CO_2 , H_2S y otros subproductos

En la tercera etapa acetogénesis, los ácidos orgánicos y alcoholes superiores producidos por acidogénesis se digieren adicionalmente por acetogenos para producir principalmente ácido acético, CO₂ y H₂.

La etapa final de la metanogénesis se produce metano por dos grupos de bacterias metanogénicas: el primer grupo usa acetato y dióxido de carbono y el segundo grupo utiliza hidrógeno como donador de electrones y dióxido de carbono como aceptor para producir metano (Deublein y Steinhauser, 2008).

A pesar de que la DA ocurre en cuatro etapas, los factores limitantes están generalmente asociados con la hidrólisis (Mills *et al.*, 2014).

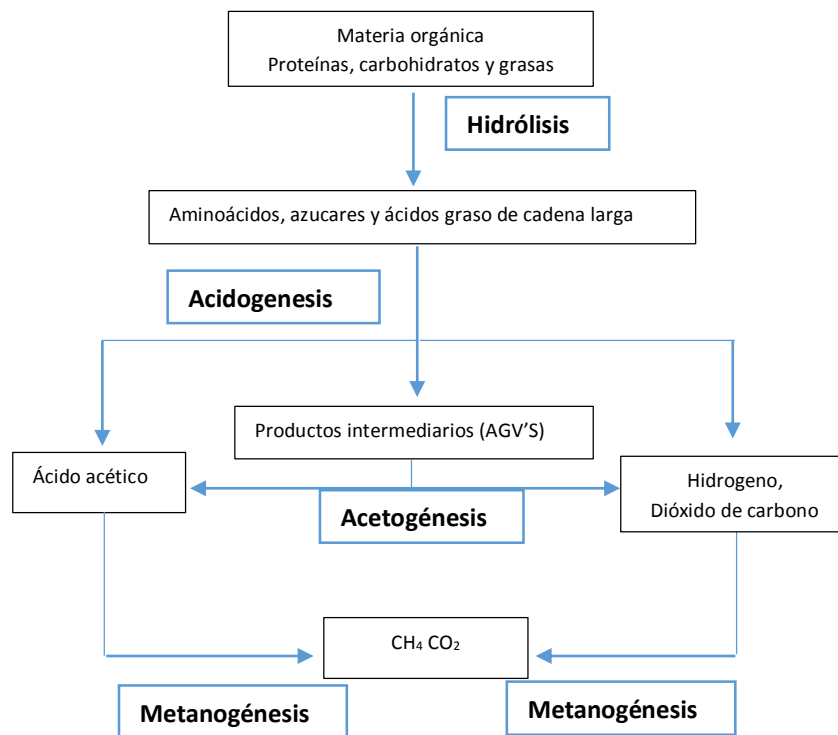


Figura 2. Etapas en el proceso de la digestión anaerobia.

2.11 Factores que influyen en la digestión anaerobia

Dentro del entorno anaeróbico, existen diversos parámetros que afectan los pasos del proceso de digestión, como el pH, la temperatura y los tiempos de retención.

pH. En cada grupo de microorganismos tiene un intervalo de pH óptimo diferente. El pH ideal para la digestión anaerobia es muy estrecha: 6.8 a 7.2 (Ward *et al.*, 2008). La tasa de crecimiento

de los metanógenos se reduce considerablemente por debajo un pH de 6.6. Aunque el pH óptimo de la metanogénesis es de alrededor de 7, el pH óptimo de la hidrólisis y la acidogénesis ha sido reportado entre pH 5.5 y 6.5. Esta es una razón importante por la que algunos autores prefieren la separación de los procesos de hidrólisis/acidogénesis, acetogénesis/metanogénesis (Kim *et al.*, 2003).

Temperatura. La temperatura tiene un efecto importante sobre las propiedades físico-químicas de los componentes que se encuentran en el sustrato de la digestión. Además influye en la tasa de crecimiento y el metabolismo de los microorganismos y por la tanto la dinámica de la población en el reactor anaerobio. Levén *et al.* (2007) mencionan que el proceso de digestión tiene lugar en condiciones mesófilas a una temperatura (45-60°C) y en condiciones termófilas a (35-42°C).

Un aumento de la temperatura tiene varios beneficios, incluyendo un aumento de la solubilidad de los compuestos orgánicos, las velocidades de reacciones biológicas y químicas mejoradas y una tasa de mortalidad cada vez mayor de agentes patógenos en condiciones termófilas. Pero también resulta una mayor concentración de amoníaco libre (Chen *et al.*, 2008).

Tiempo de retención. Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica siendo determinada por el tiempo de retención.

Bajo condiciones mesofílicas el rango es de 15 a 30 días y en condiciones termofílicas es de 12-14 días, además existen dos tiempos de retención: tiempo de retención de los sólidos (STR) y tiempo de retención hidráulico (TRH) (Monnet, 2003).

2.12 Biofertilizantes producidos a partir de la digestión anaerobia

Los biofertilizantes, son todos aquellos materiales orgánicos, naturales, productos del reciclaje biológico o preparados por el hombre, que aplicados al suelo, permiten recuperar su fertilidad o capacidad productiva y sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética (Armenta *et al.*, 2010).

Así mediante el proceso de digestión anaerobia de residuos orgánicos, además de generar biogás como energía renovable, también produce un material bruto, semilíquido con alto contenido de agua y nutrientes conocido como efluente (Bernal *et al.*, 2011), inicialmente se consideró como

un producto secundario, pero actualmente se está tratando con la misma importancia, o mayor, que el biogás, ya que provee a las familias de un fertilizante natural que incrementa el rendimiento de las cosechas y mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Potschka y Acosta, 2012).

De acuerdo a Lansing *et al.*, (2010) las propiedades físico-químicas del efluente han sido con frecuencia investigadas, sin embargo los estudios de fertilización de estos son escasos. Sus características dependen del origen y la composición de la materia prima, en el caso del ganado el estiércol, la alimentación, prácticas de gestión; y condiciones de funcionamiento del proceso de digestión (Garfí *et al.*, 2011).

Debido a los diferentes orígenes de la materia prima para la producción de biogás, el efluente contiene 5.0 a 40.0 g/kg de nitrógeno, 0.7 g/kg de fósforo y 0.4 g/kg de potasio (Lehtomäki *et al.*, 2008; Wulf *et al.*, 2002). Así la aplicación del efluente en campo podría reducir la necesidad de fertilizantes minerales, al tiempo que disminuye la volatilización de amoníaco y nitrito (Voća *et al.*, 2005).

El efluente hace referencia al material semilíquido obtenido tras la DA de residuos orgánicos, tras su separación sólido-líquido, la fracción sólida conocida como biosol representa aproximadamente al 10% del material digerido, mientras que fracción líquida es conocida como biol y representa aproximadamente el 90% (Aparcana, 2008).

El biosol es voluminoso y retiene una gran cantidad de sólidos volátiles y fósforo, de esta manera se puede utilizar como un acondicionador de suelos. Mientras que el biol es rico en nutrientes solubles como nitrógeno y potasio, el biol se utiliza generalmente en el fertirriego y como fertilizante foliar. Ambos son comercializables como biofertilizantes (Mata *et al.*, 2000; Holm *et al.*, 2009). La materia orgánica del biosol está representado en gran medida por las fibra (hemicelulosa y celulosa) y lignina que son compuestos mínimamente digeribles por bacterias y que por lo tanto podrían ser utilizado como un sustrato para el compostaje (Hartmann *et al.*, 2000).

La importancia de los biofertilizantes es proporcionar beneficios socioeconómicos y ecológicos entre los que destacan la mejora de la calidad del suelo, la calidad de los alimentos y la seguridad alimentaria, la salud humana y animal, así como la calidad ambiental (Johansen *et al.*, 2013).

2.13 Biol

La fracción líquida del efluente conocida como biol, es un producto orgánico biológicamente estable y parcialmente higiénico, pues durante el proceso de digestión se inactivan bacterias, virus, viroides, hongos y parásitos que pudiesen estar en el sustrato utilizado (Tambone *et al.*, 2009). El biol una vez salido del digestor se debe meter en un recipiente y cerrar para darle mayor tiempo de descomposición y mejorar su calidad como biofertilizante (Martí, 2008). Aunque según las condiciones y el tiempo de almacenamiento las características de los materiales y los nutrientes pueden ser afectados a través de la descomposición biológica (Moller *et al.*, 2000). Sin embargo bajo condiciones bastante estables los cambios en las características químicas son mínimas e incluso mejores en un tiempo de 3-11 meses (Paavola y Rintala, 2008).

Los biofertilizantes contienen microorganismos de los géneros: *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Penicillium*, *Shigella*, *Aspergillus* y *Bacillus*, que son capaces de fijar nitrógeno y solubilizar fósforo. A su vez estos microorganismos aceleran los procesos metabólicos microbianos en el suelo y aumentan la disponibilidad de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas (TNAU, 2010).

En esta investigación, los biofertilizantes se originan a partir de la fermentación de estiércol de bovino. Este es rico en nitrógeno, fósforo y potasio y presenta muchos microorganismos ruminales (Almansa *et al.*, 2007).

El estiércol de bovino es fácilmente disponible en áreas agrícolas. Este residuo es rico en hidratos de carbono que pueden ser degradados a través de diferentes vías metabólicas por diversos microorganismos (Lateef *et al.*, 2012). El estiércol animal es valioso para los agricultores debido a su alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes, así como su alto contenido de materia orgánica. Sin embargo, si el estiércol no se maneja adecuadamente puede ser una fuente de contaminación superficial y subterránea, puede contaminar el aire y suelo; además el olor puede atraer moscas, parásitos y patógenos zoonóticos los cuales pueden transferirse entre los humanos y otros animales (Côté *et al.*, 2006). Así mismo el estiércol por lo general pierde cerca del 50% de nitrógeno durante su manipulación y almacenamiento, la pérdida de amoníaco también contribuye a la lluvia ácida, la eutrofización de cuerpos de agua, la acidificación de los ecosistemas sensibles y la pérdida de biodiversidad

(Massé *et al.*, 2011). Por ello su uso en la producción de biogás también reduce los gases efecto invernadero liberados normalmente durante el almacenamiento.

2.14 Usos de los biofertilizantes digeridos

La aplicación del biofertilizante líquido foliar biol, en trigo de invierno aumento la longitud de la espiguilla, el número de granos, peso de las semillas y rendimiento de grano en un 9.4% al administrarse correctamente (Feng W *et al.*, 2011).

También se ha demostrado que con diferentes concentraciones de biol aplicado a las hojas del género *Capsicum*, se puede aumentar el contenido de azúcar soluble y capsaicina y mejorar las características agronómicas de los chiles teniendo el mejor resultado a una concentración del 50% (Zhao *et al.*, 2007).

Por otra parte Feng *et al.*, (2011) menciona que el uso de biofertilizantes como biol y biosol, puede sustituir parcialmente productos químicos para controlar plagas y enfermedades. Su aplicación puede controlar 23 tipos de enfermedades y 14 tipos de plagas de 13 cultivos agronómicos entre cereales, hortalizas y árboles frutales

La utilización del efluente como abono orgánico en el suelo resultó en una mayor abundancia de bacterias a largo plazo, provocando cambios en la estructura general microbiana (Börjesson *et al.*, 2012).

Mientras que la aplicación de biofertilizante líquido biol, en el cultivo de cebada bajo condiciones de invernadero, ha resultado en la obtención de rendimientos y cantidades de absorción de N, P y K similares al obtenido con fertilizantes químicos (Haraldsen *et al.*, 2011).

En el cultivo de alfalfa la aplicación del biofertilizante líquido biol al 15% aumentó significativamente la altura de la planta, número de ramas y contenido de fósforo en la materia seca de la planta, mientras que su aplicación al 10% dio el mayor rendimiento de biomasa seca y fresca (Al-Juhaimi *et al.*, 2014).

Por su parte Kováčikova *et al.* (2013) reportan que la aplicación de efluente en pastizales mostró efectos positivos en la producción de forraje, cuando los residuos de fermentación eran provenientes de plantas y estiércol.

Además Junior *et al.* (2003) mencionan que el biofertilizante líquido biol, puede ser usado como fertilizante en cultivos hidropónicos.

Con respecto a la aplicación del efluente en plantaciones del cultivo de maíz se han observado efectos sobre la raíz y sobre los microorganismos del suelo (Nakatani *et al.*, 2011). A pesar de sus múltiples beneficios, la aplicación de biofertilizante en el cultivo de maíz solo contribuye en un 40% del total de fertilizante requerido, y por ello se debe complementar con fertilizante industrial, ya que el uso exclusivo de biofertilizante ha demostrado ser insuficiente para suministrar los nutrientes necesarios para mantener la producción en el nivel óptimo (Walter *et al.*, 2011).

Estudios del efluente, biol y biosol como fertilizante en haba no se encontraron, las escasas investigaciones de los materiales digeridos han sido dirigidas a evaluar ciertos mecanismos de toxicidad de metales pesados (cobre y zinc) encontrados en el efluente sobre las raíces de haba (Marcato *et al.*, 2009).

Ajeno al uso del efluente, biol o biosol, se ha demostrado que la aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes químicos no solo mejora el crecimiento y rendimiento de planta de haba, sino que también mejora la calidad de la semilla y su valor nutritivo (Elsheikh y Elzidany, 1997).

2.15 El cultivo de maíz

México es el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), reconociendo en la actualidad 59 razas nativas cultivadas mayormente en tierras de mediana, baja calidad y marginales, a la vez es un cultivo central en la alimentación, sociedad, cultura y economía mexicana (Kato *et al.*, 2009).

México importa la tercera parte de su consumo aparente de maíz mayoritariamente de los EEUU, mientras tres millones de productores produce la mayor parte de maíz blanco que se usa para tortilla y también en otras formas de consumo pluricultural como alimento (Fernández *et al.*, 2013). En México el maíz es la base de la alimentación de la población, alrededor del 82% de los hogares incluyen tortillas en su dieta y representa del 6.4-25% del gasto total en alimento (Gil y Álvarez, 2007).

Siendo así que los productores de maíz cultivan ocho millones de hectáreas cada año, de las cuales 1.5 millones cuenta con riego, mientras que la mayoría 6.5 millones de hectáreas son de temporal (Turrent *et al.*, 2012).

Los rendimientos son desiguales en el país, por una parte el éxito en la producción del grano depende de las condiciones del temporal y por otro las prácticas y uso de tecnologías empleadas en el cultivo, entre ellas la fertilización (Etchevers, 2008). Así las unidades de producción que practican la agricultura industrial, logran rendimientos de 10 t ha⁻¹. En tierras de temporal de mayor calidad se alcanzan rendimientos de 7-8 t ha⁻¹. Las unidades de producción tradicional logran rendimientos de 2-3 t ha⁻¹ produciendo en ocasiones excedentes para el mercado local. Las unidades de producción que cultivan tierras marginales tienden a ser del tipo de subsistencia y sub-subsistencia con rendimientos menores de 1 t ha⁻¹. A pesar de los bajos rendimientos estas unidades contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria de los estratos rurales más pobres (Turrent y Serratos, 2004).

En México, el estado de Puebla ocupa el octavo lugar en superficie cosechada de maíz y 93% de esa área se cultiva en condiciones de temporal (Ángeles *et al.*, 2010). Durante los años 2011, 2012 y 2013 el rendimiento de maíz en condiciones de temporal fue de 1.03, 1.54 y 1.51 t ha⁻¹ respectivamente en el estado de Puebla. Mientras que en el municipio de San Felipe Teotlalcingo bajo condiciones de temporal, en los mismo años el rendimiento de maíz fue de 1, 1.80 y 1.5 t ha⁻¹, respectivamente y un rendimiento promedio de maíz forrajero de 30 t ha⁻¹ de 2011-2013 (SAGARPA, 2014b).

Puesto que los rendimientos de maíz son altamente susceptible a las condiciones climáticas, es necesario mitigar ciertos efectos del cambio climático sobre la productividad del maíz de temporal (Olivera, 2013).

En este sentido López (2001) menciona que la agricultura de los países en desarrollo será fuertemente afectada por el cambio climático, puesto que trae consigo la degradación ambiental y la desertificación, haciendo a la tierra menos productiva e imponiendo a las plantas una limitación nutricional e hídrica. Además estos países no disponen de recursos financieros para hacer frente a los problemas. La urgencia de reducir las emisiones de gases también impondrá límites a los tipos de agricultura intensa en el uso de recursos y será prioritario desarrollar modelos de agricultura resilientes y sustentables (Royal Society, 2009).

Ante esta situación la fertilización alternativa como el uso de estiércol combinado con el control químico de malezas ha tenido potencial para mantener o aumentar los rendimientos de grano a la mitad y biomasa en parcelas cultivadas repetidamente con milpa, específicamente para maíz (Parsons *et al.*, 2009).

2.16 El cultivo de haba

Desde la antigüedad las leguminosas han sido importantes para el hombre, entre las más sobresalientes a nivel mundial están el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el chícharo seco (*Pisum sativum* L.), el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y la haba (*Vicia faba* L.) (Nadal *et al.*, 2004).

El haba es nativa de la cuenca del cercano oriente y del mediterráneo y se cultiva desde hace 8-10 mil años A.C (Zohary y Hopf, 2000).

El haba es una planta anual o bianual, de porte erecto y con hábitos de crecimiento determinado o indeterminado, según la especie (Confalone *et al.*, 2013). *Vicia faba* es una planta modelo porque su reproducción es de dos tipos; polinización cruzada y autopolinización, lo cual hace posible su reproducción en espacios abiertos o cerrados (Suso *et al.*, 2006).

El producto de esta leguminosa puede ser consumido en grano verde (vaina), grano seco, harina, el follaje como forraje para el ganado y como abono verde (fuente de materia orgánica) para incorporarse al suelo (Vidal, 2005).

El grano de haba es conocida en el mundo como una fuente de proteínas para la alimentación humana y animal al presentar valores que van de 22-36% del contenido de proteína en grano seco (Crépon *et al.*, 2010) y 2% de grasa, según la variedad (Silva *et al.*, 2007). El cultivo de haba además ofrece diversos servicios ambientales y suministra nitrógeno al sistema a través de la fijación biológica de nitrógeno (45 a 552 kg de nitrógeno/ha) y la diversificación de los sistemas a través de rotación y asociación de cultivos (Hauggaard *et al.*, 2008).

Sin embargo, la mayoría son efectos indirectos sobre la fertilidad del suelo, la productividad y la estabilidad del sistema, así como la capacidad de recuperación de agroecosistemas enteros, efectos que rara vez se pueden atribuir exclusivamente a este cultivo (Köpke y Nemecek 2010).

La superficie cultivada del grano de haba a nivel mundial, se estimó en 2.6 millones de hectáreas en 2006, pero desde 1962 se ha producido un descenso del 56% en el área sembrada, a pesar de

ello la producción total solo disminuyó en un 20% ya que el rendimiento promedio casi se duplicó de 1 a 1.8 t ha⁻¹, durante el mismo periodo (Jensen *et al.*, 2010).

En México, el cultivo del haba ocupa el tercer lugar en producción entre las leguminosas grano (Díaz y Escalante, 2009) y es de gran importancia social y económica en los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos, Michoacán y Veracruz (Morales *et al.*, 2002). A pesar de su importancia socioeconómica, la superficie sembrada varía cada año, debido a los bajos rendimientos que responden a factores como la nula e inadecuada fertilización, susceptibilidad a una amplia gama de plagas y enfermedades fúngicas foliares y disponibilidad de agua (Stoddard *et al.*, 2010).

Así en México el rendimiento de grano de haba es bajo, siendo un cultivo de temporal que ve limitado su rendimiento (Pichardo, 2013). Para el estado de Puebla durante 2011, 2012 y 2013 el rendimientos de haba en grano bajo condiciones de temporal fueron: 0.36, 0.98 y 1.03 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2014a). Mientras que en el municipio de San Felipe Teotlalcingo la producción de haba en grano en seco es nula, a pesar de que el cultivo de haba, ocupa el segundo lugar en cuanto a la superficie total sembrada con un promedio de 60 hectáreas por año, la producción de este cultivo va dirigida a la cosecha de haba verde.

A pesar de los bajos rendimientos de haba en grano, la producción de este cultivo se caracteriza porque la actividad la realizan los pequeños productores y tiene como destino final el consumo humano y animal. El haba es un producto que debe incluirse en la dieta, debido a su composición, pues contiene un alto contenido de proteína en promedio 25% es rica en minerales como P y Fe, vitaminas del complejo B (López, 2004).

III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se espera que la demanda mundial de productos agrícolas se duplique en las próximas décadas, creando una enorme presión sobre la agricultura para producir más alimento, fibra y combustible, y los países en desarrollo tendrán gran responsabilidad (Godfray *et al.*, 2010). Si bien la agricultura industrializada ha logrado incrementar los rendimientos de algunos cultivos, también ha promovido la degradación del suelo, la disminución de la materia orgánica, el aumento de los costos de producción (para mantener la productividad), además de contribuir al aumento de las emisiones de CO₂, debido al uso inadecuado y abuso de tecnologías derivadas de la revolución verde (Armenta *et al.*, 2010; Tilman *et al.*, 2001).

Para el caso de los fertilizantes minerales, durante los últimos 40 años ha habido un aumento del 700% en su empleo a nivel mundial (Foley *et al.*, 2005), aunado a ello presentan baja eficiencia ($\leq 50\%$) para ser asimilados (Armenta *et al.*, 2010). De acuerdo con Resh (1997) y Biao *et al.*, (2003) la aplicación indiscriminada de fertilizantes químicos, sin adición de materia orgánica, altera la estructura del suelo y hace inaprovechable para las plantas el abundante suministro de mineral. Por su parte Junior *et al.* (2003) mencionan que el uso indiscriminado de los fertilizantes sintéticos, tanto en sistemas convencionales como en sistemas hidropónicos, además de causar daños al medio ambiente puede causar escasez prematura de algunos elementos esenciales para la agricultura.

De acuerdo con Zagoya (2013) en el municipio de San Felipe Teotlalcingo, en la mayor parte de la superficie de cultivo, se utilizan fertilizantes sintéticos nitrogenados.

Bajo el contexto anterior se deben encontrar formas de aumentar la producción agrícola y al mismo tiempo minimizar las consecuencias negativas sobre la diversidad, disminuyendo además el uso de insumos externos (Green *et al.*, 2005). Producir más, tal vez no es la cuestión clave. Producir de forma diferente, mediante el control de los efectos secundarios no deseables y manteniendo la resiliencia de los ecosistemas, es más urgente. En última instancia la agricultura está conformada por los mercados y las políticas que pueden influir en cada individuo como consumidor y como votante (Baudron y Giller, 2014).

En este sentido, la agroecología tiene un enfoque científico con base en los nuevos paradigmas de diseño y prácticas en los sistemas agropecuarios hacia formas de agricultura más sustentables (Morales, 2011).

Bajo esta transición la agroecología propone el aprovechamiento de recursos locales como los fertilizantes orgánicos. Los biofertilizantes, son todos aquellos materiales orgánicos, naturales, productos del reciclaje biológico o preparados por el hombre, que aplicados al suelo, permiten recuperar su fertilidad o capacidad productiva y sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética (Armenta *et al.*, 2010). Los biofertilizantes líquidos más allá de nutrir eficientemente los cultivos a través de los nutrientes de origen mineral quelatados, se convierten en un inóculo microbiano que permite restaurar el equilibrio del agroecosistema (Gómez *et al.*, 2014). Sin embargo la aplicación de biofertilizantes a los cultivos, son un complemento a la nutrición del suelo, sus características físicas, químicas y microbiológicas depende de varios factores, entre los que prevalece, el tipo de estiércol utilizado y dilución dentro del digestor (Potshka y Acosta, 2012; Svensson *et al.* 2004).

De acuerdo a la literatura las propiedades físico-químicas de los efluentes han sido con frecuencia investigadas, sin embargo, sus estudios como biofertilizantes en sus diferentes formas se encuentran en las primeras etapas y por demás son escasos (Lansing *et al.*, 2010; Zirkler *et al.*, 2014). Sus características dependen del origen y descomposición de la materia prima, en el caso de las especies de ganado el tipo de abono y la composición estiércol, temperatura de almacenamiento y condiciones de funcionamiento del proceso de digestión, entre otros elementos (Garfí *et al.*, 2011).

El desconocimiento de estas características en los biofertilizantes y su aplicación a los cultivos básicos tienen respuestas que varían considerablemente por ello su uso ha tenido efectos imperceptibles en el crecimiento y rendimiento de estos, pues la penetración de estos es menos espectacular que los fertilizantes sintéticos, esto provoca al mismo tiempo en los productores la dependencia de insumos externos y la poca valoración de tecnologías de fertilización alternativa que pueden ser usados en campo abierto y bajo condiciones de invernadero para introducir un manejo más sustentable del suelo de un sistema de producción agrícola (Cuervo, 2010). La utilización de biofertilizantes líquidos puede ser una alternativa viable, económica y sumamente de fácil obtención al utilizar productos como estiércol bovino (Capulín *et al.*, 2011). Dichos residuos son fuentes orgánicas locales y regionales que tradicionalmente se han subutilizado (Soria *et al.*, 2001).

En México la base de la alimentación es el maíz a pesar de ello, México importa entre 8 y 10 millones de toneladas al año, principalmente de los Estados Unidos. Los rendimientos guardan

gran varianza tan solo en el estado de Sinaloa se alcanza a producir 10 t ha^{-1} en condiciones de riego (Turrent *et al.*, 2012), mientras que, en el estado de Puebla el rendimiento del grano en el año 2013 fue de 1.51 t ha^{-1} bajo temporal (SAGARPA, 2014b). Los bajos rendimientos se encuentran ligados a una serie de factores como: uso limitado de fertilizantes factor clave para obtener mayor rendimiento, altos costo de producción (mano de obra), riego, entre otros elementos que deben actuar de forma integrar para potenciar su uso junto con los recursos naturales e incrementar la producción de alimentos de calidad (Cadaña *et al.*, 2005).

Por otro lado en México, el cultivo de haba presenta bajos rendimientos, en el estado de Puebla en específico bajo la modalidad de temporal se obtuvieron rendimientos de haba grano seco de 0.36, 0.98 y 1.03 t ha^{-1} durante 2011, 2012 y 2013 respectivamente (SAGARPA, 2014a). Es un cultivo de temporal que limita su producción por distintos factores ambientales (Pichardo *et al.*, 2013), por ello existe una fuerte necesidad de mejorar el rendimiento agrícola de esta leguminosa mediante nuevas alternativas de fertilización, puesto que se ha visto como un cultivo secundario.

Por lo anterior surgen las siguientes interrogantes:

¿Las características físico-químicas de los efluentes provenientes de digestores de flujo continuo tendrán los suficientes nutrimentos para considerarse como biofertilizantes en cultivos de importancia agrícola en la zona del Alto Atoyac?

¿Cuáles son las características físico-químicas de los biofertilizantes líquidos producidos a partir de la excreta bovina de vacas lecheras durante la temporada invernal?

¿En qué medida influye los factores de fertilización orgánica en el rendimiento de los cultivos respecto aplicación de fertilizantes inorgánicos?

IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1 Objetivo General

Evaluar las características de los efluentes y derivados obtenidos de excretas bovinas sometidas a digestores de flujo continuo e identificar su valor nutrimental con el fin de ser usados como biofertilizantes en la agricultura.

4.1.1 Objetivos específicos

-Determinar las características físico-químicas de los biofertilizantes líquidos y características del biogás producidos a partir de excretas de vacas lecheras.

-Evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes líquidos y sólidos en el rendimiento de maíz, así como, su aplicación combinada con fertilizantes químicos bajo condiciones de temporal.

-Determinar el efecto de la aplicación de biofertilizantes líquidos foliares en el rendimiento de haba así como su aplicación combinada con fertilizantes químicos bajo invernadero.

4.2 Hipótesis general

Las características de los efluentes y derivados provenientes de excretas bovinas sometidas a digestores de flujo continuo presentan características con valor de biofertilizante y se pueden utilizar en la agricultura.

4.2.1 Hipótesis específicas

Las características físico-químicas de los biofertilizantes líquidos y características del biogás obtenidos a partir de excretas de vacas lecheras presentan diferencias en los sitios de muestreo.

-La aplicación de biofertilizantes líquidos y sólidos tiene efectos en el rendimiento de maíz de temporal, así como, su aplicación combinada con fertilizantes minerales.

-La aplicación de biofertilizantes líquidos foliares tiene efectos en el rendimiento de haba, así como, su aplicación combinada con fertilizantes químicos bajo invernadero.

V. MARCO DE REFERENCIA

5.1 Microrregión del Alto Atoyac

En el presente trabajo los municipios de estudio se encuentran dentro de la región identificada como Alto Atoyac Puebla. Esta región se conforma por 14 municipios de los cuales; Huejotzingo, San Lorenzo Chiautzingo, San Felipe Teotlalcingo, San Salvador el Verde y Santa Rita Tlahuapan son la microrregión primordial de estudio para Línea Prioritaria de Investigación 11 (LPI-11). La microrregión se caracteriza por ser una zona donde los sistemas de mayor importancia son: maíz, haba, frijol, bajo condiciones de riego y temporal, además de flores como rosa, crisantemo, clavel, y frutales como durazno, capulín, tejocote, pera y nogal (Diagnostico regional 2011). Una MAP (Microrregión de Atención Prioritaria) es un espacio geográfico, para realizar acciones de transferencia de conocimientos y tecnologías, manteniendo una relación directa y permanente con los productores (as) y sus familias, con los técnicos (as) e instituciones del sector agrícola, con instituciones educativas, así como con investigadores y organizaciones campesinas para el mejoramiento del medio rural (CP, 2014).

La localización geográfica, demografía y actividad económica del municipio de San Felipe Teotlalcingo y Huejotzingo se describe a continuación.

5.2 Medio físico de San Felipe Teotlalcingo

San Felipe Teotlalcingo se localiza al oeste del estado de Puebla, el municipio colinda al norte con el municipio de San Salvador el Verde; al este con los municipios de San Martín Texmelucan y Chiautzingo; al sur con los municipios de Chiautzingo y San Salvador el Verde y al oeste con el municipio de San Salvador el Verde, se ubica entre los paralelos 19° 12' y 19° 16' de latitud norte y los meridianos 98° 28' y 98° 36' de longitud oeste; y una altitud de la cabecera municipal de 2,500 msnm (INEGI, 2009b) (Figura 3).

Clima. García, (1998) menciona que de acuerdo a la clasificación climática de Köppen-Geiger en el municipio de San Felipe Teotlalcingo se identifican dos tipos de clima: a) clima templado subhúmedo con lluvias en verano el cual predomina en el 72% del municipio y b) clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano que abarca el 28%. Presenta un rango de temperatura entre 6-16°C y un rango de precipitación de 900-1000 mm.

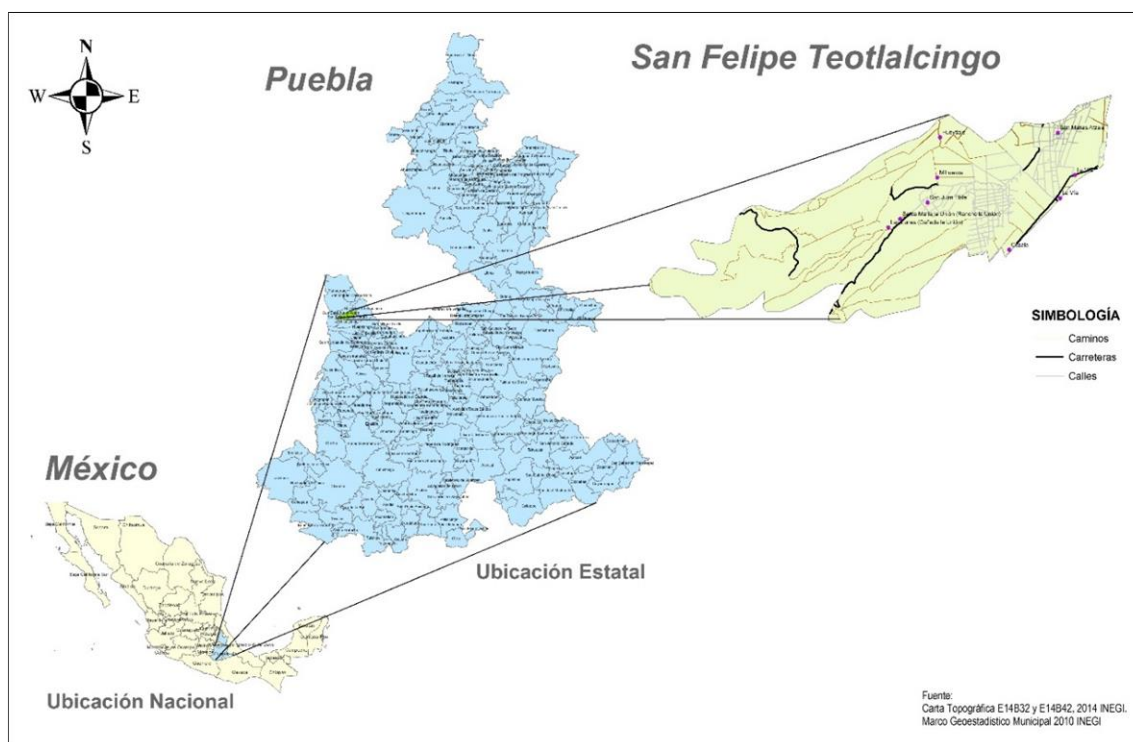


Figura 3. Localización del municipio de San Felipe Teotlalcingo.

Suelo. Existen tres grupos diferentes de suelos en San Felipe Teotlalcingo. El suelo dominante es phaeozem con el 32% de la superficie, le sigue el cambisol con el 31% y finalmente el andosol con el 28%. El primer suelo es característico de climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques, posee un color superficial pardo negro (INEGI, 2004). En México constituyen los suelo más importantes para la agricultura de temporal, sin embargo las sequias, la erosión eólica e hídrica son sus principales limitantes (SEMARNAT, 2008). Los suelos cambisoles son jóvenes, aun con características semejantes al material que les dan origen, con cambios en su estructura o consistencia debido a la intemperización. Presentan color pardo-oscuro, pardo amarillento, a veces pardo rojizo (Bojórquez *et al.*, 2006). Por su parte los suelos andosol son suelos formados de cenizas volcánicas con superficies oscuras, se localizan principalmente en el eje neovolcánico (INEGI, 2004).

Flora y fauna. El suelo como producto de la disgregación de rocas y la incorporación de materia orgánica y arcillas junto con el clima han permitido hacer de esta una región privilegiada. Entre la vegetación existente esta la flora nativa, flora agrícola y de jardín, flora arvense o mejor conocida como maleza. De esta manera se pueden encontrar frutales (ciruela, manzana, pera,

durazno), árboles forestales de pino, encino, ocote; ornamentales como rosa, gladiola geranio, alcatraz; además de cultivos básicos y hortalizas (maíz, frijol, calabaza); plantas medicinales (árnica, ajeno, ruda); plantas silvestres y hongos comestibles.

En el municipio la vida animal se encuentra formada por animales domésticos y animales silvestres, algunos de estas especies están en peligro de extinción (SEMARNAT, 2013).

5.2.1 Demografía y actividad económica

San Felipe Teotlalcingo tiene una población total 9, 426 habitantes de los cuales 4, 564 son hombres y 4, 862 mujeres, siendo cabecera municipal la que mayor población presente con más del 65%, la densidad de población es de 238.55 habitantes/km². La superficie del municipio es de 39.513 km² y cuenta con ocho localidades: San Felipe Teotlalcingo, San Juan Tlale, San Matías Atzala, Santa María la Unión, Hueytalale, Cozala, Las Lunas y Mihuaxca. (CONAPO, 2012).

En el municipio, el sector primario concentra el 72% de la población con actividades realizadas principalmente en la agricultura y ganadería, el sector secundario con actividades como la construcción y la industria manufacturera concentra el 10% y el sector terciario que incluye el comercio, los servicios y transporte tiene el 18% de la población.

Durante el año 2011 la superficie sembrada total correspondió a 2, 502 hectáreas de las cuales el maíz utilizó más del 60% con 1, 615 ha, seguido de frijol con 297, alfalfa con 70, haba verde 61, ciruela 52, gladiola (gruesa) 42, flores 33, el resto tenía menos de 30 hectáreas, con cultivos diversos de frutales, hortalizas, cereales, plantas medicinales y ornamentales (SAGARPA, 2011). Zagoya (2013) menciona que 2, 500 hectáreas de la superficie sembrada en el municipio es fertilizada, más del 75% de la superficie agrícola cuanta con algún tipo de mecanización.

La ganadería en el municipio de San Felipe Teotlalcingo está representada por ganado de traspato entre los que se encuentra el bovino, porcino, ovino, caprino, además de diferentes tipos de aves.

5.3 Medio físico de Huejotzingo

Huejotzingo se localiza en la parte centro oeste del estado de Puebla, en los paralelos 19° 06' y 19° 16' de latitud norte; los meridianos 98° 20' y 98° 38' de longitud oeste, y una altitud media de 2267 msnm. Colinda al norte con los municipios de Chiautzingo, San Martín Texmelucan y el estado de Tlaxcala; al este con el estado de Tlaxcala y los municipios de Tlaltenango y Juan C. Bonilla, al sur con los municipios de Juan C. Bonilla, San Pedro Cholula, Domingo Arenas y Calpan; al oeste con los municipios de Calpan, San Nicolás de los Ranchos, San Salvador el Verde y Chiautzingo (INEGI, 2009a).

Clima. El municipio existe una variación climática muy marcada, se identifican tres tipos: a) templado subhúmedo con lluvias en verano, b) semifrío subhúmedo con lluvias en verano, y c) clima frío. Presentando un rango de temperatura entre 2-16 °C y un rango de precipitación de 900-1100 mm (INEGI, 2005).

Suelo. Se pueden identificar seis grupos de suelo, por la superficie que presentan los más importantes son: a) regosoles, autrico y districo, ocupando parte de las faldas inferiores de la sierra nevada y una área extensa desde las estribaciones de la sierra hasta el extremo sureste, estos suelos se ubica en área de bosques pastizales y la asociación frutales maíz, b) el fluvisol eutrico ocupa la porción nororiental, y se cultivan alfalfa, maíz, algunas hortalizas y flores, c) cambisol húmico, se ubica en la parte central del municipio, y se cultiva maíz, frijol y asociación de frutales-maíz, y d) suelos litosoles se encuentran en la parte más alta del municipio, muy cercanos a la cima del volcán Iztaccíhuatl (Pérez *et al.*, 2006).

Flora y fauna. El municipio posee gran diversidad vegetal, encontrándose especies forestales como pinos y encinos (Pérez *et al.*, 2006); árboles frutales de durazno, pera, ciruela, chabacano, tejocote, capulín, manzana y nogal; y cultivos ornamentales (García, 2008). La fauna se encuentra formada por animales silvestres como el conejo de la montaña, el puma, el lince y el venado cola blanca, aunque esta fauna se encuentra en peligro de extinción.

5.3.1 Demografía y actividad económica

El municipio cuenta con una población total de 63, 457 personas, de los cuales 32, 734 son mujeres y 30, 723 son hombres. La zona urbana es la que mayor cantidad de población registra con 47, 970. La superficie del municipio es de 188.81 km². Tiene 22 localidades entre las que

destacan: Huejotzingo, Santa Ana Xalmimilulco, Santa María Nepopualco, Santa María Atexcac, San Mateo Calputitlán, San Miguel Tianguizolco, San Luis Coyotzingo, San Juan Pancoac, Los Encinos y Chahuac. (INEGI, 2010a).

En el municipio de Huejotzingo el sector primario concentra el 20% de la población, el sector secundario con actividades como la industria manufacturera el 35% y el sector terciario que incluye el comercio tiene el 45% de la población (INEGI, 2010a).

Para el año 2011 la superficie sembrada total correspondió a 5, 092 hectáreas de las cuales 3, 723 pertenecieron al grano de maíz, seguido de veza y maíz forrajero con 450 ha cada uno, frijol con 300 ha; avena forrajera 50 ha y haba verde con 35 ha, otras hortalizas y granos ocuparon 84 ha (SAGARPA, 2011).

La ganadería en el municipio se desarrolla como una actividad doméstica y de autoconsumo, donde se cría principalmente; aves de corral, ganado porcino, caprino, bovino, equino y ovino (García y Silva, 2013).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Caracterización físico-química de biofertilizantes

Los biofertilizantes líquidos fueron obtenidos de digestores de flujo continuo tipo Taiwán (Lansing *et al.*, 2008). Tanto a los biofertilizantes, como biodigestores, se identifican por el nombre de los municipios.

6.1.1 Localización de los municipios de colecta de biofertilizantes

Los biofertilizantes se obtuvieron de dos municipios; el primero de ellos corresponde a San Felipe Teotlalcingo en el predio conocido como el “Trueno” propiedad de Sr. Herón Quiroz; predio que además se utilizó para el experimento del cultivo de maíz. El segundo muestreo se realizó en el municipio de Huejotzingo en la localidad de Santa Ana Xalmimilulco en el granja “Emprende” propiedad del M.C. Sidonio Juárez, (Figura 4) (INEGI, 2010a).

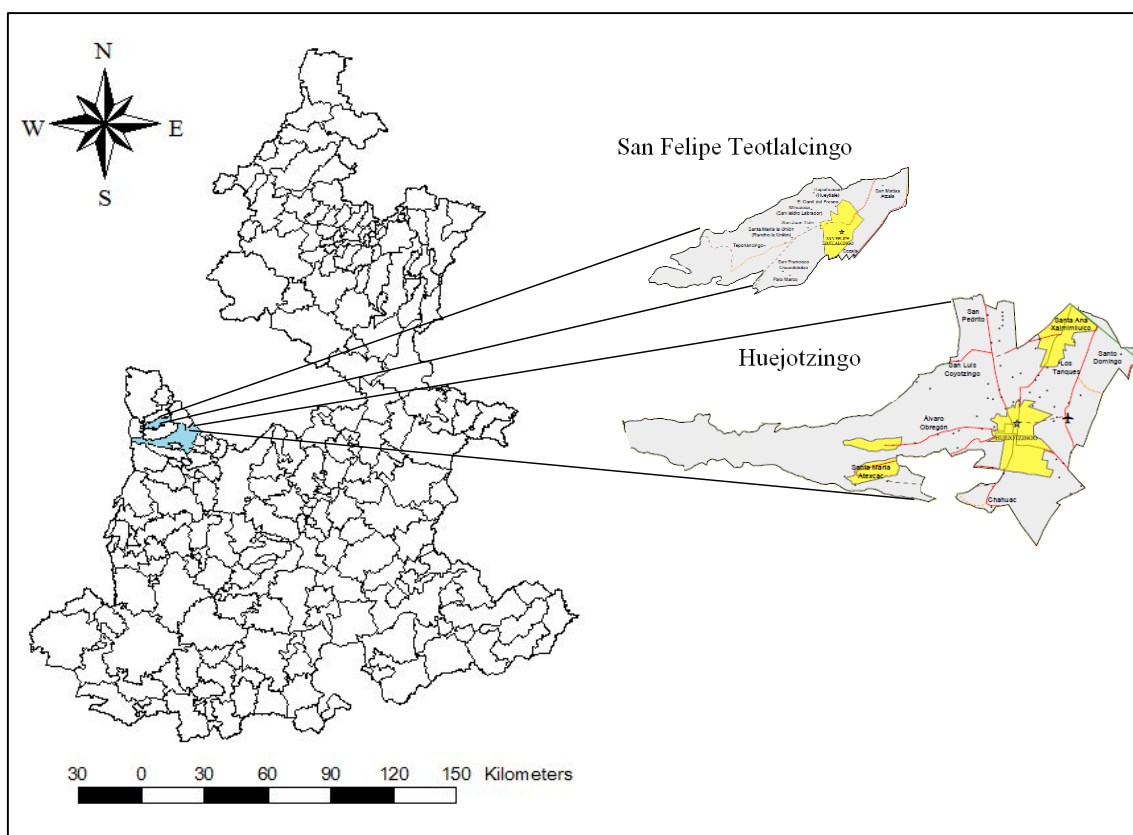


Figura 4. Localización de los municipios para colecta de biofertilizantes.

Ambos biodigestores del tipo Taiwán conocidos también en la comunidad como digestores “Biobolsa” se encuentran protegidos con un invernadero de estructura metálica y cubierta plástica, su alimentación se realiza con materia prima proveniente de estiércol de vacas lecheras en una mezcla de agua y estiércol en relación de 2:1.

El digestor de San Felipe Teotlalcingo se localiza en la parte central del patio mientras que el de Huejotzingo al lado de una pared de ladrillo.

6.1.2 Obtención de la muestra

El muestreo de los biofertilizantes en los municipios de San Felipe Teotlalcingo y Huejotzingo se realizó el día 27 de noviembre del 2013 (ciclo Otoño-Invierno), conociendo previamente la dieta principal del ganado bovino. La alimentación del ganado bovino en San Felipe Teotlalcingo se basó en el abundante consumo de forraje mediante el pastoreo además de algunos productos y subproductos agrícolas (desperdicios de cocina, residuos de cosechas y grano). En Huejotzingo los animales dependieron de los alimentos proporcionados en el corral, que se basó en forraje y concentrados comerciales.

Muestra (puro o efluente). La muestra de biofertilizante líquido se obtuvo de manera directa del material digerido del biodigestor, para ello se utilizó un envase de vidrio de 200 ml para su recolección, sellando la entrada para evitar el acceso de aire y de otros elementos ajenos que pudieran contaminar la muestra durante el transporte al laboratorio.

La muestra se obtuvo por duplicado y se identificaron con datos de: origen (Municipio), fecha, tipo de digestor y nombre del colector.

6.1.3 Análisis físico-químico de biofertilizantes líquidos

La realización de los análisis se hizo según la metodología propuesta por American Society of Agronomy, (1982) y NOM-021 RECNAT-2000, en el laboratorio de fertilidad de suelos y química ambiental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

Las variables determinadas fueron: Nitrógeno total, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Sodio, Hierro, Cobre, Zinc y Manganeseo.

La determinación de dichos elementos se hizo por su especial interés en su utilización agrícola como fertilizantes según lo sugerido por (Moller y Stinner 2009).

6.1.4 Análisis de biogás

Para conocer las características de la calidad del biogás producido en los digestores muestreados se realizaron análisis de fermentación, las variables fueron: concentración de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) por cromatografía de gases con detector de conductividad térmica. Además se realizaron análisis químicos de pH y nitrógeno amoniacal (NH₃), de las excretas bovinas antes, durante y después de la digestión anaerobia. Dichos análisis se realizaron en laboratorio de Microbiología Ruminal y Genética Microbiana del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

6.1.5 Análisis estadístico

Para las variables de N, P, K, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn el análisis estadístico se hizo bajo un diseño completamente al azar con dos repeticiones por tratamiento, y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para ello se utilizó el programa estadístico Statical Analysis System (SAS) versión 9.0. Por la dificultad de obtener de manera directa el metano del digestor solo se obtuvo una muestra por lo que no se realizó análisis estadístico.

6.2 Efecto de biofertilizantes líquidos y sólidos en el cultivo de maíz

6.2.1 Establecimiento de la parcela experimental

La parcela experimental se estableció en el municipio de San Felipe Teotlalcingo en el predio conocido como el “Trueno”, propiedad de un productor cooperante. Antes de colocar el experimento se procedió a tomar una muestra compuesta de suelo (estrato 0-30 cm de profundidad). La caracterización fisicoquímica del suelo fue realizada en laboratorio de fertilidad de suelos y química ambiental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo de acuerdo a la norma NOM-021-SEMARNAT-2000.

La parcela experimental fue de 14.5 metros de ancho por 51 metros de largo. La unidad experimental consistió en tres surcos de cinco metros de largo, con una distancia entre surcos de 80 cm y una distancia entre matas de 46 cm.

La siembra se realizó el 27 de mayo del 2013, con semilla criolla de maíz azul, y una densidad de 60,000 plantas ha⁻¹.

6.2.2 Diseño experimental

El diseño experimental estadístico fue con distribución de parcelas en bloques completos al azar (DEBA) con tres repeticiones y con arreglo factorial en tratamientos (5x3).

6.2.3 Tratamientos

En este trabajo se estudiaron dos factores, 1) Fertilización al suelo (factor A) y 2) Fertilización foliar (Factor B). El factor A, tuvo cinco niveles los cuales fueron: 1) Lombricomposta (L); 2) Biosol (Bios); 3) Fertilización Química (FQ), con formula 160-90-100 (N, P₂O₅ y K₂O); 4) ½ dosis de (LBiosFQ) y 5) un tratamiento testigo.

En el factor B se mantuvo con tres niveles que fueron: 1) Biol (Bl), 2) Ácidos húmicos (Ac), y 3) un testigo. La combinación de factores y niveles dio un total de 15 tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados al cultivo de maíz.

TRATAMIENTOS		
N°	Descripción	Identificación
1	Testigo Cero	(T0)
2	Biol	(Bl)
3	Ácidos húmicos	(Ac)
4	Lombricomposta	(L)
5	Lombricomposta+ Biol	(LBl)
6	Lombricomposta+ Ácidos húmicos	(Lac)
7	Biosol	(Bios)
8	Biosol+Biol	(BiosBl)
9	Biosol+ Ácidos Húmicos	(BiosAc)
10	Fertilización química	(FQ)
11	Fertilización química+Biol	(FQBl)
12	Fertilización química+ Ácidos húmicos	(FQAc)
13	1/2Lombricomposta Biosol Fertilización química	(½ (LbiosFQ))
14	1/2Lombricomposta Biosol Fertilización química+Biol	(½(LbiosFQ)Bl)
15	1/2Lombricomposta Biosol Fertilización química+ Ácidos húmicos	(½(LbiosFQ)Ac)

Los fertilizantes químicos fueron usados como referencia de Nitrógeno disponible. La fórmula química que se usó para el tratamiento cuatro fue: 160-90-100 (N-P₂O₅-K₂O) y las fuentes

empleadas: urea (46-00-00), cloruro potásico (00-00-60) y superfosfato triple (00-45-00). Los tratamientos químicos al suelo fueron aplicados en forma fraccionada, aplicándose todo el fósforo y potasio y la mitad de nitrógeno antes de la primera labor y el resto de nitrógeno en la segunda labor. Los fertilizantes orgánicos al suelo se aplicaron solo una vez, antes de la primera labor con una dosis de recomendación de cuatro t ha⁻¹.

La recomendación de la aplicación de fertilizantes líquidos foliares según Aparcana, (2008) es de cuatro aplicaciones en una dilución al 20% durante el ciclo del cultivo. En este trabajo se hicieron seis aplicaciones en una dilución al 15% para mejorar la eficiencia de la misma y no provocar una posible fitotoxicidad en las plantas. Dichos biofertilizantes se aplicaron en un intervalo de 10 días, mediante una bomba manual por las mañanas.

6.2.4 Preparación del terreno

La preparación del terreno para la posterior siembra se hizo utilizando maquinaria agrícola. El barbecho se realizó a una profundidad de 20-30 cm con arado de disco para después realizar el rastreo y surcado.

6.2.5 Manejo del cultivo

El experimento se condujo en condiciones de temporal durante todo el ciclo del cultivo. La siembra se realizó “a pala”, el 27 de mayo del 2013. Las labores del cultivo se efectuaron con tracción animal (yunta). El manejo se realizó de acuerdo a las prácticas tradicionales que efectúan los productores en este municipio. Se realizaron dos labores del cultivo, mismas que sirvieron para el manejo de arvense. La cosecha se realizó el cinco de diciembre del 2013.

6.2.6 Medición de variables

1. Rendimiento grano por hectárea (kg ha⁻¹).
2. Rendimiento de rastrojo (kg ha⁻¹).
3. Longitud de la mazorca (cm).
4. Peso de olote (g).
5. Factor de desgrane.
6. Porcentaje de acame (%).

6.2.7 Análisis estadístico

Los datos de todas las variables se sometieron a un análisis de varianza conforme al diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en tratamientos y a la prueba de comparación de medias con Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Para ello se utilizó el programa estadístico Statical Analysis System (SAS) versión 9.0.

6.3 Efecto de biofertilizantes líquidos en el cultivo de haba

6.3.1 Establecimiento del trabajo experimental

El trabajo se realizó en el invernadero que viene trabajando el área de Agricultura Protegida del Campus Puebla-Colegio de Postgraduados, que se encuentra en la localidad de San Agustín Calvario (19° 03' 00'' N; 98° 20' 04'' O; altitud 2164 msnm), en el municipio San Pedro Cholula (INEGI, 2010b). El invernadero rustico tipo túnel posee una estructura de metal y se encuentra cubierto con plástico de polietileno transparente de 175 μm o 700 galgas de espesor, con 30% de sombra. El control de la temperatura es mediante cortinas que se cierran manualmente. El área total utilizada para el experimento fue de 25 m².

6.3.2 Medios de cultivo

Los materiales que se usaron como medio de cultivo para conocer el efecto de los tratamientos fueron: suelo y sustrato (tezontle rojo).

6.3.2.1 Suelo

El suelo se recolecto a una profundidad de 0-30 cm de la parcela ubicada en el municipio de San Felipe Teotlalcingo. Posteriormente se procedió a cernir el suelo para homogeneizar el tamaño de las partículas y retirar los restos de material vegetal y piedras, después se secó por varios días a la sombra para finalmente realizar el llenado de 45 bolsas plásticas de color negro con capacidad de 10 kg, la disposición de las macetas en invernadero se hizo en un área de 15m².

6.3.2.2 Sustrato tezontle rojo

La desinfección del tezontle se hizo en un tambo con capacidad de 200 L, agregando agua a la mitad del recipiente y 200 ml de hipoclorito de sodio comercial (NaClO), posteriormente se llenó con arena de tezontle, y se dejó reposar por 24 horas, después se colocó el sustrato sobre

un plástico y se lavó con agua de pozo para eliminar los restos de sustancias que pudieran impedir la asimilación de elementos nutritivos de la solución. Posterior a la desinfección del tezontle, se realizó el llenado de 30 bolsas plásticas de color negro con capacidad de 10 kg, la disposición de las macetas en invernadero se hizo en un área de 10 m².

6.3.3 Siembra

La siembra se realizó el 12 de diciembre del 2013 utilizando semilla criolla de haba (*Vicia faba* L.) cultivar cochinerá, para ello se colocaron tres semillas de manera directa en bolsas plásticas de color negro, previo a la siembra se dio un riego saturado a suelo y sustrato.

6.3.4 Solución nutritiva

Las formulaciones de la solución nutritiva se hizo a partir de la Solución Universal de Steiner (Steiner, 1984), en su preparación se tomó en cuenta el análisis del agua realizado por Aparicio (2013) (Cuadro 2). Una vez que el nivel de cada uno de los iones se determinó, se añadió a la solución de nutrientes la diferencia correspondida a la cantidad a usarse. Para la preparación de las soluciones nutritivas, se emplearon fertilizantes solubles, las cantidades empleadas de cada fertilizante se hicieron para un volumen de 200 L (Cuadro 3).

Cuadro 2. Análisis de las características físicas y químicas del agua.

Parámetro	Valor MeL	Parámetro	Valor meL	Parámetro	Valor meL
Ph	7.85*	Ca	1.3	Cu	0
CE	0.79**	Mg	4.43	B	0
NO ₃ ⁻	0.08	SO ₄ ²⁻	3.0	Cloruros	1.80
NH ₄ ⁺	0.28	Fe	0	Carbonatos	0.20
H ₂ PO ₄	0.41	Mn	0.004	Bicarbonatos	2.20
K	0.077	Zn	0	Na	0

Fuente. Tornero, (2013). *= Unidades adimensionales; ** =Unidades en dSm⁻¹

Cuadro 3. Fertilizantes comerciales para la preparación de la solución nutritiva Steiner.

Fertilizante	Solución 100%
Nitrato de potasio (g): <i>KNO</i> ₃	60.4
Nitrato de calcio (g): <i>Ca(NO</i> ₃) ₂	126.6
Fosfato monopotásico (g): <i>KH</i> ₂ <i>PO</i> ₄	27.2
Sulfato de potasio (g): <i>K</i> ₂ <i>SO</i> ₄	63.2
Microelementos (ultrasol) (g)	8
Ac. Fosfórico (ml)	25

6.3.5 Manejo del cultivo

Durante el ciclo del cultivo las prácticas agrícolas realizadas fueron:

Aclareo. Se realizó 21 días después de germinación, cuando las plantas tenían aproximadamente 10 cm de altura, dejando dos plantas por maceta.

Riego. A partir de la siembra y durante dos semanas, el riego fue con agua de pozo hasta la emergencia de la plántula, después de ello se inició con la aplicación de tratamientos de riego en suelo y sustrato. La aplicación y frecuencia de los riegos se incrementó durante el ciclo del cultivo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Riego administrado en medios de cultivo.

Tezontle		Suelo	
Riego/maceta	Fechas	Riego/maceta	Fechas
200 ml (c/2 días con A.P)	Del 12-27 Diciembre	200 ml (c/3 días con A.P)	Del 12-27 Diciembre
250 ml (c/2 días)	29 Diciembre-15 Enero	200 ml (c/3 días)	29 Diciembre-31 Enero
350 ml (c/2 días)	16 Enero-27 Enero	350 ml (c/2 días)	1-15 Febrero
500 ml (c/2 días)	28 Enero-23 Febrero	500 ml (c/2 días)	16-26 Febrero
750 ml/día	24 28 Febrero	1000 ml/día	27 Febrero-16 Marzo
1000 ml/día	1-16 Marzo	1500 ml/día	17-29 Marzo-
1500 ml/día	17-29 Marzo	1250 ml/día	30 Marzo-3Abril
1250 ml/día	30 Marzo-3 Abril	1000 ml/día	4-14 de Abril
1000 ml/día	4-14 Abril		
Total/maceta ¹	67.15 L	Total/maceta	65.15 L
Agua/ha ²	2014.5 m ³	Agua/ha	1954.5 m ³

A.P=Agua de Pozo; ¹=Riego total aplicado por maceta durante todo el ciclo; ²=Riego ajustado a una hectárea.

Tutoreo. Se realizó en el tallo principal y macollos secundarios, usando hilo de rafia.

El manejo de la temperatura se hizo manualmente, dejando las cortinas abiertas del invernadero durante el día.

Para ambos medios de cultivo, la cosecha se hizo manualmente cuando los frutos alcanzaron la madurez del 15-18 de abril de 2014 (120 días después de la siembra).

6.3.6 Tratamientos en suelo

Se evaluaron dos factores: Concentración de solución nutritiva (factor A) y fertilización líquida foliar (Factor B). Para el Factor A se estudiaron tres niveles: 1) Solución nutritiva al 100%, 2) Solución nutritiva al 50% y 3) agua como tratamiento testigo.

Para el factor B, se probaron tres niveles las cuales fueron 1) Biofertilizante de San Felipe Teotlalcingo (BSF), 2) Biofertilizante de Huejotzingo (BHu) y 3) un tratamiento testigo. La combinación de factores y niveles dio un total de nueve tratamientos (Cuadro 5). Los biofertilizantes líquidos se probaron a concentración del 20%, aplicándose cinco veces en todo el ciclo del cultivo cada 15 días.

Cuadro 5. Tratamientos utilizados en suelo en el cultivo de haba.

TRATAMIENTOS		
Nº	Descripción	Identificación
1	Biol San Felipe Solución Nutritiva 100%	(BSF SN100%)
2	Biol Huejotzingo Solución Nutritiva 100%	(BHu SN100%)
3	Biol San Felipe	(BSF)
4	Biol Huejotzingo	(BHu)
5	Biol San Felipe Solución Nutritiva 50% ((BSF SN50%)
6	Biol Huejotzingo Solución Nutritiva 50%	(BHu SN50%)
7	Testigo	(T)
8	Solución Nutritiva 100%	(SN 100%)
9	Solución Nutritiva 50%	(SN 50%)

SN= Solución nutritiva, BSF=Biol San Felipe, BHu= Biol Huejotzingo.

6.3.7. Tratamientos en sustrato tezontle

Se evaluaron dos factores: Concentración de solución nutritiva (factor A) y fertilización líquida foliar (Factor B). Para el factor A se estudiaron dos niveles: 1) Solución nutritiva al 100% y 2) Solución nutritiva al 50%.

Para el factor B se probaron tres niveles que fueron: 1) Biofertilizante líquido de San Felipe Teotlalcingo (BSF), 2) Biofertilizante líquido de Huejotzingo (BHu) y 3) un tratamiento testigo.

La combinación de factores y niveles dio un total de seis tratamientos (Cuadro 6).

Los biofertilizantes líquidos se probaron a concentración del 20%, aplicándose cinco veces en todo el ciclo del cultivo cada 15 días.

Cuadro 6. Tratamientos utilizados en sustrato tezontle en el cultivo de haba.

TRATAMIENTOS		
N°	Descripción	Identificación
1	Biol San Felipe Solución Nutritiva 100%	(BSF SN100%)
2	Biol Huejotzingo Solución Nutritiva 100%	(BHu SN100%)
3	Biol San Felipe Solución Nutritiva 50%	(BSF SN50%)
4	Biol Huejotzingo Solución Nutritiva 50%	(BHu SN50%)
5	Solución Nutritiva 100%	(SN100%)
6	Solución Nutritiva 50%	(SN50%)

SN=Solución nutritiva, BSF= Biol San Felipe, BHu=Biol Huejotzingo

6.3.8 Diseño experimental

Los tratamientos de ambos medios de cultivo se distribuyeron en el invernadero bajo un diseño completamente al azar con cinco repeticiones.

De esta manera para suelo se obtuvieron 45 macetas y para tezontle 30, obteniendo un total de 75 macetas. La unidad experimental fue representada por una maceta con dos platas.

6.3.9 Medición de variables

1. *Altura de la planta* (cm). Las mediciones se hicieron a los 30, 60, 90 y 120 días después de la emergencia.
2. *Peso fresco* (g planta⁻¹). Se tomó el peso en gramos de hoja, raíz, vainas totales y de cinco vainas representativas.
3. *Peso seco* (g planta⁻¹). El secado de hoja, tallo, raíz, vainas totales y cinco vainas representativas se hizo en estufa marca Thermo scientific a una de temperatura de 60°C por 48 horas, posteriormente se procedió a pesar en balanza digital Ohaus.
4. *Longitud* de la vaina (cm).
5. *Rendimiento* (g planta⁻¹).

6.3.10 Análisis estadístico

Una vez obtenidos los datos se procedió a su ordenación por variable. Se realizó un análisis de varianza para determinar el efecto de tratamientos y comparación de medias con prueba Tukey ($\alpha \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico Statical Analysis System (SAS) versión 9.0.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Caracterización físico-química de biofertilizantes líquidos

Durante la época de muestreo otoño/invierno 2013 (noviembre), la alimentación del ganado bovino fue variada para ambos sitios, en especial para el municipio de San Felipe Teotlalcingo, pues su dieta mostro mayor diversidad de alimentos consumidos (hierbas) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Dieta principal del ganado bovino durante la época de muestreo.

Estiércol	Procedencia	Dieta de los bovinos
Vacuno	Rancho “El Trueno”. Ubicado en el municipio de San Felipe Teotlalcingo	Silo de maíz, alfalfa verde ocasional, fruta de temporada. Pastoreo controlado.
Vacuno	Rancho “Emprende”. Ubicado en municipio de Huejotzingo, localidad de Santa Ana Xalmimilulco	Silo de maíz, alfalfa verde y concentrado (alimento, salvado, maíz quebrado y pan molido).

De acuerdo a la muestra tomada de los biofertilizantes, se pudo percibir que estos no presentaron mal olor, a diferencia del estiércol fresco, y tampoco atraían moscas lo que coincide con Soria *et al.*, (2001). Se observó un color pardo-oscuro en ambos biofertilizantes, mostrando mayor intensidad la muestra de San Felipe Teotlalcingo que la de Huejotzingo. Además en el efluente se notaron partículas finas, homogéneas y relativamente estables de materia orgánica que corresponden a la fracción solida según Huerga *et al.* (2014).

7.1.1 pH y nitrógeno amoniacal

Los resultados del análisis físico-químico de los biofertilizantes para las variables de pH y (N-NH₃) presentan diferencias en los sitios de muestreo (Cuadro 8).

Cuadro 8. pH y nitrógeno amoniacal (N-NH₃) en excretas bovinas antes, durante y después de la fermentación anaerobia.

Tratamiento /Biodigestor	Excreta (Antes)		Efluente (Durante)		Biol (Después)	
	Ph	N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)	pH	N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)	pH	N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)
San Felipe Teotlalcingo	8.68	1.84	6.93	9.15	8.99	120.06
Huejotzingo	8.12	19.93	7.37	38.07	7.80	40.26

El pH para la excreta, efluente y biol para ambos sitios muestreados estuvo entre 6.93 y 8.99 habiendo diferencias significativas entre ellos. Al mismo tiempo el sitio muestreado de Huejotzingo presenta un rango de pH en los tres estados de muestreo de 0.32 mientras que el de San Felipe Teotlalcingo fue de 2.06. Resultados similares fueron obtenidos al realizar muestreos

consecutivos de biol fresco en San Felipe Teotlalcingo y encontrar valores de pH entre 7-8, sugiriendo su uso en diversos cultivos (De la Rosa, 2012).

En los pasos excreta-efluente se puede observar en ambos casos una reducción en el pH, esto concuerda con resultados de Pedraza *et al.*, (2002); Nielsen y Angelidaki, (2008) quienes explican que la disminución se debe a que durante el proceso de digestión se da la producción y acumulación de ácidos grasos (AGV), siendo estos un intermediario clave en el proceso. Dewil *et al.* (2006a) mencionan que el aumento en la producción de AGV son el resultado de la variación de temperatura, sobrecarga orgánica, compuestos tóxicos, entre otros factores. Sin embargo esta reducción puede ser contrarrestada por la actividad de las arqueobacterias metanogénicas, que usan el H^+ y el CO_2 para formar el gas CH_4 (Hwang *et al.*, 2004).

En los biodigestores muestreados el pH en el efluente de San Felipe Teotlalcingo es de 6.93 y el de Huejotzingo de 6.37, ambos se encuentran en el pH óptimo que va de 6.4 hasta 7.6, para biodigestores de flujo continuo para la producción de gas metano. Con un óptimo de por encima de 7 (Lansing *et al.*, 2008).

De acuerdo a Bernal *et al.*, (2011), la mayoría de los biofertilizantes digeridos se caracterizan por presentar valores de pH ligeramente alcalinos (>7.5), la tendencia en la evolución de pH durante la DA y tras su almacenamiento es un aumento a la degradación de los ácidos orgánicos y a la producción de amoníaco, lo que pudo ocurrir con el valor de biol.

El nitrógeno amoniacal presentado en los tres estados de muestreo para ambos biodigestores estuvo en una concentración de 1.84 a 120.06 mg dL^{-1} . En cuanto al (N-NH₃) muestreado en los estados de excreta y efluente este siempre fue superior en el municipio de Huejotzingo. Elizondo (2006), explica que la cantidad de nitrógeno excretado dependerá del consumo de materia seca, la concentración de materia proteica y la digestibilidad de la dieta, por ello animales alimentados con mayor contenido de proteína tendrán mayor concentración de nitrógeno en heces y orina.

El estado final el biol de San Felipe Teotlalcingo mostró mayor concentración de (N-NH₃), hecho que se atribuyó a la adición de orines de vaca al biofertilizante líquido. Tamminga (1992), menciona que la urea es excretada a través de la orina en bovinos, así la adición de urea en el efluente conduce a aumentos inmediatos de amoníaco (Sterling *et al.*, 2001).

Aunque existió una gran diferencia entre la concentración de nitrógeno amoniacal para ambos digestores, todas ellas estuvieron por debajo de 200 mg dL⁻¹. Este comportamiento es benéfico para la digestión anaerobia porque el nitrógeno es un nutriente esencial para los microorganismos (Lui y Sung 2002), cantidades de 560-568 mg L⁻¹ de N-NH₃ pueden causar la inhibición del 50% de la metanogénesis a pH de 7.6, en condiciones termofílicas (Sung y Lui, 2003).

7.1.2 Contenido de nutrimentos

7.1.2.1 Análisis de varianza

Los cuadrados medios y la significancia estadística de los valores de F para cada variable se muestran en el Cuadro (9); los efectos del contenido de potasio (K) fueron altamente significativos, mientras que, para los elementos Sodio (Na) y Hierro (Fe) se presentaron diferencias significativas. Los resultados para el resto de los elementos nutrimentales no mostraron significancia.

Cuadro 9. Cuadrados medios y significancia estadística del contenido de nutrimentos en biofertilizantes digeridos.

F.V	G.L	Variables									
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
Trat	1	17107.4	3745407.3	336629.3	15067.5	1940.4	36983.1	940.9	0.035	0.08	6.7
		ns	ns	**	ns	ns	**	*	ns	ns	ns
Error	2	2383.4	209819.2	729.0	7706.3	368.3	18.2	17.7	0.004	0.03	1.1
	Media	736.0	2225.6	807.0	541.8	211.6	120.5	52.3	0.4	2.1	4.8
	CV %	7	21	3	16	9	3	8	16	8	23

F.V.=Factor de variación; *, ** Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns=no significativo; G.L= Grados de libertad; CV=Coeficiente de variación; Trat= tratamientos.

Los resultados en la prueba de comparación de medias muestran que el efluente proveniente del municipio de Huejotzingo presento mayores valores, en el contenido de nutrimentos como nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, sodio y fierro (Cuadro 10). Resultados que pueden ser debido al tipo de dieta recibida por los animales.

Cuadro 10. Contenido de nutrimentos en biofertilizantes digeridos.

Tratamiento	Nutrimentos (mg L ⁻¹)									
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
San Felipe Teotlalcingo	670.6a	3193.3a	516.9b	480.5a	189.5a	24.3b	36.9b	0.5a	2.3a	6.1a
Huejotzingo	801.4a	1257.9a	1097.1a	603.2a	233.6a	216.6a	67.6a	0.3a	2.0a	3.5a
DHS	210.0	1970.9	116.1	377.7	82.5	18.3	18.1	0.2	0.7	4.6

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

DSH= Diferencia significativa honesta.

Así mismo ambos efluentes se caracterizaron por mostrar mayor contenido de N, P y K con respecto a los demás nutrimentos. Según Rowell *et al.* (2001) esta condición le ofrece un valor potencial como fertilizante debido a la cantidad concentrada de estos elementos y a sus formas ya dadas, para nitrógeno ($>350 \text{ mg L}^{-1}$), fósforo ($>10 \text{ mg L}^{-1}$) y potasio ($> 740 \text{ mg L}^{-1}$) (Romero *et al.*, 2013). Los valores altos de N, P, y K se deben a la mineralización de la materia orgánica y la condición anaerobia en la que se lleva a cabo la digestión por lo que se da mayor preservación y concentración de estos nutrientes (Pognani *et al.*, 2009).

La concentración de nitrógeno fue menor con respecto a fósforo en los sitios de muestreo (Figura 5), a pesar de que los residuos animales a menudo tienen concentraciones muy altas de nitrógeno orgánico, así como proteínas y urea (Hansen *et al.*, 1998); sin embargo, estas se liberan fácilmente en amoníaco durante la digestión anaerobia (Grimsby *et al.*, 2013).

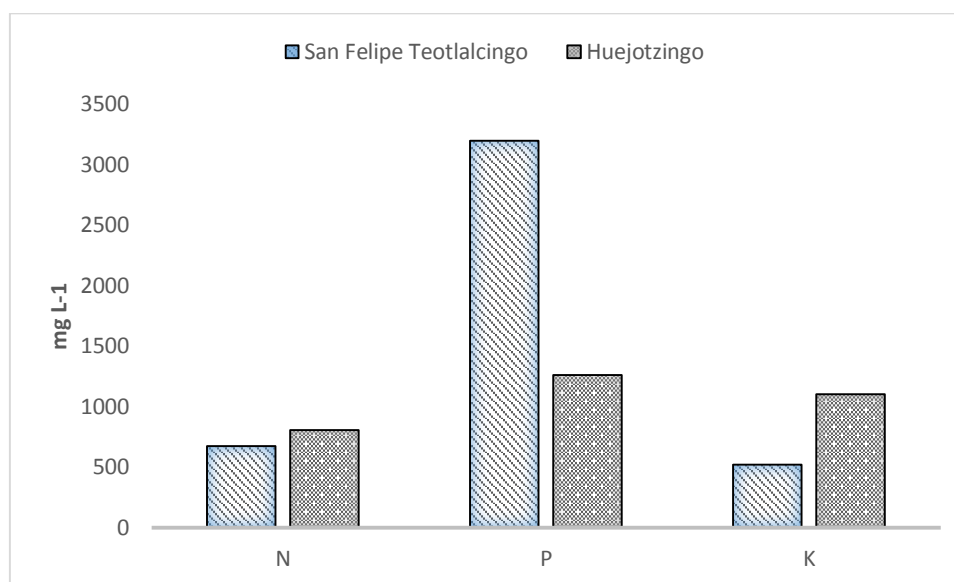


Figura 5. Contenido de N, P, y K en biofertilizantes.

La tendencia de disminución de nitrógeno, también se da en biodigestores de tipo sistema Bach, según lo reportado por Zagoya (2013) la pérdida de nitrógeno se debe a su transformación en formas gaseosas (desnitrificación). Por otro lado, Tchobanoglus *et al.* (2003) mencionan que las concentraciones de nitrógeno en el efluente es absorbido por los microorganismos más fácilmente que el fósforo.

Fósforo y potasio tuvieron mayor concentración que nitrógeno. De esta manera cuanto mayor sea la cantidad presentada, mayor será el grado disposición que tendrán y por tanto podrían ser utilizados de manera eficiente en la producción de cultivos (Tani *et al.*, 2006).

Calcio y magnesio se encontraron presentes en el efluente, ya que se liberaron tras las descomposición de la materia orgánica como la biomasa (Chen *et al.*, 2008; Van Langerak *et al.*, 1998), estos elementos en la digestión anaerobia son denominados metales ligeros, pero son de gran importancia en el proceso de la DA, ya que el calcio es esencial en el crecimiento de ciertos microorganismos, mientras que el magnesio estimula la producción de células individuales.

El sodio estuvo a concentraciones entre 24.5 y 217 mg L⁻¹. Según Feijoo *et al.* (1995) la presencia de bajas concentraciones de sodio es esencial para las bacterias metanogénicas pues son importantes para la formación de ATP. A concentraciones entre 3, 500 y 5, 500 mg L⁻¹ comienzan los efectos inhibitorios sobre las bacterias metanogénicas.

En cuanto a las cantidades encontradas en cobre, zinc, hierro y molibdeno estuvieron entre 0.3 y 68 mg L⁻¹ en los sitios de muestreo, Dewil *et al.* (2006b) y Beauchesne *et al.* (2007) reportan que estos elementos están asociados a metales pesados que no son biodegradables y por lo tanto pueden acumular concentraciones tóxicas que dependen de la forma soluble en la que se encuentren, lo que dificulta su uso en suelos agrícolas. Sin embargo este hecho suele ocurrir a menudo con digestores alimentados con residuos de origen industrial (Albuquerque *et al.*, 2012a). Al presentar concentraciones bajas de elementos pesados principalmente de Zn<200 y Cu<70 mg L⁻¹, se podría utilizar como un fertilizante potencial ya que cumple con los requisitos de un fertilizantes comercial (Romero *et al.*, 2013).

Por otro lado el comportamiento en las concentraciones más pequeñas en los elementos de Cu, Zn y Mg se da con frecuencia en diversos tipos de digestores, alimentados con un solo sustrato o con diversos tipos de residuos (Zirkler *et al.*, 2014).

7.1.3 Análisis de biogás

7.1.3.1 Concentración de metano y dióxido de carbono

La producción de metano fue mayor en el biodigestor de San Felipe Teotlalcingo, cercano al 60%, en el caso de Huejotzingo la producción de metano presento valores inferiores (Cuadro 11), resultados que pudieron estar influenciados por la alimentación del ganado. En este sentido Cornejo y Wilkie, 2010, mencionan que la alimentación de vacas lecheras se relaciona directamente con el tipo de dieta, si la alimentación del ganado se realiza con suplementos o concentrados se tiene mayor contenido energético en excretas, que resulta en un mayor potencial de generación de metano, que dietas a base de pastos de baja calidad.

Pero si el contenido de materia seca aumenta en los concentrados de las dietas, la calidad del estiércol de vaca disminuye, resultado del alto contenido de proteína y lignina de los alimentos, lo que disminuye la cantidad de materia orgánica biodegradable (Gallert *et al.*, 1998; Bouallagui *et al.*, 2009; Dinuccio *et al.*, 2010). En este sentido Mc Geough *et al.* (2010) indican que el aumento del consumo de concentrado y granos causa una disminución de metano. Aspectos que pudieron influir en la producción de biogás en el municipio de Huejotzingo.

Cuadro 11. Metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) en biogás producido a partir de la fermentación anaerobia de excretas bovinas.

Biodigestor	Producción de CH ₄ (%)	CH ₄ (mM)	CO ₂ (%)	CO ₂ (mM)
San Felipe Teotlalcingo	58.73	0.37	41.27	0.63
Huejotzingo	53.97	0.34	46.03	0.63

mM: milimol

Seppälä *et al.* (2013), mencionan que el silo de maíz es un componente clave en la dieta de los rumiantes, sin embargo, su composición química cambia a medida que la planta madura, así cuando el maíz se cosecha en estado lechoso produce mayores rendimientos de metano que cuando se hace totalmente maduro.

La variada alimentación del ganado bovino en San Felipe Teotlalcingo, pudo haber intervenido en la producción de biogás, Álvarez y Lidén (2008) mencionan que la digestión del estiércol animal con diversos sustratos como frutas y vegetales optimiza la producción de metano. En este sentido las frutas son ricas en carbohidratos y baja concentración de nitrógeno además de poseer alto contenido de materia orgánica que es fácilmente biodegradable durante el proceso

de la digestión anaerobia (Bouallagui *et al.*, 2009). Por su parte Weiland *et al.* (2010) señalan que existen diferentes cultivos de cereales y pastos perenes que tienen potencial como cultivos energéticos, tales alimentos pudieron ser consumidos durante el pastoreo.

En este estudio ambos biodigestores fueron capaces de lograr concentraciones de CH₄ superior al 50% siendo eficaces en la producción de biogás, de esta manera cumplen con el criterio mínimo para hacer funcionar un generador (Lansing *et al.*, 2008).

El biodigestor de Huejotzingo presentó mayor porcentaje de CO₂ mismo que podría verse reflejado en la producción de metano. Angelidaki y Ahring (1993) mencionan que interacción entre las formas de amonio, los AGV y el pH pueden conducir a un estado de equilibrio inhibido, una condición donde el proceso se ejecuta de forma estable, pero con un rendimiento inferior de metano.

A la par, los biodigestores tienen concentraciones un tanto superiores de CO₂, según lo reportado por Cornejo y Wilkie (2010) que marca porcentajes de 30-35%, y Rasi *et al.* (2007) de 36-41% de este gas. Osorio y Torres (2009), mencionan que con el fin de obtener energía a partir de biogás más productiva y rentable, el CO₂ se debe disminuir o eliminar, puesto que reduce el contenido de CH₄ y por lo tanto el contenido energético del biogás.

7.2 Efecto de biofertilizantes líquidos y sólidos en el cultivo de maíz

7.2.1 Factores climáticos

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-otoño del 2013, durante este año se registró una precipitación total de 894.8 mm, el mes de septiembre presentó la mayor cantidad de lluvia, con un valor de 214.8 mm. Así mismo el año 2013 registró una mayor cantidad de precipitación, en comparación a los dos años anteriores 2011-2012 con diferencias de 91.6 y 175.8 mm respectivamente (Cuadro 12). La cantidad de lluvia pudo haber influido en el rendimiento de maíz, al respecto Granados y Sarabia, (2013) mencionan que una reducción de precipitación durante los meses de julio a septiembre causa una disminución en los rendimientos puesto que corresponde a las fases fenológicas que van de crecimiento a formación de fruto.

Cuadro 12. Temperatura y precipitación mensual de los años 2011-2013.

Mes	2011		2012		2013	
	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm)	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm)	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm)
Enero	9.9	0.0	10.0	6.4	10.7	0.2
Febrero	11.5	0.0	11.1	20.2	13.1	0.0
Marzo	13.6	2.8	13.2	9.2	12.3	8.8
Abril	15.3	25.6	13.8	15.0	15.3	14.2
Mayo	16.2	73.2	15.4	42.4	15.3	142.6
Junio	14.3	180.4	14.3	188.2	14.7	106.8
Julio	13.8	141.4	13.3	171.0	14.1	130.2
Agosto	14.5	141.4	13.7	231.0	14.1	151.6
Septiembre	13.4	81.0	13.6	87.2	13.5	214.8
Octubre	11.7	64.0	12.9	24.8	13.2	83.8
Noviembre	11.5	9.2	11.0	7.8	11.4	41.8
Diciembre	10.5	0.0	10.8	0.0	11.3	0.0
Anual	13.0	719.0	12.0	803.2	13.2	894.8

Fuente: UPAEP-FUPPUE-CNA (www.climapuebla.org.mx). Estación meteorológica “San Miguel Cotla” ubicada en el municipio de San Salvador El Verde.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo experimental también se presentaron intensos vientos acompañados de lluvias que provocaron acame en el cultivo de maíz. Dicho suceso ocurrió en el mes de octubre.

El suelo utilizado en el trabajo de experimentación presento una textura franco arenosa con porcentajes de arena, limo y arcilla de 61.2, 28.0 y 10.8 % respectivamente. La materia orgánica (MO) fue alta y la conductividad eléctrica (CE) mostro un efecto de salinidad nula (Cuadro 13).

Cuadro 13. Características físico-químicas del suelo de San Felipe Teotlalcingo.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
N (%)	0.07	Na (ppm)	0.1	Zn (ppm)	1
P (ppm)	0.04	N-NO ₃ ⁻ (ppm)	38	Mn (ppm)	10
K (ppm)	0.04	N-NH ₄ ⁺ (ppm)	20	pH	5.19
Ca (meq/100g)	4.0	Fe (ppm)	47	CE (ds/m)	0.73
Mg (meq/100g)	2.0	Cu (ppm)	1	MO (%)	3.77

Las características físico-químicas de los abonos orgánicos utilizados en el cultivo de maíz se muestran en el (Cuadro 13). Dichos valores son similares a los obtenidos por Álvarez *et al* (2010) con contenidos de materia orgánica seca para lombricomposta >40% y biosol >80% Aparcana (2008). En este sentido Eghball *et al.* (2004) mencionan que los abonos orgánicos aportan gran cantidad de materia orgánica, nutrimentos y microorganismos, lo que favorece la

fertilidad del suelo y la nutrición de las planta; sin embargo, su utilidad como fuente de nutrimentos es baja con respecto a los fertilizantes químicos.

Cuadro 14. Análisis físico-químico de abonos orgánicos aplicados al cultivo de maíz.

Parámetro	Lombricomposta	Biosol
Ph	9.8	8.4
CE ds/m	6.3	1.3
MO %	43.5	92.0
Cenizas %	56.5	8.0
Ca %	36.5	1.3
Mg %	0.5	0.1
Na %	0.2	0.08
K %	1.4	5.1
N %	1.2	1.7
P %	0.5	0.1

7.2.2 Análisis de varianza

El análisis de varianza (Cuadro 15), evidencia que hubo diferencias altamente significativas en tratamientos. Los efectos de la fertilización al suelo (Factor A) fue altamente significativa para el rendimiento de grano, longitud de mazorca y peso de olote, y significativos para la variable de rendimiento de rastrojo, el resto de las variables no mostro significancia. Para el factor de fertilización foliar (Factor B), solo hubo diferencias significativas en rendimiento de rastrojo.

Cuadro 15. Cuadrados medios y significancia estadística obtenidos en tratamientos aplicados a cultivo de maíz.

F.V	Bloque	Trat	Factor A	Factor B	A x B	Error	Media	CV%
G.L	2	14	4	2	8	28		
Variables								
Rend G	653506.6 ns	8853977 **	27222177.6 **	1932921.1 ns	1400141.9 ns	614734.1	4535	17
Rend R	30550018.2 *	12739598 **	14338779.2 *	43442351.2 *	4264319.0 ns	3759418.3	13071	15
FD	0.00013 ns	0.00030 Ns	0.00013 ns	0.00015 ns	0.00042 ns	0.00026	0.9	2
Long	13.0 ns	5.6 ns	15.8**	0.4 ns	1.9 ns	2.9	14	11
P100	60.3 ns	19.9 ns	6.2 ns	22.1 ns	26.3 ns	13.4	41	9
Olote	16.9*	13.49**	24.4**	5.6 ns	9.9 ns	4.1	12	16
Ac	2568.9 ns	562 ns	1159.2 ns	106.6 ns	378.5 ns	592.6	55.6	43

F.V.=Factor de variación; *, ** Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns=no significativo; Trat=Tratamientos; G.L=Grados de libertad; CV=Coeficiente de variación; Rend G=Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; Rend R=Rendimiento de rastrojo en kg ha⁻¹; FD=Factor de desgrane; Long= Longitud de mazorca en cm; Olote=Peso de olote en gramos; P100=Peso de 100 semillas en gramos; Ac=Acame en %.

7.2.3 Efecto de tratamientos en rendimiento de grano, rastrojo y componentes de mazorca

Los tratamientos mostraron efecto sobre el rendimiento de grano, rendimiento de rastrojo, y peso de olote (Cuadro 16). Al realizar la prueba de comparación de medias se observó que el tratamiento $\frac{1}{2}$ (LbiosFQ) presento el rendimiento más alto de grano con 7, 079.3 kg ha⁻¹ (Cuadro 16).

Cuadro 16. Efecto de tratamientos en rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca.

Tratamiento	Rend G	Rend R	Long	Olote	P100	FD	Ac
T0	2218.4 e	11626 abc	12.0 a	9.0 b	36.3 a	0.90 a	55.0 a
Bl	3129.6 cde	9280 c	14.0 a	12.3 ab	42.0 a	0.93 a	76.3 a
Ac	3093.8 cde	14000 abc	12.3 a	12.6 ab	42.6 a	0.93 a	75.0 a
L	2734.1 de	13226 abc	13.0 a	10.0 ab	42.3 a	0.93 a	57.3 a
LBl	2237.8 e	10666 bc	12.6 a	11.3 ab	39.6 a	0.90 a	76.3 a
Lac	3756.2 cde	12080 abc	13.0 a	9.0 ab	39.3 a	0.93 a	65.3 a
Bios	4438.1 bcde	13760 abc	15.0 a	14.6 ab	36.3 a	0.90 a	50.0 a
BiosBl	5069.7 abcd	12053 abc	14.6 a	12.3 ab	44.6 a	0.93 a	49.0 a
BiosAc	4127.0 cde	14026 abc	15.6 a	12.0 ab	41.3 a	0.93 a	54.0 a
FQ	4471.0 bcde	14080 abc	14.6 a	11.6 ab	39.6 a	0.92 a	64.0 a
FQBl	6795.9 ab	12763 abc	16.0 a	16.6 a	44.3 a	0.91 a	43.0 a
FQAc	5312.3 abc	14426 abc	14.3 a	13.3 ab	42.3 a	0.91 a	41.3 a
$\frac{1}{2}$ (LbiosFQ)	6777.8 ab	16240 ab	16.3 a	15.0 ab	44.3 a	0.91 a	38.6 a
$\frac{1}{2}$ (LbiosFQ)Bl	6790.5 ab	11540 bc	15.0 a	13.0 ab	40.3 a	0.91 a	33.6 a
$\frac{1}{2}$ (LbiosFQ)Ac	7079.3 a	16960 a	15.3 a	13.3 ab	41.0 a	0.91 a	56.0 a
DSH	2372.8	5868.0	5.1	6.1	11.0	0.04	73

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DSH= Diferencia significativa honesta; Rend G= Rendimiento de grano en kg ha⁻¹; Rend R=Rendimiento de rastrojo en kg ha⁻¹; Long=Longitud de mazorca en cm; Olote=Peso de olote en gramos; P100=Peso de 100 semillas en gramos; FD=Factor de desgrane; Ac=Acame en %.

En cuanto al rendimiento de rastrojo, los tratamientos presentaron efecto significativo, siendo $\frac{1}{2}$ (LBiosFQ) y $\frac{1}{2}$ (LbiosFQ)Ac los mejores tratamientos por presentar los mayores valores, destaca este último con 16, 960 kg ha⁻¹.

En el caso del peso de olote hubo diferencias significativas en tratamientos, el mayor valor fue para (FQBl), los demás tratamientos tuvieron valores inferiores.

Las variables de longitud de mazorca, peso de 100 semillas, factor de desgrane y acame no presentaron diferencia significativa, por ello un análisis por niveles de los factores de fertilización al suelo y fertilización foliar ofrece mayores resultados.

7.2.4 Efecto de factor fertilización al suelo, en el rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca

La prueba de comparación de medias muestra que los fertilizantes aplicados al suelo mostraron grupos diferenciales en las variables de rendimiento grano, rendimiento rastrojo, longitud de mazorca y peso olote (Cuadro 17).

Cuadro 17. Rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca en función del factor fertilización al suelo.

Nivel	Rend G	Rend R	Long	Olote	P100	FD	Acame
Testigo	2813.9 c	11635.5 b	12.7 b	11.3 ab	40.3 a	0.92 a	68.8 a
Biosol	2909.4 c	11990.9 b	12.8 b	10.1 b	40.4 a	0.92 a	66.3 a
Lombricomposta	4544.9 b	13279.7 ab	15.1 a	13.0 a	40.7 a	0.92 a	51.0 a
FQ	5526.4 b	13756.5 ab	15.0 a	13.8 a	42.1 a	0.91 a	49.4 a
½ (FQBiosL)	6882.5 a	14693.3 a	15.5 a	13.7 a	41.8 a	0.91 a	42.7 a
DSH	1076.8	2663.0	2.3	2.7	5.0	0.02	33.4

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DSH= Diferencia significativa honesta; Rend G= Rendimiento de grano en kg ha^{-1} ; Rend R=Rendimiento de rastrojo en kg ha^{-1} ; Long=Longitud de mazorca en cm; Olote=Peso de olote en gramos; P100=Peso de 100 semillas en gramos; FD=Factor de desgrane; Ac=Acame en %.

Los resultados para rendimiento de grano muestran que el tratamiento ½ (FQBiosL), que corresponde a las dosis medias de fertilizantes orgánicos y químicos aplicados al suelo presento el mayor efecto con un valor de 6, 882.5 kg ha^{-1} . En este trabajo, el rendimiento que pertenece únicamente a la fertilización química (FQ) fue de 5, 526 kg ha^{-1} , dichos rendimientos son similares a los obtenidos por Zagoya, (2013) quien obtuvo 5409. 6 kg ha^{-1} de maíz azul bajo condiciones de temporal, con solo la aplicación de fertilizantes químicos. Vargas *et al.* (2013) mencionan que las concentraciones altas de fertilizantes químicos no necesariamente incrementan el rendimiento de grano.

Así mismo, se observa que el tratamiento ½ (FQBiosL) fue el mejor tanto para el rendimiento de grano, como para rendimiento de rastrojo con un valor de 14, 693.3 kg ha^{-1} . En este sentido Lorenz *et al.* (2010) indican que una mayor producción de rastrojo no incide negativamente el

rendimiento de grano. Los rendimientos de rastrojo en este trabajo son cercanos a los encontrados por Aceves *et al.* (2002) quienes obtuvieron rendimientos de 16-25 t ha⁻¹ en variedades criollas con diferentes dosis de fertilización química y densidades de población. Por su parte Zagoya (2013) obtuvo rendimientos de rastrojo de 10.5 t ha⁻¹ con la aplicación de biofertilizantes líquidos en el municipio de estudio.

En cuanto a la variable longitud de mazorca, se presentaron efectos positivos; encontrándose diferencias significativas en tratamientos, los mejores correspondieron (FQ), (Lombricomposta) y (½ (FQBiosL)), destacando este último con un valor de 15.5 cm.

Mientras que la variable peso de olate presentó efectos significativos, donde la fertilización química alcanzó el valor más alto, esto concuerda con los resultados obtenidos por Alcívar *et al.* (1999) citado por (Huerta *et al.*, 2010) al encontrar diferencias en longitud de mazorca y peso de olate, efecto que atribuyó a la fertilización inorgánica principalmente a la aplicación de nitrógeno.

La variable peso de 100 semillas, no presentó efecto significativo a los tratamientos estudiados. Los resultados encontrados coinciden con los obtenidos por Cervantes *et al.* (2013); Virgen *et al.* (2010) quienes concluyen que las variables que corresponden a las características de la mazorca están mayormente influenciadas por el genotipo y el medio ambiente. Sin embargo estos resultados difieren de los encontrados por Osborne *et al.* (2002) y Maya y Ramírez (2002), al expresar que aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos tiene efecto sobre el peso de semillas y otras características de la mazorca cuando el genotipo y densidad de población es la misma.

La prueba de medias para factor de desgrane no detectó diferencias en los tratamientos, pero se presentan valores altos, lo que pudo haber contribuido en el rendimiento de grano (Pérez *et al.*, 2011).

A pesar del acame presentado no hubo diferencias estadísticas en las medias de esta variable, lo cual nos indica que se presentó de manera homogénea en todo el experimento. En este sentido Maya y Ramírez (2002) mencionan que el acame tiene un efecto sobre el rendimiento de grano en densidades de población altas (>75 plantas por hectárea), pero esta finalmente se verá influenciado por el tipo de variedad.

Dado que el tratamiento $\frac{1}{2}$ (FQBiosL) sobresale en la mayoría de las variables estudiadas, se puede decir que la aplicación de fertilizante químico complementado con los fertilizantes orgánicos en suelo, son la mejor opción de fertilización de cultivos. Al respecto Mishra *et al.* (2009) señalan que al disminuir el uso de fertilizantes sintéticos también se reduce el deterioro de la calidad de suelo.

En este sentido Liedl *et al.* (2006) mencionan que los biofertilizantes se pueden usar conjuntamente con fertilizantes minerales, proporcionando un rendimiento comparable al obtenido exclusivamente con el uso de fertilizantes químicos, además tal combinación podría ser una estrategia prometedora para mejorar el balance energético de los cultivos (Gissén *et al.*, 2014).

Por otro lado, se observó que la aplicación de Biosol no sobresalió como el mejor tratamiento en las variables de estudio, sin embargo, si presentó valores mayores en rendimiento de grano y rastrojo en comparación con el testigo, este resultado puede deberse a las dosis utilizadas. En este sentido autores como Vaneeckhaute *et al.* (2013) mencionan que la aplicación de residuos derivados de la digestión anaerobia tiene efectos mínimos en un año en rendimiento de maíz, en la fertilidad y calidad de suelos franco arenoso, pero los beneficios ecológicos son mayores en comparación con fertilizantes sintéticos.

Por otro lado Tambone *et al.* (2007) resaltan que los efectos a corto plazo de la adición de abonos orgánicos, como el biosol no tiene efecto sobre el rendimiento de maíz pero sí en las propiedades del suelo al mejorar el contenido de carbono orgánico total, pero esto depende de las características y la cantidad utilizada, situación que pudo ocurrir en este trabajo. Sin embargo resultados de Albuquerque *et al.* (2012b) indican que los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo provocadas por la aplicación de biofertilizantes tienden a disminuir con el tiempo, dando lugar a un efecto residual escaso. Pero su adición aumenta la cantidad de fósforo disponible, por lo que su uso no solo debería basarse en nitrógeno proporcionado. Reportes análogos ocurren como lo indica Frøseth *et al.* (2014) al aplicar biosol se incrementó el N y se redujeron sus pérdidas, pero el rendimiento subsiguiente en los cultivos se redujo al no devolver el biosol al suelo. Svensson *et al.* (2004) concluyen que los fertilizantes como composta y biosol no deben utilizarse como fertilizantes únicos en cultivos de grano.

Por otro lado Garfí *et al.* (2011) lograron incrementar el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum*) en un 15.1% utilizando biosol con una dosis de aproximadamente 50 kg de N/ha, mientras que las dosis aplicadas a forraje en cultivos de ray gras (*Lolium multiflorum*) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L) se utilizaron dosis de efluente en un 50% y 100% con incrementos en rendimiento de 1.4% y 8.8% respectivamente.

Para Mata *et al.* (2014) los mejores resultados de la aplicación de la eficiencia de residuos digeridos como biofertilizantes se obtiene al aplicarlos al suelo, siendo la mejor opción para su reciclaje.

7.2.5 Efecto del factor fertilización foliar en el rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca

En la prueba de comparación de medias para el factor de fertilización foliar muestra que la aplicación de biofertilizantes líquidos no tuvieron efecto significativo en la mayoría de las variables estudiadas (Cuadro 18).

Cuadro 18. Rendimiento de grano, rastrojo y componentes de la mazorca en función del factor fertilización foliar.

Nivel	Rend G	Rend R	Long	Olote	P100	FD	Acame
Testigo	4127.9 a	13786.6 a	14.2 a	12.0 a	39.8 a	0.91 a	53.0 a
Biol	4804.7 a	11128.5 b	14.4 a	13.1 a	42.2 a	0.91 a	55.7 a
Ácidos húmicos	4673.7 a	14298.0 a	14.1 a	12.0 a	41.3 a	0.92 a	58.3 a
DSH	708.3	1751.8	1.5	1.8	3.3	0.01	21.9

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DSH= Diferencia significativa honesta; Rend G= Rendimiento de grano en kg ha^{-1} ; Rend R=Rendimiento de rastrojo en kg ha^{-1} ; Long=Longitud de mazorca en cm; Olote=Peso de olote en gramos; P100=Peso de 100 semillas en gramos; FD= factor de desgrane; Ac=Acame en %.

El escaso efecto de los biofertilizantes líquidos pudo deberse a la concentración utilizada, pues autores como Iakimenko (1996) indica que los resultados solo son visibles en dosis muy altas. Sin embargo algunos componentes de los biofertilizantes podrían ser menos favorables para los cultivos, pues se han observado rendimientos inferiores en lechuga cuando se aplicó biofertilizante líquido, por lo que se ha recomendado su dilución con agua (Brechelt, 2004). Romero *et al.* (2013) recomiendan el uso de biol en una dilución de 1/10. Situación similar ocurrió con Salminen *et al.* (2001) al aplicar materiales digeridos de origen animal al cultivo de

zanahorias y estas crecieron casi también como un fertilizantes mineral comercial pero en el crecimiento del col china se inhibió.

Zhang *et al.* (2003) mencionan que la máxima eficiencia solo se consigue si se administran en momentos específicos, usando la dosis óptima que varía según el cultivo e incluso de cultivar a cultivar esto usando ácidos húmicos.

Ertani *et al.* (2013) sugieren que los residuos de digestión deben ser estudiados por su actividad bioestimulante, pues su aplicación como sustancias húmicas a partir del efluente tuvo un efecto considerado sobre el crecimiento, el metabolismo del nitrógeno, y los parámetros fotosintéticos en plántulas de maíz.

7.3 Efecto de biofertilizantes líquidos en el cultivo de haba

7.3.1 Factores climáticos

Durante el ciclo de cultivo del haba diciembre 2012/abril 2013, se registró la temperatura y humedad máximas y mínimas dentro de invernadero (Cuadro 19). El mes de febrero registro las temperaturas mínimas más bajas, con un promedio de 6.6 y el mes de mayo las temperaturas máximas más altas con un promedio de 42°C. En cuanto a la humedad durante el ciclo se observan valores diferentes, con un promedio durante la floración de 43.5%.

La floración del cultivo de haba ocurrió todo el mes de marzo, aunque se presentó en un periodo extenso, se vio interrumpida en la mayoría de las flores por planta, provocando el aborto. En dicho mes la temperatura máxima promedio fue de 41°C y la mínima de 9°C, estas drásticas variaciones en la temperatura podrían haber afectado la retención de flores, como lo menciona (Confalone *et al.*, 2011) (Figura 6).

Cuadro 19. Temperatura y humedad durante los meses de noviembre 2013-abril 2014.

Mes	Temperatura (°C)			Humedad (%)		
	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio
Noviembre	33.6	10.0	21.8	80.0	24.8	52.4
Diciembre	34.9	8.3	21.6	78.0	21.0	49.5
Enero	34.9	12.9	23.9	70.5	21.0	45.8
Febrero	40.2	6.6	23.4	65.0	20.0	42.5
Marzo	40.8	8.8	24.8	67.0	20.0	43.5
Abril	41.9	12.7	27.3	66.0	21.4	43.7

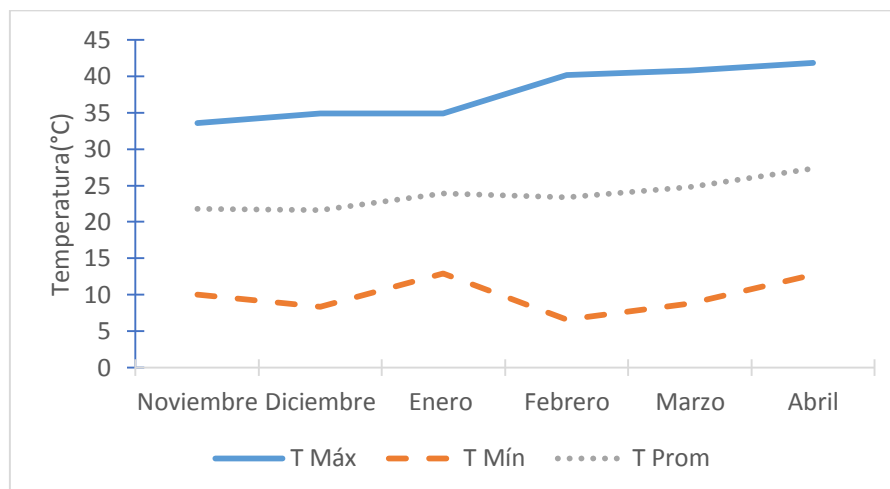


Figura 6. Temperatura promedio dentro de invernadero durante el ciclo del cultivo del haba.

Al respecto Patrick y Stoddard (2010) mencionan que el progreso hacia la floración requiere un mínimo de 8°C, con una temperatura óptima de 22-23°C, de esta manera la inducción de la floración, la retención de las flores y el desarrollo de las semillas son procesos críticos en la formación del rendimiento.

La retención de flores también se puede explicar por tres factores principalmente; a) la polinización y la fertilización (Susó *et al.*, 2001); b) la integración de la planta a los recursos disponibles, factores como la luz y tensiones fisiológicas interviene en el proceso, y c) la producción de flores en exceso como una estrategia ecológica que mejora la capacidad de una planta para competir por insectos polinizadores y mejorar las oportunidades de éxito reproductivo Johnston *et al.* (2009). Schoonhoven *et al.* (2005) mencionan que si cada óvulo en cultivo de haba produjera una semilla, el rendimiento sería de 38 t ha⁻¹ con un índice de cosecha de 50%, la producción de materia seca sería de 76 t ha⁻¹, lo que en gran medida supera el potencial de captura de la energía solar.

7.3.2 Efecto de tratamientos en medio de cultivo suelo

7.3.2.1 Análisis de varianza

El análisis de varianza para el medio de cultivo suelo muestra diferencias altamente significativas y significativas en tratamientos para la variable altura de la planta (30-120 días). El peso fresco de hoja, tallo, raíz y peso de vainas mostró diferencias altamente significativas en tratamientos y factores (concentración de solución nutritiva y fertilización foliar). Para las

variables de peso seco se presentaron efectos altamente significativos en tratamientos y factor concentración de solución nutritiva para hoja y tallo. El rendimiento de fruto mostro diferencias estadística altamente significativas en tratamientos y fertilización foliar, y diferencias significativas en concentración de solución nutritiva. Las variables de peso de vainas, semillas y longitud de vainas mostraron diferencia significativa en tratamientos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Cuadrados medios y significancia estadística obtenidos en tratamientos aplicados en medio al cultivo suelo.

F.V	Tratamiento	Factor A	Factor B	A x B	Error	Media	CV%
G.L	8	2	2	4	18		
Variables							
Alt 30	24.3**	43.8**	20.7 ns	16.4 ns	5.9	23.6	10
Alt 60	35.6 *	61.1*	3.5 ns	38.8 ns	13.8	56.2	6
Alt 90	91.5*	70.0 ns	152.2*	71.8 ns	33.4	81.5	7
Alt 120	209.3*	0.11 ns	157.4 ns	339.8*	79.4	104.4	8
Hoja ¹	2019.8**	2989.0**	6696.8**	3683 ns	342	101	18
Tallo ¹	5254.5**	11144.1**	6296**	1788.8 ns	896.7	163	18
Raíz ¹	527.2**	1403.7**	289.5 ns	207.8 ns	127.1	53.9	21
Fruto ¹	956.2ns	903.2 ns	706.7 ns	1107 ns	1075.8	124.8	26
Vaina ¹	86.9**	194.7**	87.4*	130.8 ns	20.7	48.8	9
Hoja ²	56.3**	160.3**	5.4ns	29.7 ns	13	21	17
Tallo ²	130.8**	336.7**	117.0 *	34.7 ns	30.4	35.7	15
Raíz ²	57.3ns	183.8*	4.4 ns	20.5 ns	21.5	15	31
Fruto ²	162.9**	150.9*	281.8**	109.5*	27.8	33	16
Vaina ²	8.5*	3.37 ns	2059**	5.0 ns	2.6	13.1	12
Semilla ²	6.0*	6.7*	3.3 ns	7.0*	1.6	10.5	12
Longitud	2.3**	0.2 *	1.9 *	3.5**	0.4	18.8	3

F.V.=Factor de variación; *, ** Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns=no significativo; G.L= Grados de libertad; CV=Coeficiente de variación; Factor A=Concentración de solución nutritiva; Factor B=Fertilización foliar. Alt 30, Alt 60, Alt 90, alt120=Altura a los 30, 60,90 y 120 días después de la siembra respectivamente; ¹=peso fresco; ²=peso seco.

7.3.2.2 Altura de la planta

Al realizar la prueba de comparación de medias en tratamientos se observa que se presentaron diferencias. La aplicación de los tratamientos mostró efectos en altura de la planta de haba a los 30, 60, 90 y 120 días después la siembra (Cuadro 21).

Cuadro 21. Altura de haba en medio de cultivo suelo.

Tratamiento	Alt 30 días	Alt 60 días	Alt 90 días	Alt 120 días
BSF SN100%	27.0 a	56.3 ab	84.6 ab	98.3 ab
BHu SN100%	26.6 a	61.0 a	86.6 ab	112.0 ab
BSF	22.3 ab	56.0 ab	83.3 ab	105.6 ab
BHu	22.6 ab	53.0 ab	75.0 ab	99.3 ab
BSF SN50%	23.6 ab	56.0 ab	88.6 a	114.6 a
BHu SN50%	24.6 a	57.0 ab	83.3 ab	111.0 ab
T	23.6 ab	57.3 ab	78.3 ab	108.6 ab
SN100%	24.6 a	60.3 a	82.0 ab	102.6 ab
SN50%	17.3 b	49.6 b	71.6 b	88.0 b
DSH	6.9	10.6	16.5	25.5

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DSH=Diferencia significativa honesta; Alt=Altura de la planta en cm.

A los 30 días el tratamiento BSF SN100% registró la mayor altura con 27 cm, seguido de BHu SN100%, BHu SN50% y SN100%, como observamos todos ellos recibieron riego con solución nutritiva y aplicación foliar, a excepción del tratamiento SN100%. Por su parte el efecto de los tratamientos BHu SN100% y SN100% como los mejores en altura se mantuvo hasta los 60 días, pero ninguno de ellos alcanzó a sobresalir hasta los 90 y 120 días, pero si lo hizo el tratamiento BSF SN50% al mostrar diferencias significativas con una altura promedio final de 114.6 cm. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Morales *et al.* (2002) quienes atribuyen dichos efectos a la aplicación de fertilizantes químicos sobre la altura final de haba.

7.3.2.3 Producción de materia fresca y peso seco de hoja, tallo y raíz

En la prueba de comparación de medias, los tratamientos presentaron diferencias. En cuanto al peso promedio de materia fresca para las variables de hoja y tallo el tratamiento BHu SN50% destacó con un valor de 137.6 y 241.6 g planta⁻¹ respectivamente (Cuadro 22).

En el caso de peso fresco de raíz el mayor valor fue para el tratamiento con BHu con 75.6 g planta⁻¹. Los demás tratamientos presentaron valores inferiores.

Cuadro 22. Producción de materia fresca y peso seco en medio de cultivo suelo.

Tratamiento	Peso fresco (g planta ⁻¹)			Peso seco (g planta ⁻¹)		
	Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
BSF SN100%	81.3 bc	134.3 bc	34.3 b	22.3 ab	32.3 ab	10.0 a
BHu SN100%	122.3 ab	196.6 abc	50.3 ab	23.6 ab	41.3 ab	14.3 a
BSF	95.0 abc	134.3 bc	65.0 ab	18.6 ab	33.3 ab	19.6 a
BHu	104.3 ab	135.3 bc	75.6 a	13.3 b	30.3 ab	19.6 a
BSF SN50%	116.6 ab	208.3 ab	63.3 ab	22.0 ab	44.6 a	16.6 a
BHu SN50%	137.6 a	241.6 a	52.3 ab	23.6 ab	44.6 a	12.3 a
T	98.6 abc	121.6 c	53.3 ab	17.3 b	28.3 b	20.0 a
SN100%	47.3 c	143.6 bc	36.0 b	28.3 a	28.6 b	8.0 a
SN50%	105.6 ab	151.0 bc	55.0 ab	19.6 ab	38.3 ab	14.6 a
DSH	52.9	85.6	32.2	10.3	15.7	13.2

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

DSH= Diferencia significativa honesta.

Los tratamientos aplicados al cultivo de haba también mostraron diferencias estadísticas en las variables de peso seco. Para la variable de hoja el tratamiento SN100% sobresale con un valor de 28.3 g planta⁻¹, mientras que para tallo los tratamientos BHu SN50% y BSF SN50% resaltan como los mejores con un valor de 44.6 g planta⁻¹ en ambos, los demás tratamientos tuvieron valores inferiores y en caso del peso seco de raíz no se presentaron diferencias significativas.

Dichos resultados son similares a los obtenidos por Condori *et al.* (1997) al encontrar diferencias en el peso seco de hojas pero no de la raíz de haba cultivada en suelos, la tendencia de incrementar el peso de follaje aumenta cuando se aplican fertilizantes. De la misma manera Guadarrama *et al.* (2007) señalan que la aplicación de fertilizantes en especial de nitrógeno incrementa significativamente la biomasa total, siendo el tallo el que mayor asignación de materia seca presenta, dicho efecto también ocurrió en este trabajo, el mayor peso correspondió al peso de tallo, seguido del peso de fruto. Muñoz *et al.* (2001) concluyen que el incremento de materia seca en cada estructura de la planta es debido a una mayor actividad fotosintética en hojas, promovida por una alta concentración de clorofila y N foliar.

Por otro lado Abubaker *et al.* (2012) reportó haber obtenido un incremento general de la rendimiento de la biomasa, con respecto a la fertilización en suelo con purines y abonos minerales.

De la misma manera se puede observar que aquellos tratamientos que destacaron en altura no lo hacen en peso fresco de la planta. Talal (2009) menciona que existe una alta asociación entre

rasgos agronómicos como la altura de la planta y el rendimiento de grano en variedades de crecimiento indeterminado.

7.3.2.4 Rendimiento y componentes del fruto de haba

En los resultados de la prueba de comparación de medias, para el caso de la variable de rendimiento de fruto en fresco no se presentaron diferencias entre tratamientos, pero sí en peso fresco de vainas donde destaca el tratamiento BSF con 57 g planta⁻¹ (Cuadro 23). Los resultados de esta investigación difieren a los obtenidos por Guadarrama *et al.* (2007) y Osman *et al.* (2010) quienes reportan que la aplicación de fertilizantes inorgánicos tiene un efecto positivo al incrementar el rendimiento de semilla de haba y otras características físicas del grano.

Para la variable de longitud de vaina destaca nuevamente el tratamiento BSF con un valor de 20.0 cm. Dichos valores superan en gran medida los promedios de 7.0-7.5 cm, obtenidos por Pichardo *et al.*, (2013) en haba variedad cochinerita, quienes además mencionan que tal característica es importante para la comercialización de vaina verde, debido a que el mercado consumidor prefiere un producto con vaina larga. Los resultados difieren probablemente a las condiciones en las que se llevaron a cabo los estudios, principalmente por las temperatura y humedad (Campos *et al.*, 2012).

Cuadro 23. Rendimiento de haba y característica de vaina en medio de cultivo suelo.

Tratamiento	Fresco			Seco		
	Fruto ¹	Vaina ²	Longitud ³	Fruto ¹	Vaina ²	Semilla ²
BSF SN100%	104.6 a	43.3 bc	19.0 a	27.0 bc	14.0 ab	9.0 b
BHu SN100%	117.6 a	47.0 abc	19.6 a	29.0 abc	13.0 ab	10.6 ab
BSF	159.3 a	57.0 a	20.0 a	43.3 a	15.6 a	13.0 a
BHu	102.0 a	47.6 abc	17.0 ab	25.3 c	13.0 ab	11.0 ab
BSF SN50%	120.3 a	56.0 ab	19.0 a	40.6 ab	15.0 a	11.6 ab
BHu SN50%	124.6 a	51.3 abc	18.6 ab	25.6 bc	10.0 b	8.3 b
T	140.0 a	48.3 abc	19.5 a	35.0 abc	13.0 ab	10.5 ab
SN100%	119.6 a	40.3 c	18.3 ab	29.3 abc	11.6 ab	9.6 ab
SN50%	135.0 a	49.0 abc	18.3 ab	42.3 a	13.3 ab	11.3 ab
DSH	93.8	13	1.82	15.1	4.6	3.6

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DSH=Diferencia significativa honesta; ¹=Rendimiento en g planta⁻¹; ²=Peso en gramos/muestra; ³=Longitud en cm.

Para la variable de peso seco de frutos se presentaron diferencias estadísticas en tratamientos, el mayor valor fue 43.3 g planta⁻¹ del tratamiento BSF, esta tendencia del tratamiento a sobresalir

también lo hace en peso seco de vainas (15.6 g/muestra) y semilla (13 g/muestra). Aun así, el tratamiento BSFSN50% fue ligeramente inferior en peso de vainas con 15.0 g planta⁻¹.

Los tratamientos SN50% y BSF SN50% presentaron valores similares en fruto, sin embargo destaca BSF. En este aspecto se estima que el mejor tratamiento en suelo para rendimiento y sus componentes es aquella que no necesita la aplicación de fertilizantes químicos, solo el de fertilizantes foliares, en este sentido Mínguez *et al.* (1993) indican que, debido a la fijación biológica de nitrógeno en haba se pueden alcanzar rendimientos potenciales sin ningún tipo de fertilizante nitrogenado lo que reduce la lixiviación de nitratos y mejora la eficiencia energética de los cultivos.

En general se observa que los tratamientos que tuvieron mejor respuesta en variables de altura, no siguieron un mismo comportamiento sobre la producción de materia fresca y seca así como de rendimiento de fruto y otros componentes. Aquellos tratamientos que tuvieron mayor peso en follaje no tuvieron efecto sobre el rendimiento fruto y sus componentes y viceversa. En este sentido De costa *et al.* (1997) mencionan que en variedades de crecimiento indeterminado se puede fomentar el crecimiento vegetativo a expensas del crecimiento reproductivo.

7.3.3 Efecto de tratamientos en medio de cultivo tezontle

7.3.3.1 Análisis de varianza

El análisis de varianza para medio de cultivo tezontle muestran que la concentración de solución nutritiva y fertilización foliar fueron significativos en altura de la planta a los 30 y 120 días en tratamientos. La producción de materia fresca en hoja y tallo no mostro significancia, pero si hubo efectos significativos en raíz y fruto, así como peso fresco de vainas. En las variables de peso seco se presentaron diferencias altamente significativas en raíz, rendimiento de fruto, peso de vainas y peso de semillas en tratamientos y solo diferencias significativas en peso de vainas. Las variables de peso seco de hoja y tallo no mostraron diferencia significancia (Cuadro 24).

Cuadro 24. Cuadrados medios y significancia estadística en tratamientos aplicados al medio de cultivo tezontle.

F.V	Tratamientos	Factor A	Factor B	A x B	Error	Media	CV %
G.L	5	1	2	2	12		
Variables							
Alt 30	8.5*	22.2*	1.6 ns	9.0 ns	2.7	23.6	7
Alt 60	12.9 ns	0.05 ns	9.5 ns	22.8 ns	19.8	58	7
Alt 90	127.9 ns	18.0 ns	154 ns	156.5ns	65.1	78	10
Alt 120	195.4**	2.0 ns	261 **	226.5 **	31	93	6
Hoja ¹	692.8 ns	2178.0 ns	555.0 ns	88.1 ns	973.0	102.2	30
Tallo ¹	1617.4 ns	1605.5 ns	1619.0 ns	1621.7 ns	1209	174.8	20
Raíz ¹	1500**	420.5*	5001.3**	2081.3**	51.1	50.8	14
Fruto ¹	675.56*	462.8 ns	508.9 ns	1834*	171.3	122.1	11
Vaina ¹	104.8 ns	11.5 ns	168.3*	88.9 ns	36.8	51.0	12
Hoja ²	23.7 ns	1.3 ns	54.1 ns	5.0 ns	19.1	19.0	23
Tallo ²	53.4 ns	186.8 ns	10.0 ns	30.0 ns	50.2	32	22
Raíz ²	20.0**	18.0**	40.7**	0.5 ns	1.5	9.2	13
Fruto ²	155.0**	3.5 ns	108.7*	277**	23.7	27.8	17
Vaina ²	15.6**	4.5 ns	20.7**	16.1*	2.3	11.6	13
Semilla ²	11.9**	2.7 ns	17.3**	11.0*	2.0	9.6	15
Longitud	1.8*	5.12**	0.16 ns	1.69*	0.42	19.3	3

F.V.=Factor de variación; *, ** Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns=no significativo; G.L=Grados de libertad; CV=Coeficiente de variación; Factor A=Concentración de solución nutritiva; Factor B=Fertilización foliar. Alt 30, Alt 60, Alt 90 y alt120=Altura a los 30, 60,90 y 120 días después de la siembra respectivamente; ¹=peso fresco; ²=peso seco.

7.3.3.2 Altura de la planta

En la prueba de comparación de medias los tratamientos aplicados mostraron diferencias significativa en altura de la planta a los 30 y 120 días, donde el mejor tratamiento fue BHU SN50% con valores de 25.6 y 106 cm respectivamente, lo demás tratamientos presentaron valores inferiores. El tratamiento con menor respuesta fue BSF SN50% con una valor final de 82 cm en altura de la planta (Cuadro 25).

Las habas cultivadas en suelo mostraron alturas superiores, lo que hace suponer que la aplicación de fertilizantes y el tipo de medio de cultivo (sustrato) utilizado, tienen mayor influencia sobre la altura de la planta que factores como temperatura y luz e incluso el tipo de cultivar, bajo condiciones de invernadero. Al-rifae *et al.* (2004) concluye que la altura de la planta responde al aumento de la densidad de población al existir una mayor competencia por luz, situación que difiere de este trabajo pues la densidad fue la misma.

Cuadro 25. Altura de haba en medio de cultivo tezontle.

Tratamiento	Alt 30 días	Alt 60 días	Alt 90 días	Alt 120 días
BSF SN100%	23.3 ab	58.3 a	77.0 a	90.3 b
BHu SN100%	20.6 b	57.3 a	77.0 a	92.0 ab
BSF SN50%	24.6 ab	56.6 a	67.6 a	82.0 b
BHu SN50%	25.6 a	61.6 a	86.6 a	106.6 a
SN100%	23.6 ab	58.6 a	83.3 a	95.6 ab
SN50%	24.0 ab	55.6 a	77.0 a	91.3 ab
DSH	4.5	12.2	22.1	15.4

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

DSH= Diferencia significativa honesta; Alt=Altura de la planta en cm.

7.3.3.3 Producción de materia fresca y peso seco de hoja, tallo y raíz

Los resultados de prueba de comparación de medias muestran que el efecto de tratamientos no mostro diferencias en peso en fresco de hoja y de tallo (Cuadro 26). En cuanto al peso fresco de raíz sobresale BSF SN50% con 90 g planta⁻¹, lo que podría estar afectando directamente la altura de las plantas o producción de frutos. Bruce *et al.* (2002) mencionan que existe un riesgo asociado con el aumento de la masa de la raíz, pues esta reduce la tasa de crecimiento global o la producción de granos, pero este riesgo se equilibra por la variación en la eficiencia de absorción de agua. En dichos resultados también se puede observar que existe una buena proporción de pesos frescos de raíz en medio de cultivo suelo y tezontle. De acuerdo a Muñoz *et al.* (2011) un mayor desarrollo de la raíz podría atribuirse a la capacidad de infiltración y almacenamiento causado por la estabilidad y tamaño de los agregados lo que podría ocurrir en el sustrato tezontle. A si mismo Díaz (2004) menciona que los sustratos tienen alta porosidad (>85%), mientras que el suelo la porosidad total puede apenas alcanzar un 50% en suelos bien drenados. García *et al.* (2003) mencionan que en sustratos hay mayor exploración del sistema radical y por lo tanto una disponibilidad inmediata de los nutrimentos obtenidos del sistema de hidroponia.

Cuadro 26. Producción de materia fresca y peso seco en medio de cultivo tezontle.

Tratamiento	Peso fresco (g planta ⁻¹)			Peso seco (g planta ⁻¹)		
	Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
BSF SN100%	119.6 a	155.0 a	54.6 b	22.6 a	28.3 a	10.6 ab
BHu SN100%	121.6 a	189.6 a	55.3 b	18.3 a	28.3 a	8.0 bc
BSF SN50%	97.6 a	210.3 a	90.0 a	20.3 a	38.0 a	13.3 a
BHu SN50%	92.0 a	182.6 a	39.0 bc	17.6 a	36.6 a	9.6 b
SN100%	98.3 a	151.6 a	28.0 c	17.0 a	30.0 a	6.0 c
SN50%	84.0 a	160.3 a	37.0 bc	18.3 a	31.3 a	7.6 bc
DSH	85.5	95.3	19.6	12.1	19.4	3.4

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

DSH= Diferencia significativa honesta.

Los resultados en cuanto a peso seco de hoja y tallo, muestra que no hubo diferencias en los tratamientos, en la variable de peso seco de raíz se presentaron diferencias donde destaca el tratamiento BSF SN50% con un valor de 13.3 g planta⁻¹.

7.3.3.4 Rendimiento y componentes del fruto de haba

Los resultados del efecto de tratamientos en peso fresco y seco muestran diferencias en la prueba de comparación de medias. Para el rendimiento fresco de fruto el tratamiento BSFSN100% se presenta como el mejor con 142.3 g planta⁻¹ le sigue BHu SN100% con 131.3 g planta⁻¹, los tratamientos restantes presentan cifras menores (Cuadro 27).

Esta situación es similar para peso fresco de vainas, donde repite el tratamiento BSF SN100% con el mayor valor con 61.6 g/muestra, no lo es así, para la variable longitud, pues BHu SN50% sobresale con 20.6 cm de largo en vainas. Musallan *et al.* (2004) mencionan haber obtenido los mejores valores de longitud de vaina entre 12.1 y 10.2 cm bajo diferentes condiciones lo que nos hace creer que la aplicación de biofertilizantes tiene un efecto directo sobre una mayor longitud de vaina. Cabe mencionar que la longitud vaina de haba en medio suelo y sustrato tezontle reportaron valores similares.

Cuadro 27. Rendimiento de haba y características de vaina en medio de cultivo tezontle.

Tratamiento	Fresco			Seco		
	Fruto ¹	Vaina ²	Longitud ³	Fruto ¹	Vaina ²	Semilla ²
BSF SN100%	142.3 a	61.6 a	19.0 ab	40.0 a	14.3 a	12.0 a
BHu SN100%	131.3 ab	48.6 ab	18.3 b	26.6 ab	11.3 ab	9.3 ab
BSF SN50%	103.0 b	51.0 ab	19.3 ab	24.0 b	11.6 ab	9.6 ab
BHu SN50%	129.3 ab	52.0 ab	20.6 a	29.6 ab	13.3 a	11.3 a
SN100%	106.0 ab	44.0 b	19.0 ab	18.3 b	7.6 b	6.3 b
SN50%	115.6 ab	46.3 ab	19.6 ab	28.3 ab	11.3 ab	9.0 ab
DSH	37.9	17.4	2.7	13.3	4.1	3.9

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

DSH= Diferencia significativa honesta; ¹=Peso g planta⁻¹; ²=Peso en gramos/muestra.; ³= Longitud en cm.

Los resultados en cuanto al rendimiento de haba en seco, peso de vainas y semilla muestran al tratamiento BSF SN100% como el mejor con valores de 40.0 g planta⁻¹, 14.3 y 12.0 g/muestra respectivamente, los demás tratamientos muestran valores inferiores.

Lo anteriores resultados indican a BSF SN100% como el mejor tratamiento en sustrato tezontle, lo que sugiere la conveniencia de una nutrición orgánica y mineral, sin embargo, para disminuir el uso de fertilizantes químicos se esperaría que sobresalieran las concentraciones al 50%, pero estas solo lo hicieron para las variables de peso de vaina y semilla con el tratamiento BHu SN50% bajo condiciones de invernadero.

Mínguez *et al.* (1993) señala que el rendimiento de cultivo de haba dependerá de su capacidad de adaptación a diferentes ambientes. Por lo que la comprensión de la dinámica de crecimiento realizado en el componente grano es importante para mejorar el manejo del cultivo, dicha afirmación es apoyada por López-Bellido *et al.* (2005) al concluir que las condiciones ambientales gobiernan el rendimiento de la semilla, en esta investigación las condiciones bajo invernadero (temperatura y humedad), así como la disponibilidad y asimilación de nutrientes químicos y orgánicos obtenidos de los biofertilizantes y de la soluciones nutritivas son de primordial importancia para maximizar el rendimiento. De manera similar, Stützel y Aufhammer, (1992) menciona que la influencia del tipo de cultivar (de crecimiento determinado e indeterminado) usados es comparable a los efectos ambientales sobre el rendimiento de haba.

7.3.4 Comparación de los medios de cultivo en el rendimiento de haba

En el trabajo experimental de hidroponia, se usaron dos medios de cultivo que tenían en común seis tratamientos de los cuales fue posible hacer una comparación con respecto a ellos. Los resultados obtenidos del rendimiento de haba en fresco y seco se presentan a continuación.

El rendimiento de haba en fresco en medio de cultivo tezontle mostro mejores resultados que el medio de cultivo suelo en los tratamientos BSF SN100% y BHu SN100%. Pero dicho comportamiento del medio de cultivo se vio afectado cuando los tratamientos solo estuvieron a base de las soluciones nutritivas (SN100%) y (SN50%), obteniendo menores valores en la última. Cuando esto ocurrió el medio de cultivo suelo tuvo mejor respuesta, sobresaliendo en este caso el tratamiento SN50% (Figura 7).

Los resultados de las dosis completas de solución nutritiva en el rendimiento de grano, difieren a los obtenidos por García *et al.*, (2003) quienes encontraron, una mejor respuesta del sistema hidropónico con respecto a un suelo bien preparado, dicho comportamiento lo asocian a que en hidroponia los efectos de una mayor infraestructura y sistema radical reflejan mayor rendimiento de grano, esto en el cultivo de frijol.

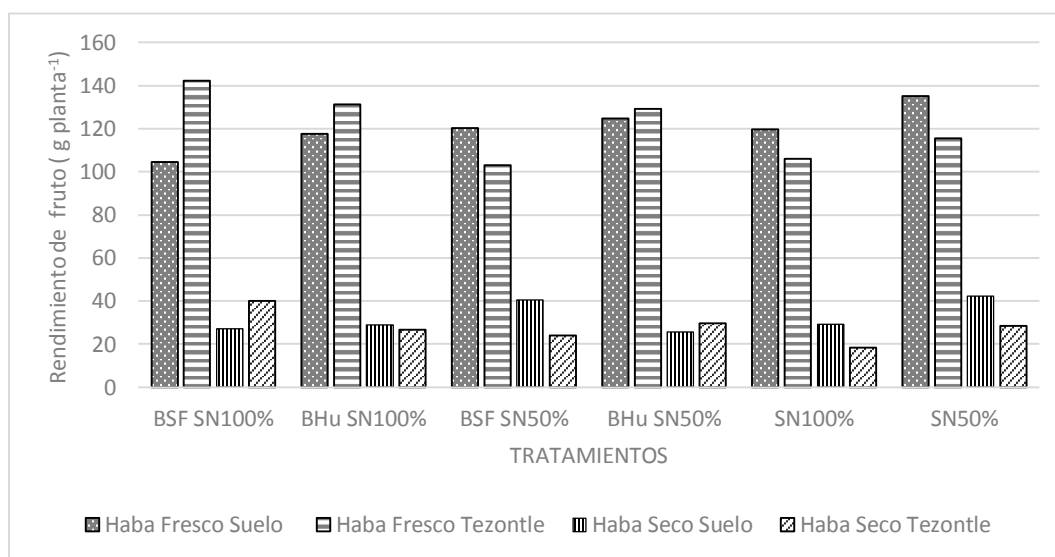


Figura 7. Comparación de los medios de cultivo, suelo y tezontle en el rendimiento de haba en fresco y seco.

Cuando la aplicación de biofertilizantes y concentraciones medias de solución nutritiva se aplicó (BSF SN50%) y (BHu SN50%), los valores más uniformes de rendimiento de haba se presentaron en el medio de cultivo tezontle.

Los comportamientos fueron similares para el peso seco del fruto de haba en ambos medios de cultivo.

Los resultados obtenidos en las variables de estudio del cultivo de haba muestran comportamientos diferentes en suelo y sustrato tezontle en la producción de grano. Conde (2001) encontró que existe una fuerte incidencia de los sustratos en el comportamiento de variables como materia seca del follaje y rendimiento, esto al evaluar diferentes sustratos en haba bajo condiciones de invernadero.

Por otro lado Zabłudowska, *et al.* (2009) mencionan que existen evidencia de que las plantas responden de manera diferente cuando son cultivadas en hidroponía o en suelo; en este sentido Dickinson *et al.* (2009) concluyen que pesar de estas limitaciones, los autores suelen extrapolar los resultados de hidropónico a campo y como resultado, muchos estudios son demasiado optimistas y poco realistas, además, menciona que una planta puede ser muy eficiente ocupando soluciones nutritivas pero su asimilación se verá afectado por las condiciones a campo abierto. Estas afirmaciones también cobran real importancia en la aplicación de biofertilizantes en plantas cultivadas (con sustrato tezontle y suelo, bajo invernadero o campo abierto, con riego o bajo condiciones de temporal, etc.) por lo que dichos resultados no son posibles de extrapolar.

Por su parte Tavakkoli *et al.* (2012) en experimentos con haba y otros cultivos bajo invernadero y usando solución nutritiva menciona que de las respuestas fisiológicas discernen aun con los mismos materiales cultivadas en suelo.

VIII. CONCLUSIONES

8.1 Conclusiones

Los biofertilizantes obtenidos de excretas bovinas tratados en digestores de flujo continuo, presentaron contenidos nutrimentales adecuados para su aplicación en cultivos agrícolas, así como, el biogás producido para su uso en hogar. Las características físico-químicas dependieron del tipo de materia a fermentar (estiércol), entre otros factores de la DA, por lo que el conocimiento del tipo de alimentación en el ganado bovino puede mejorar la producción de CH₄, la calidad de biosol y biol como fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes orgánicos sólidos (biosol) tuvo un efecto mínimo el rendimiento de maíz pero fue mejor que el testigo, sin embargo, la aplicación combinada de fertilizantes orgánicos y químicos presentó las mejores respuestas en rendimiento de grano, rastrojo, longitud de mazorca y peso de olate. Los valores más altos en rendimientos se obtuvieron con la combinación de dosis medias de los fertilizantes químicos y orgánicos.

La aplicación de fertilizantes foliares al 15% no mostró diferencias significativas en las variables de estudio para el cultivo de maíz.

Bajo condiciones de invernadero la aplicación de biofertilizantes líquidos al 20 % en el cultivo de haba presentan diferencias en la producción de follaje y rendimiento de fruto en medio de cultivo suelo y sustrato tezontle. Sin embargo, habas cultivadas en suelo no necesitan fertilizante químico para alcanzar el mayor rendimiento, mientras que habas cultivadas en sustrato tezontle necesita una fertilización órgano-mineral completa para tener mayores rendimientos.

Los tratamientos en común de los medios de cultivo en haba difieren en comportamiento en muchas de variables estudiadas lo que hace suponer que se necesitan más ensayos para conocer con mayor claridad la influencia sobre la aplicación de nutrientes en este cultivo.

De manera general la aplicación combinada de fertilizantes orgánicos y químicos tuvo la mejor respuesta en los rendimientos de los cultivos.

IX ESTRATEGIA PROPUESTA SOBRE UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA CON FERTILIZACIÓN ÓRGANO-MINERAL

Con relación a los resultados obtenidos en la investigación sobre la aplicación de biofertilizantes digeridos y su efecto combinado con fertilizantes químicos en dos cultivos de importancia económica, se propone una estrategia orientada hacia una fertilización órgano-mineral como una alternativa para mejorar las condiciones actuales del suelo y obtener una mayor producción de grano y forraje, puesto que es de urgente necesidad reformar el pensamiento de producción agrícola, por ello más que dividir conocimientos, se requiere unir y articular saberes sobre las técnicas de fertilización. Se propone seguir investigando dosis y frecuencia de aplicación de fertilizantes foliares en el cultivo de maíz bajo temporal y de haba cultivada en diferentes condiciones, esto para conocer el efecto de los biofertilizantes a diferentes concentraciones y frecuencias de aplicación para encontrar una dosis óptima.

La estrategia deberá entenderse como el establecimiento de objetivos a largo plazo, que se presentan como una serie de acciones que toman en cuenta el uso adecuado de los recursos materiales y humanos relacionados en su entorno, para alcanzar dichos objetivos (Contreras, 2013). El Cuadro 28, se muestra el enfoque, los objetivos y las principales actividades que se realizarán en la estrategia propuesta para desarrollo de una alternativa de fertilización en la zona del Alto Atoyac.

Cuadro 28. Estrategia propuesta de una alternativa de fertilización órgano-mineral.

Enfoque	Enfoque agroecológico y de innovación para un desarrollo endógeno sostenible a partir del dialogo de saberes (conocimiento científico occidental moderno y saberes locales) dando énfasis en la complementariedad de la agricultura industrializada y de los pequeños agricultores con prioridad en el cuidado del medio ambiente.
Objetivo general	Proporcionar un manejo integrar de fertilización órgano-mineral para incrementar los rendimientos de cultivos de importancia agrícola, y garantizar la seguridad alimentaria con mayor competitividad en los mercados locales y externos, ante los cambios climáticos y la disminución de la productividad de la tierra.
Objetivo específico	Incrementar el uso de biofertilizantes líquidos en cultivos de importancia agrícola en la microrregión del Alto Atoyac.
Actividades	1. Talleres participativos, con la finalidad de concientizar a los productores sobre la importancia del uso y manejo de fertilizantes orgánicos y su aplicación combinada con fertilizantes químicos en la nutrición de las plantas, así como el cuidado del medio ambiente.

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Talleres demostrativos, en parcelas que expongan los efectos de la aplicación de biofertilizantes en diferentes cultivos y su aplicación combinada con fertilizantes químicos, para valorar los recursos internos y las tecnologías externas. 3. Capacitación a productores clave que integren la fertilización orgánica y mineral. 4. Elaboración de documentos impresos de fácil acceso para los productores como (folletos y trípticos) que expliquen los beneficios de los biofertilizantes líquidos y sólidos y el uso moderado de los fertilizantes químicos en los cultivos. 5. Seminarios de actualización con productores para exponer los resultados, avances y principales dificultades encontradas en el desarrollo de las actividades de investigación.
Dónde	Las actividades se realizaran en (comunidades campesinas, parcelas agrícolas, centros de producción, invernaderos, etc.) con la participación de actores locales, técnicos profesionales e instituciones de investigación y enseñanza y dependencias similares (Productores, COLPOS, ITAT, Sistema Biobolsa).

Valdés, (2005) y Mintzberg *et al.* (1997) afirma que la formulación de la estrategia incluye la identificación de las oportunidades y de las amenazas en el entorno, y la evaluación de sus fortalezas y debilidades, para establecer con ello, lo que se conoce como matriz (FODA). En el Cuadro 29, se muestra la matriz FODA que se aplica al objetivo de proporcionar un manejo integral para incrementar la producción agrícola mediante el empleo de fertilizantes orgánicos y químicos.

Cuadro 29. Matriz de análisis FODA de fertilización.

OBJETIVO ESPECÍFICO	FORTALEZAS	DEBILIDADES
Incrementar el uso los biofertilizantes líquidos y sólidos, combinados con fertilizantes químicos para incrementar el rendimiento de los cultivos.	<ul style="list-style-type: none"> -Uso de materiales orgánicos como biofertilizantes. -Gran producción de biofertilizantes. -Biodigestores instalados y funcionando en la zona del Alto Atoyac. -Reducción de fertilizantes químicos al combinarse con fertilizantes orgánicos. -Buena comunicación entre actores locales y externos. 	<ul style="list-style-type: none"> -La calidad del biol y biosol depende de las materias primas que son fermentadas y de las condiciones de digestión anaerobia. -Dificultad de aplicación foliar de los fertilizantes líquidos. Dificultad para transportar y manipular el biofertilizante al lugar de aplicación.
OPORTUNIDADES	POTENCIALIDADES	DESAFÍOS

<p>-Incrementar la producción de biofertilizantes y diversificación de su uso.</p> <p>-Incrementar la superficie fertilizada con abonos orgánicos y químicos.</p> <p>-Existencia de varios sectores agrícolas que pagan por biofertilizantes de calidad.</p>	<p>-Gran aceptación y mayor demanda de fertilizantes orgánicos en la producción agrícola.</p> <p>-Integración de biofertilizantes a diversos sistemas de producción y sectores agrícolas.</p> <p>-Mayores ingresos debido al aumento del valor del producto (biofertilizantes y cultivo).</p> <p>Mayores ingresos debido al incremento en el rendimiento de cultivos básicos por la fertilización órgano-mineral.</p>	<p>-Falta de cooperación, coordinación y confianza entre agricultores, autoridades municipales, investigadores, etc.).</p> <p>-Obstáculos técnicos debido a la falta de equipo y desarrollo de tecnología.</p> <p>-Valorización de macro y micronutrientes a partir de la DA y del uso adecuado de fertilizantes químicos.</p>
AMENAZAS	RIESGOS	LIMITACIONES
<p>Disponibilidad de financiamiento (Aplicación de recursos insuficientes e inoportunos).</p> <p>Cambio climático (falta de lluvias)</p> <p>Uso de biofertilizantes con otros fines.</p> <p>Rechazo de los fertilizantes orgánicos o químicos por la simpatía de uno u otro.</p>	<p>Producción de biofertilizantes inestables que afecta su calidad.</p> <p>Aplicación excesiva de fertilizantes químicos u orgánicos.</p>	<p>Falta de experiencia sobre la aplicación de biofertilizantes a distintos cultivos.</p> <p>Mínima adopción de esta tecnología debido a la variabilidad de las condiciones climáticas y necesidades locales.</p>

Las decisiones de los agricultores sobre el sistema de producción que adopten se basaran en: externalidades de la granja, cambio climático y disponibilidad de las nuevas tecnologías; así como los propios objetivos de los agricultores acerca de los requisitos de producción, economía y cuidado del medio ambiente, y; la actitud de factores como riesgo (Tanaka *et al.*, 2002).

X BIBLIOGRAFÍA

- Abubakar, B.S.U.I., & Ismail, N. 2012. Anaerobic digestion of cow dung for biogas production. *ARPN. Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(2), 169-172.
- Abubaker, J., Risberg, K., & Pell, M. 2012. Biogas residues as fertilizers—Effects on wheat growth and soil microbial activities. *Applied Energy*, 99, 126-134.
- Aceves, R.E., Turren, F.A., Cortés, F. J.I., y Volke, H.V. 2002. Comportamiento agronómico del híbrido H-137 y materiales criollos de maíz en el Valle de Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(4), 339-347.
- Al-Juhaimi, F. Y., Hamad, S. H., Al-Ahaideb, I. S., Al-Otaibi, M. M., & El-Garawany, M. M. 2014. Effects of fertilization with liquid extracts of biogas residues on the growth and forage yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under arid zone conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 46(2), 471-475.
- Alburquerque, J. A., De la Fuente, C., Ferrer, C. A., Carrasco, L., Cegarra, J., Abad, M., & Bernal, M. P. 2012a. Assessment of the fertilizer potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy*, 40, 181-189.
- Alburquerque, J. A., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., & Bernal, M. P. 2012b. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*, 43, 119-128.
- Alcíbar, E.J., Pérez, D.J., & González H. A. 1999. Efecto de la fertilización y densidad de población en tres variedades de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Informa*. 12.
- Alfa, M.I., Adie, D.B., Igboro, S.B., Oranusi, U.S., Dahunsi, S.O., & Akali, D.M. 2014. Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renewable Energy*, 63, 681-686.
- Alfonso, E. T., Leyva, Á., & Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Revista colombiana de Biotecnología*, 7(2), 47-54.
- Almansa, M., Fernández, M., Valero, J., López, M., & Soliva, M. 2007. Velocidad de mineralización del estiércol vacuno según su estabilidad. *Residuos*, 96, 30-36.
- Al-Rifae, M.O.H.D., Turk, M.A., & Tawaha, A.R.M. 2004. Effect of seed size and plant population density on yield and yield components of local faba bean (*Vicia faba* L. Major). *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(2), 294-299.
- Altieri, M., & Nicholls, C.I. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie textos básicos para la formación ambiental. PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, 235.
- Altieri, M. A. 2002. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. SARANDON, SJ Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable. Buenos Aires—La Plata. p 28.
- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. 2005. Agroecology and the Search for a truly sustainable Agriculture. 1st edition. Basic textbooks for environmental training. University of California, Berkeley. Pag 111.
- Álvarez, R., & Lidén, G. 2008. Anaerobic co-digestion of aquatic flora and quinoa with manures from Bolivian Altiplano. *Waste Management*, 28, 1933–1940.
- Álvarez, S. J. D., Díaz, P. E., León, M. N. S., & Guillén, V. J. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 239-245.
- Ángeles, G.E., Ortiz, T.E., Antonio, L.P., & López, R.G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 287-296.
- Angelidaki, I., & Ahring, B. K. 1993. Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 38(4), 560-564.
- Aparcana, R.S. 2008. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “Fermentación Anaeróbica” para la producción de Biogás. German ProfEC. Professional energy and environmental consultancy. Alemania.
- Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J., & Dewil, R. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755-781.
- Arano, C. 2007. Hidroponía: Algunas páginas de sus historia. Horticultura internacional. 58, 24-32.
- Argumedo, M.A., De los Ríos, C.I., & Estrella, C.N.E. 2009. Elementos teóricos y conceptuales para el diseño de sistemas de innovación en territorios rurales. En experiencias y aportaciones en la investigación científica y tecnológica para el desarrollo rural. Ed (Parra, I.F y Ocampo, F.I.). Ed. Colegio de Postgraduados Campus Puebla.
- Armenta, B.A.D., García, G.C., Camacho, B.R., Apodaca, S.M.A., Gerardo, M.L. & Nava, P.E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Arsova, L. 2010. Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and alternative product. (Doctoral dissertation, Columbia University). New York.

- Arthurson, V. 2009. Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land—potential benefits and drawback. *Energies*, 2(2), 226-242.
- Baba, Y., Tada, C., Watanabe, R., Fukuda, Y., Chida, N., & Nakai, Y. 2013. Anaerobic digestion of crude glycerol from biodiesel manufacturing using a large-scale pilot plant: Methane production and application of digested sludge as fertilizer. *Bioresource technology*, 140, 342-348.
- Baudron, F., & Giller, K. E. 2014. Agriculture and nature: Trouble and strife?. *Biological Conservation*, 170, 232-245.
- Bertalanffy, V. L. 1976. Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. Editorial Fondo de Cultura Económica, S.A. D.F, México. p 38.
- Beauchesne, I., Cheikh, R.B., Mercier, G., Blais, J.F., & Ouarda, T. 2007. Chemical treatment of sludge: in-depth study on toxic metal removal efficiency, dewatering ability and fertilizing property preservation. *Water Research*, 41(9), 2028-2038.
- Bernal, C. M.P., Albuquerque, M.J.A., Bustamante, M.M.A., y Clemente, C.R. 2011. Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización. Ed. Probiogas. Madrid, España. p 12.
- Bertoglio, J.O. 1993. Introducción a la teoría general de sistemas. Editorial Limusa S.A. D.F México. p 19.
- Biao, X., Xiaorong, W., Zhuhong, D., & Yaping, Y. 2003. Critical impact assessment of organic agriculture. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 16(3), 297-311.
- Bojórquez, I., Nájera, O., Hernández, A., Flores, F., González, A., García, D., & Madueño, A. 2006. Particularidades de formación y principales suelos de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 27(4), 19-26.
- Börjesson G., Menichetti L., Kirchmann H., & Kätterer T. 2012. Soil microbial community structure affected by nitrogen fertilisation and different organic amendments during 53 years. *Biology and Fertility of Soils*, 48: 245–257.
- Bouallagui, H., Lahdheb, H., Ben Romdan, E., Rachdi, B., & Hamdi, M. 2009. Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1844-1849.
- Bové, J. & Dufour, F. 2005. La semilla del futuro: la agricultura explicada a los ciudadanos (Vol. 226). Editorial Icaria. Barcelona.
- Braun, R. 2007. Anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development. In: Ranalli P (ed) Improvement of crop plants for industrial end uses. Springer, Dordrecht pp. 335–415.
- Brechelt, A. 2004. Manejo ecológico del suelo. Fundación Agricultura y Medio Ambiente. Red de acción de Plaguicidas y sus alternativas para América Latina.
- Brenes, P.L., & Jiménez, M.M.F. 2014. Experiencia de producción de lechuga americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT. *Tecnología en Marcha*, 27, 56-64.
- Bruce, W.B., Edmeades, G. O., & Barker, T.C. 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53(366), 13-25.
- Cadahía, L.C., López, F.L.A., Camargo, M.A., Ginés H, I., y Soler, R.J. 2005. Situación actual de la fertilización. En Cadahía López, Carlos. (Coord). Fertilización-Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Editorial Mundi Prensa. Madrid España Pag 33, 59.
- Campos, E. A., Vargas, V. P., y Acosta. G. J. 2012. Rendimiento y características agronómicas de cinco poblaciones de haba (*Vicia faba*) en los Valles, Altos de la Mesa Central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 22 (2), 175-185.
- Capulín, G.J., Mohedano C.L., Sandoval E.M., & Capulín V.J.C. 2011. Estiércol bovino líquido y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de jitomate en un sistema hidropónico. *Revista Chapingo: Serie Horticultura*. 17(2), 105-114.
- Caravaca, I., González, G., & Silva, R. 2005. Innovación, redes, recursos patrimoniales y desarrollo territorial. *EURE (Santiago)*, 31(94), 5-24.
- Caruso, G., Villari, G., Melchionna, G., & Conti, S. 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 479-485.
- Castro, D.B.F. (Ed) 2002. Cuba, amanecer del tercer milenio. Ciencia, sociedad y tecnología. Madrid. Spain. Ed. Debate. 416.
- Ceccon, E. 2008. La revolución fresca tragedia en dos actos. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias* 91, 21-29.
- Cervantes, O. F., Covarrubias, P. J., Rangel. L. J. A., Terrón, I. A. D., Mendoza, E. M., & Preciado, O. R. E. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 101-110.

- Chang, K.H., Wu, R.Y., Chuang, K.C., Hsieh, T.F., & Chung, R.S. 2010. Effects of chemical and organic fertilizers on the growth, flower quality and nutrient uptake of *Anthurium andreaeanum*, cultivated for cut flower production. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 434-441.
- Chao, E.R. 2007. Biodigestores en el tratamiento de excretas porcinas. Biodigestores. Boletín técnico porcino N° 5. Ed Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana, Cuba.
- Chen, Y., Cheng, J.J., & Creamer, K.S. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044-4064.
- CONAPO 2012. Consejo Nacional de Población. Índice de marginación por localidad 2010.
- Conde, A.M.G. 2001. Respuesta del cultivo de haba a fertilizantes orgánicos y rhizobios en diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura.
- Condori, B., Devaux, A., Mamani, P., Vallejos., & Blajos J. 1997. Efecto residual de la fertilización del cultivo de papa sobre el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en el sistema de rotación. *Revista latinoamericana de la Papa*, 9(10), 171-187.
- Confalone, A., Lizaso, J., Ruíz, B., & Sau, F. 2011. Modelización de la fenología del haba cv. Alameda. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 43(1), 75-84.
- Confalone, A., Barufaldi, M., Navarro, M., Aguas, L., Vilatte, C., & Ponce, G. 2013. Crecimiento, captura de luz y componentes del rendimiento del haba cv. Alameda creciendo en Azul, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 45(1), 105-116.
- Contreras Sierra, E. R. 2013. El concepto de estrategia como fundamento de la planeación estratégica. *Pensamiento & Gestión*, (35), 152-181.
- Cornejo, C., & Wilkie, A. C. 2010. Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, 14(4), 256-266.
- Costabeber, J. A., & Caporal, F. R. 2003. Possibilidades e alternativas do desenvolvimento rural sustentável. Agricultura Familiar e Desenvolvimento Rural Sustentável no Mercosul. Santa Maria: Editora da UFSM/Pallotti, 157-194 pp.
- Côté, C., Massé, D.I., & Quessy, S. 2006. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. *Bioresource Technology*, 97(4), 686-691.
- CP. 2014. Colegio de Postgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en ciencias Agrícolas. Agenda 2014.
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P., & Duc, G. 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research*, 115(3), 329-339.
- Cuervo, O.V.D. 2010. Abonos orgánicos como insumo de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Texcoco. México.
- De Costa, W.A.J.M., Dennett, M.D., Ratnaweera, U., & Nialmegbe, K. 1997. Effects of different water regimes on field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.). II. Yield, yield components and harvest index. *Field Crops Research*, 52, 169-178.
- De la Rosa. M.J. 2012. Análisis físico y químico de fertilizante orgánico (biol) producido por biodigestores a partir de estiércol de ganado. Memoria de residencia profesional. Instituto tecnológico del altiplano de Tlaxcala. Tlaxcala. México. 42 pp.
- Delgado, B.F.J.M. y Escobar, V.C. 2009. Innovación tecnológica, soberanía y seguridad alimentaria. ed. Plural. La Paz, Bolivia. p 54.
- Doublein, D., & Steinhauer, A. 2008. Biogas from waste and renewable resources. An Introduction. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA.
- Doublein, D., & Steinhauer, A. 2010. Biogas from waste and renewable resources: An introduction (Second edition ed): WILEY-VCH.
- Dewil, R., Baeyens, J., Roelandt, F., & Peereman, M. 2006a. The analysis of the total sulphur content of wastewater treatment sludge by ICP-OES. *Environmental Engineering Science*, 23:904-7.
- Dewil, R., Baeyens, J., & Neyens, E. 2006b. Reducing the heavy metal content of sewage sludge by advanced sludge treatment methods. *Environmental Engineering Science*, 23, 994-999.
- Diagnostico Regional. 2011. Diagnostico regional del Alto Atoyac en Puebla. Línea de investigación 11 (LPI-11). Sistema de Producción Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuicola (En prensa).
- Díaz, R.R., & Escalante, E.A. 2009. Faba beans (*Vicia faba* L.) in México. Grain Legumes 51:32-33. <http://www.ias.csic.es/grainlegumesmagazine/grain-legumes-issue-51.pdf>
- Díaz, S.F.R. 2004. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y producción. Torreón, Coah, México, Octubre 13, 14 y 15 del 2004.
- Dickinson, N.M., Baker, A.J.M., Doronilla, A., Laidlaw, S., & Reeves, R.D. 2009. Phytoremediation of inorganics: realism and synergies. *International Journal of Phytoremediation*, 11(2), 97-114.
- Dinuccio, E., Balsari, P., Gioelli, F., & Menardo, S. 2010. Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses. *Bioresource Technology*, 101(10), 3780-3783.

- Dixon, J. A., Gibbon, D. P., & Gulliver, A. 2001. Farming systems and poverty: improving farmers' livelihoods in a changing world. Ed. Malcolm Hall.
- Duval, G., y Hernández, G. 2000. Realidad y conocimiento científico, en Del Rio, Norma (Coord). La producción textual del discurso científico. UAM.11-31. México.
- EEA. 2011. European Environment Agency. The European environment-state and outlook 2010: assessment of global megatrends. European Environment Agency, Copenhagen.
- Eghball, B., Ginting, D., & Gilley, J. E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*, 96(2), 442-447.
- Elizondo, S.J. 2006. El nitrógeno en los sistemas ganaderos. Información técnica. *Agronomía Mesoamericana*, 17(1), 69-77.
- Elsheikh, E.A., & Elzidany, A.A. 1997. Effects of Rhizobium inoculation, organic and chemical fertilizers on yield and physical properties of faba bean seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 51(2), 137-144.
- Erickson, L.E., Fayet, E., Kakumanu, B.K., & Davis, L.C. 2004. Anaerobic digestion. In: Carcass Disposal: A Comprehensive Review, Chapter 7, pp. 1-19. National Agricultural Biosecurity Center, Kansas State University, Manhattan, KS.
- Ertani, A., Pizzeghello, D., Baglieri, A., Cadili, V., Tambone, F., Gennari, M., & Nardi, S. 2013. Humic-like substances from agro-industrial residues affect growth and nitrogen assimilation in maize (*Zea mays* L.) plantlets. *Journal of Geochemical Exploration*, 129, 103-111.
- Etchevers, B.J.D. 2008. Nutrición. En el cultivo de maíz, temas selectos. Rodríguez Montessoro Rafael & De León Carlos (Coord). Editorial Colegio de Postgraduados. D.F México. p 2
- FAO. 2009a. Food and Agriculture Organization. El estado de los mercados de productos básicos agrícolas. Los precios altos de los alimentos y la crisis alimentaria: experiencias y lecciones aprendidas. FAO, Subdirección de políticas y apoyo en materia de publicación electrónica, Roma.
- FAO. 2009b. Food and Agriculture Organization. The State of Food Insecurity in the World, Economic crises-impacts and lessons learned, FAO, Rome, Italy.
- FAO. 2013. Food and Agriculture Organization. The state of Food Insecurity in the World, The multiple dimensions of food security. Rome, FAO
- Feijoo, G., Soto, M., Méndez, R., & Lema, J.M. 1995. Sodium inhibition in the anaerobic digestion process: antagonism and adaptation phenomena. *Enzyme and Microbial Technology*, 17(2), 180-188.
- Feng, H., Qu, G.F., Ning, P., Xiong, X. F., Jia, L.J., Shi, Y.K., & Zhang, J. 2011. The Resource Utilization of Anaerobic Fermentation Residue. *Procedia Environmental Sciences*, 11, 1092-1099.
- Feng, W., Guan, T., Wang, X.Y., Wang, L.G., Wang, C.Y., & Guo, T.C. 2011. Effect of topdressing amount of biogas slurry on fluorescence parameters and yield of winter wheat. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2, 036.
- Fernández, F.M. 1997. Innovación tecnológica y competitividad. Un intento de divulgación de conceptos, enfoques y métodos. Ed. Fundación Friedrich Ebert. México, México. 26, 27 pp.
- Fernández, S.R., Morales, C.L.A. & Gálvez, M.A. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), 275-238.
- Ferrer, I., Gamiz, M., Almeida, M., & Ruiz, A. 2009. Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru). *Waste Management*, 29(1), 168-173.
- Ferrer, I., Garfí, M., Uggetti, E., Ferrer-Martí, L., Calderon, A., & Velo, E. 2011. Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and bioenergy*, 35(5), 1668-1674.
- Foley J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., & Carpenter, S. R. 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- Frøseth, R.B., Bakken, A.K., Bleken, M.A., Riley, H., Pommeresche, R., Thorup-Kristensen, K., & Hansen, S. 2014. Effects of green manure herbage management and its digestate from biogas production on barley yield, N recovery, soil structure and earthworm populations. *European Journal of Agronomy*, 52, 90-102.
- Gallert, C., Bauer, S., & Winter, J. 1998. Effect of ammonia on the anaerobic degradation of protein by a mesophilic and thermophilic biowaste population. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 50(4), 495-501.
- García. E. 1998. Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García) escala 1:1000,000. CONABIO. D.F México.
- García, B. J. M. 2001. Reseña de "Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible" de G. Guzmán Casado, M. González De Molina y E. Sevilla Guzmán. *Reis. Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 213-217.
- García, E. A., Kohashi, S. J., Baca, C. G. A., & Escalante, E. J. A. S. 2003. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra Latinoamericana*, 21(4), 471-480.

- García, R. 2006. Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Editorial Gedisa, S.A. Barcelona, España.
- García, F.G. 2008. Rentabilidad de la producción de durazno en los municipios de Chiautzingo, Calpan, Domingo Arenas y Huejotzingo, Puebla. Estudio de caso. Tesis Doctorado. Colegio de Postgraduados. Puebla, México.
- García, G.E., Leal, P.M., y González, J.E. 2008. Evaluación de dos sistemas hidropónicos (abierto y cerrado) con la relación al uso de solución hidropónica reciclada y producción de jitomate de exportación. *Revista Tecnológico*, 1(2), 1-13.
- García, F.J., & Silva, A. L. 2013. Migración, Efecto de la Falta de Fuentes de Trabajo en Huejotzingo, Puebla. *CIMEXUS*, 5(1), 73-83.
- Garfí, M., Gelman, P., Comas, J., Carrasco, W., & Ferrer, I. 2011. Agricultural reuse of the digestate from low-cost tubular digesters in rural Andean communities. *Waste Management*, 31(12), 2584-2589.
- Garrido, P. F. 2007. "Sobre la epistemología ecológica" en Garrido Peña, Francisco, Gonzales de Molina Navarro Manuel, Serrano Moreno, José Luis & Solana Ruiz José Luis (eds), *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*, Icaria Editores, Barcelona. 31-54 pp.
- Gil, M.A., y Álvarez, C.N.M. 2007. El maíz criollo en la alimentación de las familias campesinas de Santiago Xalitzintla, Puebla. Ed. Colegio de Postgraduados Campus Puebla. p 9.
- Gissén, C., Prade, T., Kreuger, E., Nges, I. A., Rosenqvist, H., Svensson, S. E., & Björnsson, L. 2014. Comparing energy crops for biogas production—Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation. *Biomass and Bioenergy*, 64, 199-21.
- Godfray, H.C., Bennington, J.R., Crute, I.R. Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., & Toulmin, C. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 327, 812.
- Gómez, G.A., & Pimentel, L.J. 2009. Efecto del arreglo topológico en la producción de calabacita en hidroponía a cielo abierto. *IDESIA* (Chile), 27(3), 15-18.
- Gómez, M., Locoli, G., & Marinossi, L. 2014. Influencia del efluente de biogás sobre la microbiota del suelo y el desarrollo vegetal. Bahía Blanca. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo; 2014.
- González, S.O. 2007. Las unidades de pequeña irrigación como mecanismo de regulación social en los espacios agrícolas locales. en "El Cambio en la sociedad rural mexicana" ¿Se valoran los recursos estratégicos? Volumen I Los actores sociales del México rural frente a procesos políticos excluyentes: diversidad de impactos y respuestas, Asociación Mexicana de Estudios Rurales México, D. F.
- González de Molina, M. 2004. Historia y medio ambiente. Editorial Eudema. Red Utopía, Jitanjáfora Morelia. 70-73 pp.
- Granados Ramírez, R., & Sarabia Rodríguez, A. A. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-446.
- Green, R.E., Cornell, S.J., Scharlemann, J.P., & Balmford, A. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science*, 307(5709), 550-555.
- Grimsby, L.K., Fjörtøft, K., & Aune, J.B. 2013. Nitrogen mineralization and energy from anaerobic digestion of jatropha press cake. *Energy for Sustainable Development*, 17(1), 35-39.
- Guadarrama, Q.A., Escalante, E.J.A., Rodríguez, G.M.A., Sánchez, G.P. & Sandoval, C.E. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función de nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 169-175.
- Hansen, K.H., Angelidaki, I., & Ahring, B.K. 1998. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. *Water research*, 32(1), 5-12.
- Haraldsen, T.K., Andersen, U., Krogstad, T. & Sørheim, R. 2011. Liquid digestate from anaerobic treatment of source-separated household waste as fertilizer to barley. *Waste Management Research*, 29, 1271–1276.
- Hartmann, H., Angelidaki, I., & Ahring, B.K. 2000. Increase of anaerobic degradation of particulate organic matter in full-scale biogas plants by mechanical maceration. *Water Science & Technology*, 41(3), 145-153.
- Hauggaard, N.H., Jørnsgaard, B., Kinane, J., & Jensen, E. S. 2008. Grain legume–cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(01), 3-12.
- Holm, N.J.B., Al Seadi, T., & Oleskowicz, P.P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100(22), 5478-5484.
- Huerga, I. R., Butti, M., y Venturelli, L. 2014. Biodigestores de pequeña escala. Un análisis práctico sobre su factibilidad. 1ª ed. Santa Fe: Ediciones INTA. Pag
- Huerta, A.G., López, D.D.J.P., Mora, O.F., Melgarejo, A.B., Rodríguez, F.G., & Salas, H.R. 2010. Respuesta de tres cultivares de maíz a la inoculación con *Azospirillum brasilense*. *Ciencia Ergo Sum*, 18(1), 51-58.
- Hwang, M.H., Jang, N.J., Hyun, S.H. & Kim, I.S. 2004. Anaerobic bio-hydrogen production from ethanol fermentation: the role of pH. *Journal Biotechnology*, 111:297–30

- Iakimenko, O., Otabbong, E., Sadovnikova, L., Persson, J., Nilsson, I., Orlov, D., & Ammosova, Y. 1996. Dynamic transformation of sewage sludge and farmyard manure components. 1. Content of humic substances and mineralization of organic carbon and nitrogen in incubated soils. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 58, 121–126.
- INEGI. 2004. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Guía para la interpretación de cartografía. Edafología Serie II. pp 1-17.
- INEGI. 2005. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Cuaderno Estadístico Municipal de Huejotzingo, Puebla. Edición 2005.
- INEGI. 2009a. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Huejotzingo, Puebla. Clave geoestadística 21074.
- INEGI. 2009b. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Felipe Teotlalcingo, Puebla. Clave geoestadística 21122.
- INEGI. 2010a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda. Información básica del municipio: Huejotzingo. <http://www.coteigep.puebla.gob.mx/est231.php?muni=21074>
- INEGI. 2010b. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Pedro Cholula, Puebla Clave geoestadística 21122.
- Jensen, E.S., Peoples, M.B., & Hauggaard-Nielsen, H. 2010. Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, 115(3), 203-216.
- Jiménez, M.F.A (Coord). 2008. Seguridad alimentaria en Puebla: importancia estrategias y experiencias. Colección “La Agricultura en Puebla”. Serie Seguridad Alimentaria. México, Puebla.
- Johansen, A., Carter, M.S., Jensen, E.S., Hauggard-Nielsen, H., & Ambus, P. 2013. Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO₂ and N₂O. *Applied Soil Ecology*, 63, 36-44.
- Johnston, M.O., Porcher, E., Cheptou, P.O., Eckert, C.G., Elle, E., Geber, M. A., & Winn, A. A. 2009. Correlations among fertility components can maintain mixed mating in plants. *The American Naturalist*, 173(1), 1-11.
- Junior, A., De Araujo, J. & Factor, T. 2003. Estudo da utilização do efluente de biodigestor no cultivo hidropônico do meloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(1), 72-79.
- Kato, Y.T.A., Mapes, S.C., Mera, O.L.M., Serratos, H.J.A., & Bye, B.R.A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D.F. México. 116pp.
- Kendirli, B.A. 2006. Structural Analysis of greenhouses: A case study Turkey. *Building and Environmental*, 41(7), 864-871.
- Kim, M., Gomec, C.Y., Ahn, Y., & Speece, R.E. 2003. Hydrolysis and acidogenesis of particulate organic material in mesophilic and thermophilic anaerobic digestion. *Environmental Technology*, 24, 1183–119.
- Köpke, U., & Nemecek, T. 2010. Ecological services of faba bean. *Field Crops Research*, 115(3), 217-233.
- Kováčikova, Z., Vargova, V., & Jancova, L. 2013. Effect of digestate application on herbage quality and quantity of permanent grassland. *Agriculture*, 59(2), 88-98.
- Lansing, S., Botero, R.B., & Martin, J.F. 2008. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource technology*, 99(13), 5881-5890.
- Lansing, S., Martin, J.F., Botero, R.B., Nogueira da Silva, T., & Dias da Silva, E. 2010. Wastewater transformations and fertilizer value when co-digesting differing ratios of swine manure and used cooking grease in low-cost digesters. *Biomass and Bioenergy*, 34(12), 1711-1720.
- Lateef, S.A., Beneragama, N., Yamashiro, T., Iwasaki, M., Ying, C., & Umetsu, K. 2012. Biohydrogen production from co-digestion of cow manure and waste milk under thermophilic temperature. *Bioresource Technology*, 110, 251-257.
- Lehtomäki, A., Huttunen, S., Lehtinen, T. M., & Rintala, J. A. 2008. Anaerobic digestion of grass silage in batch leach bed processes for methane production. *Bioresource technology*, 99(8), 3267-3278.
- Levén, L., Eriksson, A. R., & Schnürer, A. 2007. Effect of process temperature on bacterial and archaeal communities in two methanogenic bioreactors treating organic household waste. *FEMS Microbiology Ecology*, 59(3), 683-693.
- Liedl, B., Bombardiere, J., & Chatfield, J. 2006. Fertilizer potential of liquid and solid effluent from thermophilic anaerobic digestion of poultry waste. *Water Science & Technology*, 53(8), 69-79.
- Liu, T., & Sung, S. 2002. Ammonia inhibition on thermophilic aceticlastic methano-gens. *Water Science Technology*. 45:113-220.
- López, B. F. 2001. El riesgo de desertificación. en Agricultura y desertificación. Martín de Santa, Olalla Maña, Francisco. (Coord).ed. Mundi Prensa S.A. España.
- López, P. J., Montoya, R. B., Brindis, R. C., Sánchez-Monteón, M. A. L., Cruz-Crespo, E., & Morales, R. B. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente Año*, 3(8).

- López, R.M. 2004. Usos alternativos del haba. Editorial. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuicola y Forestal del estado de México. ICAMEX. p 37.
- López-Bellido, F.J., López-Bellido, L.O., & López-Bellido, R.J. 2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 23(4), 359-378.
- López R., Troyo, E., Naranjo, A., Rodríguez, G. & Lucero, A. 2013. Hidroponía. Una tecnología inevitable para la producción agrícola en zonas áridas y semiáridas. Centro de investigaciones biológicas del noroeste, S.C. Año 6, No.133.
- Lorenz, A. J., Gustafson, T. J., Coors, J. G., & Leon, N. D. 2010. Breeding maize for a bioeconomy: a literature survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. *Crop Science*, 50(1), 1-12.
- Machado, A.C. 2002. De la estructura agraria al sistema agroindustrial. Colección Sede. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 320 pp.
- Maltas, A., Charles, R., Jeangros, B., & Sinaj, S. 2013. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. *Soil and Tillage Research*, 126, 11-18.
- Marcato, R. C. E., Pinelli, E., Pourrut, B., Silvestre, J., & Guisresse, M. 2009. Assessment of the genotoxicity of Cu and Zn in raw and anaerobically digested slurry with the *Vicia faba* micronucleus test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 672(2), 113-118.
- Martí, H.J. 2008. Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano. La Paz Bolivia. p 12.
- Massé, D. I., Talbot, G., & Gilbert, Y. 2011. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 436-445.
- Mata, A.J., Mace, S., & Llabres, P. 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74(1), 3-16.
- Mata, A.J., Dosta, J., Romero, G.M.S., Fonoll, X., Peces, M., & Astals, S. 2014. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 412-427.
- Maya, L.J.A y Ramírez, D.J.L. 2002. Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(4), 333-338.
- Mc Geough, E.J., O'Kiely, P., Foley, P.A., Hart, K.J., Boland, T.M., & Kenny, D.A. 2010. Methane emissions, feed intake, and performance of finishing beef cattle offered maize silages harvested at 4 different stages of maturity. *Journal of Animal Science*, 88(4), 1479-1491.
- Méndez, R. 2001. Innovación y redes de cooperación para el Desarrollo Local. Interacciones. *Revista Internacional de Desarrollo Local*, 2(3), 37-44.
- Mills, N., Pearce, P., Farrow, J., Thorpe, R. B., & Kirkby, N. F. 2014. Environmental & economic life cycle assessment of current & future sewage sludge to energy technologies. *Waste Management*, 34(1), 185-195.
- Mintzberg, H., Quinn, J.B., & Voyer, J. 1997. El proceso estratégico. Conceptos, contextos y casos. Ed. Prentice-hall hispanoamericana, S.A. México, México. p 17.
- Mínguez, M. I., Ruiz-Nogueira, B., & Sau, F. 1993. Faba bean productivity and optimum canopy development under a Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 33(4), 435-447.
- Miranda, T., Machado, H., Suset, A., Campos, M., Duquesne, P., & Cruz, A. 2006. Evaluación de la sostenibilidad. Estudio de caso en una Unidad Básica de Producción Cooperativa ganadera. *Pastos y Forrajes*, 29(3).
- Miranda, T., Suset, A., Cruz, A., Machado, H., & Campos, M. 2007. El desarrollo sostenible. Perspectivas y enfoques en una nueva época. *Pastos y Forrajes*, 30(2), 191-204.
- Mishra, M., Sahu, R. K., Sahu, S. K., & Padhy, R. N. 2009. Growth, yield and elements content of wheat (*Triticum aestivum*) grown in composted municipal solid wastes amended soil. *Environment, development and sustainability*, 11(1), 115-126.
- Moller, H.B., Lund, I., & Sommer, S.G. 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresource Technology*, 74(3), 223-229.
- Moller, J., Boldrin, A., & Christensen, T.H. 2009. Anaerobic digestion and digestate use: accounting of greenhouse gases and global warming contribution. *Waste management & Research*, 27(8), 813-824.
- Möller, K., & Stinner, W. 2009. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*, 30(1), 1-16.
- Monnet, F. 2003. An introduction to anaerobic digestion of organic wastes. *Final Report*. 1-43 pp.
- Montagut, X., Dogliotti, F., & Nicholson, P. 2006. Alimentos Globalizados: Soberanía alimentaria y comercio justo. 2da edición. Icaria editorial, S.A. Barcelona.
- Montero, R.F., y Brasa, R.A. 2005. Agua y agricultura sostenible. Presente y Futuro del cultivo de secano. En agua y agronomía. Martín de Santa Olaya, López Fuster & Calera Belmonte. Ed Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Morales, R.E.J., De la O, A.H., Morales, R.A. & De la Cruz, A.V.M. 2002. Evaluación de cinco genotipos de haba (*Vicia faba* L.) con seis niveles de fósforo en Tecámac, México. *Ciencia Ergo Sum*, 9 (2), 183-189.
- Morales, H.J. [Coord]. 2011. La agroecología en la construcción de alternativas hacia la sustentabilidad rural; México: Siglo XXI Editores/Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. pag 38,69.
- Muñoz, R.V., Estrada, J.A.E., García, P.S., Ayala, C.R., & Adame, E.C. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra*, 19(1), 75-81.
- Muñoz, R.V., López, B.L., & López, B.R.J. 2011. Faba bean root growth in a Vertisol: Tillage effects. *Field Crops Research*, 120(3), 338-344.
- Muro, B.P. 2007. Por otra investigación en desarrollo rural. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 4(1), 69-81.
- Musallam, I.W., Al-Karaki, G., Ereifej, K., & Al-Tawaha, A.R. 2004. Yield and yield components of faba bean genotypes under rainfed and irrigation conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(4), 439-448.
- Nadal, M.S., Moreno, Y.M.A., & Cubero, S.I. 2004. Las leguminosas grano en la agricultura moderna. Ed. Mundi-Prensa/Junta Andalucía. Barcelona España. pp 318.
- Nagel, C., & Meyer, P. 1999. Caught between ecology and economy: end-of-life aspects of environmentally conscious manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 36(4), 781-792.
- Nakatani, A.S., Mescolotti, D.L., Nogueira, M.A., Martines, A.M., Miyauchi, M.Y., Stürmer, S.L., & Cardoso, E.J. 2011. Dosage-dependent shift in the spore community of arbuscular mycorrhizal fungi following application of tannery sludge. *Mycorrhiza*, 21(6), 515-522.
- Nielsen, H. B., & Angelidaki, I. 2008. Strategies for optimizing recovery of the biogas process following ammonia inhibition. *Bioresource Technology*, 99(17), 7995-8001.
- Ochoa, G.H. 2006. Modelos de agricultura un marco de análisis sistémico para el sur de Jalisco. Tesis Maestría en estudios regionales en medio ambiente y desarrollo. Universidad Iberoamericana Puebla. Puebla, México.
- Olivera, V.S.M. 2013. La productividad del maíz de temporal en México: Repercusiones del cambio climático. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos CEPAL. Unidad de cambio climático. Santiago de Chile. Pag 6.
- Ortega-Martínez, L.D., Sánchez-Olarte .J., Ocampo-Mendoza. J., Sandoval-Castro, E., Salcido- Ramos, B.A., & Manzo-Ramos. F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*, 6(3), 339-346.
- Ortega-Martínez, .L.D., Ocampo, Mendoza, J., Sandoval, Castro, E., & Martínez, Valenzuela, C. 2014. Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan Puebla, México. *Revista Bio Ciencias*, 2(4), 261-270.
- Osborne, S.L., Schepers, J.S., Francis, D.D., & Schlemmer, M.R. 2002. Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen-and water-stressed corn. *Crop Science*, 42(1), 165-171.
- Osman, A.G., Elaziz, F.I.A., & Elhassa. G.A. 2010. Effects of biological and mineral fertilization on yield, chemical composition and physical characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar seleim. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(7), 703-708.
- Osorio, F., & Torres, J. C. 2009. Biogas purification from anaerobic digestion in a wastewater treatment plant for biofuel production. *Renewable energy*, 34(10), 2164-2171.
- Owamah, H.I., Dahunsi, S.O., Oranusi, U.S., & Alfa, M.I. 2014. Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta. *Waste Management*, 34(4), 747-752.
- Paavola, T. & Rintala, J. 2008. Effects of storage on characteristics and hygienic quality of digestates from four co-digestion concepts of manure and biowaste. *Bioresource Technology*, 99(15), 7041-7050
- Panwar, N.L., Kaushik, S.C., & Kothari, S. 2011. Solar greenhouse an option for renewable and sustainable farming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3934-3945.
- Patrick, J.W., & Stoddard, F.L. 2010. Review. Physiology of flowering and gran filling in faba. *Field crops research*, 115, 234-242.
- Parsons, D., Ramirez-Aviles, L., Cherney, J.H., Ketterings, Q.M., Blake, R.W., & Nicholson, C.F. 2009. Managing maize production in shifting cultivation *milpa* systems in Yucatán, through weed control and manure application. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(1), 123-134.
- Pedraza, G., Chará, J., Conde, N., Giraldo, S., & Giraldo, L. 2002. Evaluación de los biodigestores en geomembrana (pvc) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. *Livestock Research for Rural Development*, 14(1).
- Pérez, R.N., Martín, F.S., y Estrella, C.N. 2006. Factores para determinar usos alternativos de suelo en el municipio de Huejotzingo, Puebla, México. X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Valencia, España 13-15 Septiembre, 2006.
- Pérez, M.A. 2009. Relaciones agroecológicas en unidades domesticas de producción campesina y agricultura sostenible en San José Cuanajillo y El calabozo, Michoacán México. En "Experiencias y aportaciones en la investigación científica y tecnológica para el desarrollo rural". Tomo II agroecología e innovaciones

- tecnológicas. Ignacio Ocampo Fletes y Filemón Parra Inzunza. (Coord). Colegio de Postgraduados. Puebla, México. p 51.
- Pérez, D.R., López, S. H., López, P. A., Gil, M. A., Santacruz, V. A., & Guerrero, R. J. D. D. 2011. Evaluación de poblaciones nativas de maíz en ambientes con heladas en Valles Altos de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(5), 703-714.
- Picado, J., & Añasco, A. 2005. Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense. Serie Agricultura Orgánica 7. San José Costa Rica. 66 p.
- Pichardo, R.J.C., Salvador, E. J.A., Díaz, R.R., Quevedo, N.A., Volke, H.V. & Morales, R.E. 2013. Rendimiento de la eficiencia en el uso de agua de cultivares de haba (*Vicia faba* L.) para doble propósito. *Revista Chapingo: Serie Horticultura*, 19(1), 71-84.
- Pinstrup, A.P. 2009. Food security: definition and measurement. *Food security* 1:5-7
- Pognani, M., D'Imporzano, G., Scaglia, B., & Adani, F. 2009. Substituting energy crops with organic fraction of municipal solid waste for biogas production at farm level: A full-scale plant study. *Process Biochemistry*, 44(8), 817-821.
- Porter, A. I., Roper, A.T., Mason, T.W. & Rossini, F. A. 1991. Forecasting and management of technology. Ed John Wiley and Sons, INC. New York. p 57.
- Potschka, J. & Acosta. G. 2012. Energía Limpia y fertilizante. Sitio argentino de Producción Animal. Producir XXI, Bs.As., 20 (244), 26-32.
- Preston, T. 2005. Los biodigestores en los sistemas agrícolas ecológicos. Energía en la finca. Perú. *LEISA, Revista de agroecología*. 21,18-22.
- Provenzano, M.R., Malerba, A.D., Pezzolla, D., & Gigliotti, G. 2014. Chemical and spectroscopic characterization of organic matter during the anaerobic digestion and successive composting of pig slurry. *Waste management*, 34(3), 653-660.
- Rasi, S., Veijanen, A., & Rintala, J. 2007. Trace compounds of biogas from different biogas production plants. *Energy*, 32(8), 1375-1380.
- Reichmann, J. 2003. Cuidar la T(i)erra. Políticas agrarias y alimentarias sostenibles para entrar en el siglo XXI. Icaria, Barcelona. 623p.
- Resh, H.M. 1997. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Ed. Mundi-Prensa. España. pag 50
- Reséndiz, .A., Aguilar, D.J., & Luévano, G.A. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 15(29), 763-774.
- Ribeiro, S. 2005. Supermercados: ¿Nueva pesadilla campesina? En la Jornada, 8 de enero 2005.
- Rivas, S.O., Faith, V.M. & Guillen, W.R. 2010. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en marcha*, 23(1), 39-46.
- Rodríguez, S. 2000. Hidroponía: Una solución de Producción en Chihuahua, México. Boletín informativo de la red Hidroponía N° 9. Lima, Perú.
- Romero, L.MR., Trinidad S.A., García, E.R., & Ferrera, C.R. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia*, 34(3), 261-269.
- Romero, C., Ramos, P., Costa, C., & Márquez, M.C. 2013. Raw and digested municipal waste compost leachate as potential fertilizer: comparison with a commercial fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 59, 73-78.
- Rosegrant, M.W., & Cline, S.A. 2003. Global food security: challenges and policies. *Science*, 302(5652), 1917-1919.
- Roushdi, M., El-Hawary, A., & Mahgoub, M. 2012. Environmental improvement of Alexandria's wastewater treatment plants using life cycle assessment approach. *Global Nest Journal*, 14(4), 450-459.
- Rowell, D.M., Prescott, C.E., & Preston, C.M. 2001. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials. *Journal of Environmental Quality*, 30(4), 1401-1410.
- Royal Society. 2009. Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture. London, UK, The Royal Society.
- SAGARPA. 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural y Alimentación. Con información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Programa de Ejecución Directa de Agricultura Protegida.
- SAGARPA. 2011. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En línea:http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351. Consultado: Noviembre de 2013.
- SAGARPA 2014a. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2011-2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Consultado: Junio 2014

- SAGARPA 2014b. Secretaria de Agricultura Ganadería, desarrollo Rural y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Consultado: Junio 2014.
- Salminen, E., Rintala, J., Härkönen, J., Kuitunen, M., Högmänder, H., & Oikari, A. 2001. Anaerobically digested poultry slaughterhouse wastes as fertiliser in agriculture. *Bioresource Technology*, 78(1), 81-88.
- Sanderson, S.E. 1990. La transformación de la agricultura mexicana: estructura internacional y política de cambio rural. Juan José Utrilla, Traductor. Alianza Editorial Mexicana. D.F, México. 290 pp.
- SAS. 2002. Statical Analysis System. Inc. 2002. SAS/STAT 9.0. User´s guide. Cary, NC:SAS.
- Schoonhoven, L.M., Van Loon, J.J., & Dicke, M. 2005. Insect-plant biology (No. Ed. 2). Oxford University Press.
- SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recurso Naturales. 2008. Informe de la situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales.
- SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2013. Programa de manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepétl. México, D.F.
- Seppälä, M., Pyykkönen, V., Väisänen, A., & Rintala, J. 2013. Biomethane production from maize and liquid cow manure—effect of share of maize, post-methanation potential and digestate characteristics. *Fuel*, 107, 209-216.
- Silva, C.L., Osorio, D P., & Bello, P.L A. 2007. Digestibilidad del almidón en haba (*Vicia faba* L.). *Agrociencia*, 41(8), 845-852.
- Singh, R.D., & Tiwari, G.N. 2010. Energy conservation in the greenhouse system: A steady state analysis. *Energy*, 35 (6), 2367-2373.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3), 247-266.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan C. 2006. Livestock's long shadow. Environmental Issues and Options. FAO. Agriculture Technical paper, Rome.
- Steiner, A.A. 1961. A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil*, 15(2), 134-154.
- Steiner, A.A. 1984. The Universal Nutrient Solution, Proceedings of IWOSC 1984 6th International Congress on Soilless Culture, pp. 633-650. Wageningen, The Netherlands, Apr 29-May 5, 1984.
- Sterling Jr, M.C., Lacey, R.E., Engler, C.R., & Ricke, S.C. 2001. Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure. *Bioresource Technology*, 77(1), 9-18.
- Soria, F.M.J., Ferrera, C.R., Etchevers, B.J., Alcantar, G.G., Trinidad, S.J., Borgues, G.I & Pereyda, P.G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19(004), 353-362.
- Stoddard, F.L., Nicholas, A., Rubiales, D., Thomas, J. & Villegas, A.M. 2010. Integrated pest management in faba bean. *Field Crops Reserch*, 115, 308–318.
- Stützel, H., & Aufhammer, W. 1992. Grain yield in determinate and indeterminate cultivars of *Vicia faba* with different plant distribution patterns and population densities. *The Journal of Agricultural Science*, 118(03), 343-352.
- Sung, S.W. & Liu, T. 2003. Ammonia inhibition on thermophilic anaerobic digestion. *Chemosphere*, 53:43-52.
- Suso, M.J., Pierre, J., Moreno, M.T., Esnault, R., & Le Guen, J. 2001. Variation in outcrossing levels in faba bean cultivars: role of ecological factors. *The Journal of Agricultural Science*, 136(04), 399-405.
- Suso, M. J., Gilsanz, S., Duc, G., Marget, P., & Moreno, M. T. 2006. Germplasm management of faba bean (*Vicia faba* L.): Monitoring intercrossing between accessions with inter-plot barriers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53(7), 1427-1439.
- Svensson, K., Odlare, M. & Pell, M. 2004. The fertilizing effect of compost and biogas residues from source separated house waste. *Journal of Agricultural Science*, 142, 461-467.
- Talal, T. 2009. Growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under rain fed and irrigated conditions in Jordan. *Bioscience Research*, 6(1):35-39.
- Tambone, F., Genevini, P., & Adani, F. 2007. The effect of short-term compost application on soil chemical properties and on nutritional status of maize plant. *Compost Science & Utilization*. 15(3), 176–183.
- Tambone, F., Genevini, P., D'Imporzano, G. & Adani, F. 2009. Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Bioresource. Technology*, 100(12), 3140-3142.
- Tambone F, Scaglia B, D'Imporzano G, Schievano A, Orzi V, Salati S., & Adani, F. 2010. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. *Chemosphere*, 81(5), 577–583.

- Tamminga, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, 75(1), 345-357.
- Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M., Liebig, M.A., Merrill, S.D., Ries, R.E., Hendrickson, J.R., & Hanson, J.D. 2002. Dynamic Cropping Systems. *Agronomy Journal*, 94(5), 957-961.
- Tani, M., Sakamoto, N., Kishimoto, T., & Umetsu, K. (2006, July). Utilization of anaerobically digested dairy slurry combined with other wastes following application to agricultural land. In *International Congress Series* (Vol. 1293, pp. 331-334). Elsevier.
- Tavakkoli, E., Paull, J., Rengasamy, P., & McDonald, G.K. 2012. Comparing genotypic variation in faba bean (*Vicia faba* L.) in response to salinity in hydroponic and field experiments. *Field Crops Research*, 127, 99-108.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L. & Stensel, H.D. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Fourth edition. McGraw Hill, New York, NY.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R. & Swackhamer, D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292(5515), 281-284.
- TNAU. 2010. Tamil Nadu Agricultural University. Globelics 2010 8th international conference. Making innovation work for society: Linking, Leveraging and learning.
- Toledo, V.M., Alarcón, C. P., & Barón, L. 2002. La modernización rural de México: Un análisis socio-ecológico. Editorial UNAM. México. 130 pp.
- Tognoni, F., Pardossi, A., & Serra, G. 1998. Water Pollution and the Greenhouse Costs. *Acta Horticulturae*, 458(1), 385-394.
- Aparicio, del M.J.O. 2013. Producción de chile en agua (*Capsicum annuum* L.) en hidroponia bajo invernadero: una opción productiva de los espacios periurbanos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Puebla México.
- Trejo, T.L.I., and Gómez, M.F.C. 2012. Nutrient Solutions for hydroponic System. In *Hydroponics-A Standart Methodology for Plant Biological Researches*, Toshiki, Asao. (Ed) Rijeka, Croatia. p 3.
- Turrent, F.A., & Serratos, H.J.A. 2004. Maize and Biodiversity: the effects of transgenic maize in Mexico. Chaper 1: Context and Backgroup on Maize and its Wild Relatives in Mexico.
- Turrent, F.A., Wise, T.A., & Garvey, E. 2012. Achieving Mexico's Maize Potential. Global Development and Environmental Institute. Tufts University.
- UNCTAD. 2010. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. La agricultura en una encrucijada: como garantizar la seguridad alimentaria en un clima mundial cambiante. N° 18, Pag 1evelopment and Environmental Institute. Tufts University.
- Uphoff, N. 2002. Agroecological Innovations: Increasing Food Production with Participatory development. Earthscan, London. P 40.
- Valdés, H. L.A. 2005. Planeación estratégica con enfoque sistémico. Editorial, Fondo editorial F.C.A. D.F. México. pp 81-85.
- Van Langerak, E.P.A., Gonzalez-Gil, G., Van Aelst, A., Van Lier, J.B., Hamelers, H.V.M., & Lettinga, G. 1998. Effects of high calcium concentrations on the development of methanogenic sludge in upflow anaerobic sludge bed (UASB) reactors. *Water Research*, 32(4), 1255-1263.
- Vaneckhaute, C., Meers, E., Michels, E., Ghekiere, G., Accoe, F., & Tack, F. M.G. 2013. Closing the nutrient cycle by using bio-digestion waste derivatives as synthetic fertilizer substitutes: A field experiment. *Biomass and Bioenergy*, 55, 175-189.
- Vargas, L. M. T., Guzmán, A. L., Pérez, A. H., Guerrero, T. D., & Villalobos, J. A. M. 2013. Fertilización orgánica y química del cultivo de maíz (*Zea mays*) de temporal en Michoacán. *agrofaz*, 13(2).
- Vidal, M.M. 2005. Guía agronómica del cultivo de haba, recomendaciones técnicas para siembra en la Sierra Peruana. Churin. Pag 2.
- Virgen, V.J., Arellano, V.J.L., Rojas, M.I., Ávila, P.M.A., & Gutiérrez, H.G.F. 2010. Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(SPE4), 107-110.
- Voča, N., Krička, T., Čosić, T., Rupiće, V., Jukić, Ž., & Kalambura, S. 2005. Digested residue as a fertilizer after the mesophilic process of anaerobic digestion. *Plant Soil Environment*, 51(6), 262-266.
- Wallach, D., Makowski, D., Jones, J.W., & Brun, F. 2014. Working with dynamic crop models (Second Edition) methods, tools and examples for agriculture and environment Chaper 1 Basic of Agricultural System Models. 3-44.
- Walter Borges de Oliveira, S.V., Leoneti, A.B., Magrini Caldo, G.M., & Borges de Oliveira, M. M. 2011. Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustaninable rural propery. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2608-2618.
- Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., & Jones, D. L. 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99(17), 7928-7940.

- Weiland, P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849-860.
- Wole, S. A. 2004. Diccionario ilustrado latín: latino-español/español-latino. Spes editorial, S.L Barcelona, España.
- Wulf, S. Maeting, M. & Clemens, J. 2002. Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emission after spreading: II. Greenhouse gas emission. In *Journal of Environmental Quality*, 31(6), 1795–1801.
- Xu, M.G., Li, D.C., Li, J.M., Qin, D.Z., Kazuyuki, Y., & Hosen, Y. 2008. Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield of rice in Hunan of Southern China. *Agricultural Sciences in China*, 7(10), 1245-1252.
- Zabludowska, E., Kowalska, J., Jedynek, Ł., Wojas, S., Skłodowska, A., Antosiewicz, D.M. 2009. Search for a plant for phytoremediation – What can we learn from field and hydroponic studies? *Chemosphere*, 77(3), 501–507.
- Zagoya, M.J. 2013. Evaluación de biofertilizantes y factores para su innovación con productores de maíz en San Felipe Teotlalcingo, Puebla. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Puebla, México.
- Zhang, X., Ervin, E.H., & Schmidt, R.E. 2003. Physiological effects of liquid applications of a seaweed extract and a humic acid on creeping bentgrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(4), 492-496.
- Zhao S.G., Ren, G. X., Yang, G.H., Feng, Y.Z. & Xi, Q.K. 2007. Effect of spraying biogas slurry on capsicum. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sínica*, 16(3), 128-131.
- Zhao, J., & Zhou, L. 2011. Combined application of organic and inorganic fertilizers on black soil fertility and maize yield. *Journal of Northeast Agricultural*, 18(2), 24-29.
- Zirkler, D., Peters, A., & Kaupenjohann, M. 2014. Elemental composition of biogas residues: Variability and alteration during anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy*, 67, 89-98.
- Zohary, D. & Hopf, M. 2000. Domestication of plants in the Old World. 3rd Ed. Oxford University. 316 pp.

ANEXOS



Anexo 1. Muestras de biol en el laboratorio de microbiología.



Anexo 2. Medición de longitud en mazorca de maíz.



Anexo 3. Plantas de haba en medio de cultivo suelo.



Anexo 4. Plantas de haba en medio de cultivo tezontle.