



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y SU RELACIÓN
CON LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN UN SISTEMA DE CULTIVO
BIOINTENSIVO**

QUE PRESENTA

I.A.I. José Agustín Medina Macías

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRONÓMICAS

TUTOR

Dr. Joaquín Sosa Ramírez

COMITÉ TUTORAL

Dr. José de Jesús Luna Ruiz

M en C Amalio Ponce Montoya

Aguascalientes, Ags, 30 de Junio de 2015



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

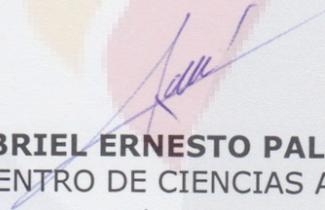
OFICIO NO. CCA-D-111500-185-15

DRA. GUADALUPE RUÍZ CUÉLLAR
DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
P R E S E N T E .

Por medio del presente me permito comunicarle a usted que la tesis titulada "EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN UN SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO", del alumno **C. JOSÉ AGUSTÍN MEDINA MACIAS**, egresado de la Maestría en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, respeta las normas y lineamientos establecidos institucionalmente para su elaboración y su autor cuenta con el voto aprobatorio de su tutor y comité tutorial.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
Jesús María, Ags., 26 de Junio del 2015.
"Se Lumen Proferre"



M. en C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

c.c.p. C.P. Ma. Esther Rangel Jiménez.- Jefa del Departamento del Control Escolar
c.c.p. Sección de Certificados y Títulos
c.c.p. Secretario Técnico
c.c.p. Estudiante
c.c.p. Archivo



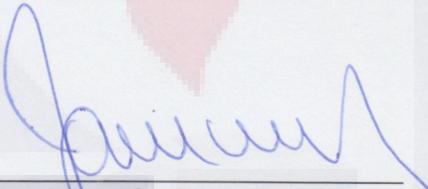
M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PRESENTE

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **JOSÉ AGUSTÍN MEDINA MACÍAS** con ID 53795 quien realizó la tesis titulada **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN UN SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATE NTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Jesús María, Ags., a 26 de Junio de 2015.



Dr. Joaquín Sosa Ramírez
Tutor de Tesis



M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E

Por medio del presente y en calidad de Asesor del estudiante **JOSÉ AGUSTÍN MEDINA MACÍAS** con ID 53795 quien realizó la tesis titulada **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN UN SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"Se Lumen Proferre"

Jesús María, Ags., a 26 de Junio de 2015.

Dr. José de Jesús Luna Ruiz
Integrante del Comité Tutorial



M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PRESENTE

Por medio del presente y en calidad de Asesor del estudiante **JOSÉ AGUSTÍN MEDINA MACÍAS** con ID 53795 quien realizó la tesis titulada **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN UN SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATE NTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Jesús María, Ags., a 26 de Junio de 2015.



M en C Amalio Ponce Montoya
Integrante del Comité Tutorial

AGRADECIMIENTOS

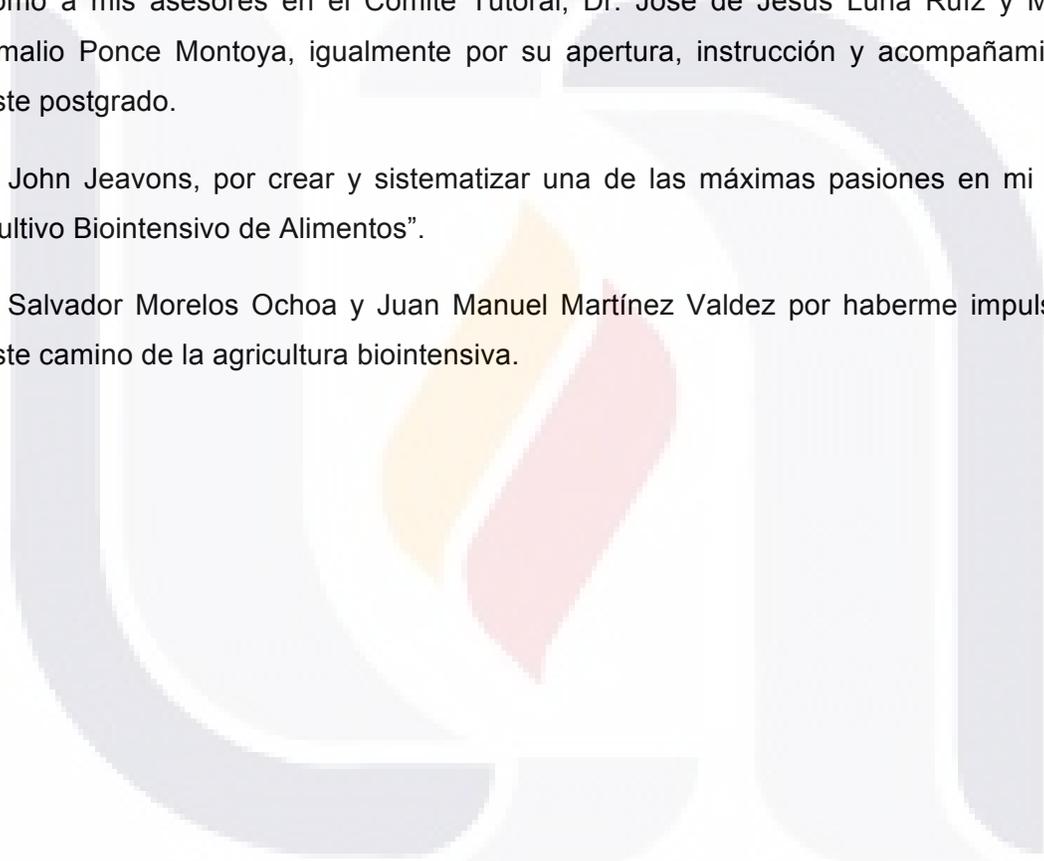
A las fuerzas de la vida que a través del suelo y de la agricultura han despertado mi curiosidad por vivirlas y entenderlas mejor.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de este postgrado.

A mi Tutor Dr. Joaquín Sosa Ramírez por su apertura, instrucción y acompañamiento, así como a mis asesores en el Comité Tutoral, Dr. José de Jesús Luna Ruíz y M. en C. Amalio Ponce Montoya, igualmente por su apertura, instrucción y acompañamiento en este postgrado.

A John Jeavons, por crear y sistematizar una de las máximas pasiones en mi vida “El Cultivo Biointensivo de Alimentos”.

A Salvador Morelos Ochoa y Juan Manuel Martínez Valdez por haberme impulsado en este camino de la agricultura biointensiva.



DEDICATORIA

A las mismas fuerzas de la vida para que se manifiesten más en la agricultura y los campesinos.

A la gran familia biointensiva latinoamericana y del caribe.

A mi Padre y Madre, por sus enseñanzas y acompañamiento.

En especial para Marisol Tenorio López, por ser mi compañera de vida, además de compartir la misma pasión y plan de vida.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL..... 1

ÍNDICE DE TABLAS..... 3

ÍNDICE DE FIGURAS 4

RESUMEN..... 5

ABSTRACT..... 6

I. INTRODUCCIÓN..... 7

 1.1 ANTECEDENTES..... 8

 1.2 JUSTIFICACIÓN 10

 1.3 OBJETIVOS 12

Objetivo General 12

Objetivos Específicos..... 12

 1.4 HIPÓTESIS 13

Hipótesis General..... 13

Hipótesis Particulares..... 13

 1.5 LUGAR DE TRABAJO 14

II. MARCO TEÓRICO..... 16

 2.1 LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS 16

 2.1.1 *Concepto de sistema agrícola*..... 16

 2.1.2 *El sistema agrícola como agroecosistema*..... 18

 2.1.3 *Los recursos de un agroecosistema* 19

 2.1.4 *Los procesos de un agroecosistema*..... 20

 2.1.5 *El estado ecológico y la sustentabilidad de los agroecosistemas*..... 21

 2.2 LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS SUSTENTABLES 23

 2.3 EL SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO 24

 2.3.1 *Principios del Sistema de Cultivo Biointensivo*..... 25

 2.4 EL SUELO 26

 2.4.1 *Propiedades químicas del suelo* 26

 2.4.2 *Propiedades físicas del suelo*..... 27

III. CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ABONOS Y FERTILIZANTES APLICADOS AL SUELO BAJO EL SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO DURANTE OCHO AÑOS .. 34

 3.1 INTRODUCCIÓN 34

 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS 35

 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 36

 3.4 CONCLUSIONES 41

IV. CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y PRODUCTOS COMESTIBLES BAJO SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO DURANTE 16 CICLOS DE CULTIVO..... 42

4.1 INTRODUCCIÓN	42
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	43
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.4 CONCLUSIONES	52
V. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO	
BAJO SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO	53
5.1 INTRODUCCIÓN	53
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS	55
5.2.1 <i>Determinación de las propiedades químicas.</i>	55
5.2.2 <i>Determinación de las propiedades físicas.</i>	56
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
5.3.1 <i>Propiedades químicas.</i>	58
5.3.2 <i>Propiedades físicas</i>	61
5.4 CONCLUSIONES	65
5.4.1 <i>Propiedades químicas.</i>	65
5.4.2 <i>Propiedades físicas</i>	67
CONCLUSIONES GENERALES	68
ANEXOS	69
ANEXO 1	69
ANEXO 2	70
BIBLIOGRAFIA.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURAS EN LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DE SAN JACINTO A 1.5 KM DE DISTANCIA DEL HUERTO “EL MEZQUITE”, DE 2007 A 2014.....15

TABLA 2. EVOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE FERTILIZANTES Y ABONOS APLICADOS AL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO36

TABLA 3. EVOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIOMASA PRODUCIDA DURANTE 8 AÑOS EN EL CICLO PRIMAVERA-VERANO BAJO CULTIVO BIOINTENSIVO45

TABLA 4. EVOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIOMASA PRODUCIDA DURANTE 8 AÑOS EN EL CICLO OTOÑO-INVIerno BAJO CULTIVO BIOINTENSIVO46

TABLA 5. EVOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA TOTAL ANUAL, PRODUCIDA EN EL SISTEMA DURANTE OCHO AÑOS BAJO CULTIVO BIOINTENSIVO.47

TABLA 6. EVOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO DEL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO.58

TABLA 7. CAMBIOS DE LA DENSIDAD APARENTE, DENSIDAD REAL Y PORCENTAJE DE POROSIDAD ENTRE AÑO 0 Y EL AÑO 7 DEL SISTEMA BAJO DE CULTIVO BIOINTENSIVO.61

TABLA 8. REGISTRO DE INTERVALOS DE TIEMPO, PROFUNDIDAD Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE DEL AÑO 0 DEL SISTEMA, SIN CULTIVO BIOINTENSIVO.....62

TABLA 9. REGISTRO DE INTERVALOS DE TIEMPO, PROFUNDIDAD Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AÑO 7 DEL SISTEMA, DESPUÉS DE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO.63

TABLA 10. CAMBIOS DE VOLUMEN DE AGUA RETENIDA EN EL SUELO, ENTRE EL AÑO 0 Y AÑO 7 DEL SISTEMA BAJO CULTIVO BIOINTENSIVO DE ALIMENTOS.....65

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DE MANEJO DEL AGROECOSISTEMA DEL EL HUERTO EL MEZQUITE CON EL SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO14

FIGURA 2 . SISTEMAS AGRÍCOLAS EN AMÉRICA LATINA (FAO, 2012).17

FIGURA 3. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN AGROECOSISTEMA (ALTIERI, 1999).19

FIGURA 4. DIFERENCIA ENTRE ECOSISTEMA NATURAL Y AGROECOSISTEMA (ALTIERI, 1999).20

FIGURA 5. CICLOS DE NUTRIENTES (KOHNKE Y FRANZMEIER, 1995).21

FIGURA 6. ENERGÍA UTILIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE UNA CALORÍA DE24

ALIMENTOS EN LOS EUA (SCHRAMSKI, 2011).24

FIGURA 7. TRIÁNGULO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO (KOHNKE Y FRANZMEIER, 1995).28

FIGURA 8. EVOLUCIÓN DE LAS COMPOSTAS APLICADAS AL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO.38

FIGURA 9. RELACIÓN ENTRE LAS COMPOSTAS APLICADAS Y LA BIOMASA PRODUCIDA POR EL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO38

FIGURA 10. EVOLUCIÓN DE LA CANTIDAD DE ROCA FOSFÓRICA APLICADA AL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO.39

FIGURA 11. EVOLUCIÓN DE LA CANTIDAD DE ALFALFA MOLIDA APLICADA AL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO39

FIGURA 12. EVOLUCIÓN DEL YESO AGRÍCOLA APLICADO AL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO.40

FIGURA 13. EVOLUCIÓN DEL AZUFRE ELEMENTAL APLICADO AL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO40

FIGURA 14. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN COMESTIBLE GENERADA POR EL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS EN PRIMAVERA-VERANO (PV) Y OTOÑO-INVIerno (OI)49

FIGURA 15. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PARTES VEGETATIVAS NO COMESTIBLES GENERADAS POR EL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS, PARTES SECAS (S), PARTES VERDES (V)50

FIGURA 16. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOMASA DEL SISTEMA DURANTE 8 AÑOS DE CULTIVO BIOINTENSIVO.51

FIGURA 17. DIFERENCIA DE LA INFILTRACIÓN DE HUMEDAD ACUMULADA EN EL SUELO A TRAVÉS DEL TIEMPO (MIN) ENTRE EL AÑO 0 Y AÑO 7 DEL SISTEMA BAJO CULTIVO BIOINTENSIVO.....64

RESUMEN

El sistema de cultivo biointensivo es un tipo de agricultura sustentable orgánica en pequeña escala. La evaluación de la producción de biomasa y su relación con las propiedades del suelo durante ocho años con este tipo de agricultura se muestran en la presente investigación, realizada en el Huerto de Investigación y Capacitación en Cultivo Biointensivo “El Mezquite”, Aguascalientes, México de 2007 a 2014 en un área de 115 m². Se realizaron registros de las entradas de fertilizantes y abonos, de la producción comestible, de las partes vegetativas verdes y partes vegetativas secas para la elaboración de composta, así como anualmente los análisis de las propiedades químicas del suelo (macroelementos, microelementos, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH y conductividad eléctrica), estos datos se sometieron a un análisis de regresión lineal. También se tomaron datos para la evaluación de las propiedades físicas como la densidad aparente, densidad real, porcentaje de porosidad y volúmenes de retención de agua, del año 0 y del año 7, sometiendo estos datos a una análisis de prueba de diferencia de medias. Los fertilizantes y abonos que tuvieron una tendencia negativa fueron la harina de alfalfa y la roca fosfórica, la aplicación de composta tuvo una tendencia positiva, relacionada con la tendencia positiva de la producción de biomasa. Las propiedades químicas que presentaron una tendencia positiva $b > 0$ y un alto nivel de significancia ($p < 0.05$) fueron el porcentaje de materia orgánica, el nitrógeno total, el fósforo disponible, el fósforo en reserva y el azufre. La capacidad de intercambio catiónico, el pH, el calcio y el potasio presentaron una tendencia positiva $b > 0$ pero un bajo nivel de significancia ($p > 0.05$), el magnesio fue la única propiedad que presentó una tendencia baja con una $b < 0$ y un alto nivel de significancia ($p < 0.05$). Las propiedades físicas que presentaron diferencias significativas entre el año 0 y año 7 fueron la densidad aparente, el porcentaje de porosidad y los volúmenes de retención de agua, la densidad real presentó una ligera diferencia significativa. De acuerdo a los resultados, el sistema de cultivo biointensivo de alimentos es una alternativa adecuada para los agricultores en relación al mejoramiento del suelo, ya que la producción de biomasa y las propiedades del suelo presentaron una mejora a través del tiempo durante el periodo de estudio.

Palabras clave.- biointensivo, agricultura sustentable, pequeña escala, propiedades del suelo, abonos, fertilizantes, biomasa

ABSTRACT

GROWBIOINTENSIVE farming system is a type of sustainable small scale farming. Evaluation of biomass production and its relation with the soil properties during eight years with this type of farming system, are shown in this research, made in the GROWBIOINTENSIVE training and research garden center " El Mezquite", in Aguascalientes, Mexico, from 2007 to 2014 in a 115 m² area. As well as yearly analyses of the chemical properties of the soil (macroelements, microelements, organic matter, cation exchange capacity, pH and electrical conductivity), inputs records were taken of fertilizers, edible production, green vegetative parts and dry vegetative parts for compost production, these data were subjected to a linear regression analysis. Also took data for the evaluation of the physical properties such as bulk density, particle density, porosity and volume of water retention in the year 0 and the year 7, submitting these data to an analysis of difference of means test. The fertilizers that had a negative trend were phosphoric rock and alfalfa meal, the compost application was a positive trend, related to the positive trend of biomass production. The chemical properties which showed a positive trend, $b > 0$ and a high significance level ($p < 0.05$) were the percentage of organic matter, total nitrogen, available, phosphorus, sulphur and phosphorus in reserve. The cation exchange capacity, pH, calcium and potassium showed a positive trend, $b > 0$ but a low significance level ($p > 0.05$), magnesium was the only property that presented a low trend with a $b < 0$ and a high significance level ($p < 0.05$). Physical properties that were significantly different from the year 0 to year 7 were bulk density, porosity and water retention volumes, the particle density presented a slight difference. According to the results GROWBIOINTENSIVE farming system is a suitable alternative for the farmers in relation to the improvement of the biomass production and soil properties showed an improvement over time during the research period.

Keywords: growbiointensive, small-scale farming, sustainable agriculture, soil properties, organic fertilizers, biomass

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura se define como el arte de cultivar los alimentos, desde que fue descubierta por el ser humano, el proceso civilizatorio se ha acelerado vertiginosamente en relación a la historia del planeta tierra. Hubo cambios en el pensamiento humano, se comenzaron a observar más minuciosamente los procesos y fenómenos naturales, se establecieron estaciones de cultivo, se comenzó con el sedentarismo y el establecimiento de las primeras comunidades, pueblos y ciudades.

Toda práctica agrícola es muy diversa, y por lo tanto sus clasificaciones también varían de acuerdo al lugar del mundo donde se desarrolle. Con la revolución verde surge una agricultura más mecanizada, tecnológica y artificial, ya no dependemos de los insumos orgánicos y minerales que se utilizaban desde su inicio.

Estos conceptos nos dan un marco para afirmar y comentar que la agricultura y el proceso civilizatorio humano evolucionan y se desarrollan a la par. Como seres humanos podemos dejar de realizar muchas prácticas y artes, pero nunca dejar de hacer agricultura ya que de esta depende en esencia la producción de alimentos.

Conforme se desarrolla la tecnología, aumenta la población humana y la demanda de necesidades, la agricultura cambia, se transforma y se adapta a las diversas demandas pero sobre todo a la problemática ambiental y social. El sistema agrícola debe ser eficiente y la eficiencia se evalúa de acuerdo al diseño como agroecosistema, su metodología, los efectos en el suelo y la producción.

El presente proyecto de investigación busca evaluar como a través del tiempo, han cambiado las propiedades físicas y químicas del suelo, la aplicación de abonos y fertilizantes al suelo, la producción en términos de biomasa y productos comestibles, bajo un diseño, metodología y práctica agrícola con el Sistema de Cultivo Biointensivo.

El Sistema de Cultivo Biointensivo surge hace 40 años en Palo Alto California E.U.A., es una síntesis de diversas prácticas agrícolas desarrolladas por culturas milenarias como la china, griega, inca, azteca, etc, las cuales aplicaban en esencia 5 principios universales: como la excavación profunda, elaboración de composta, asociación y rotación de cultivos, uso de semillas de polinización abierta y siembra cercana.

En esta investigación se realizaron diversos análisis de suelo de manera anual para medir las propiedades químicas del suelo, así como los cambios en las propiedades

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

físicas y su relación con la producción en ciclos, primavera-verano y otoño-invierno, para ello se midieron los abonos y fertilizantes aplicados por ciclo, así como la producción de biomasa y productos comestibles. Esta evaluación se realizó en el Huerto de Investigación y Capacitación en Cultivo Biointensivo “El Mezquite”, en un clima semidesértico, de matorral espinoso, en un tipo de suelo phaeozem. El objetivo y enfoque es la evaluación de un sistema de agricultura sustentable en muy pequeña escala como es el sistema de cultivo biointensivo, y así observar la tendencia de cada una de las propiedades químicas y físicas del suelo, la producción y la demanda de nutrientes a través del tiempo, de un suelo trabajado mediante este tipo de agricultura.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Investigación en Cultivo Biointensivo

En el año 2001, John Jeavons en Palo Alto California, comienza a realizar las primeras investigaciones acerca del impacto del sistema de cultivo biointensivo en el suelo, sus propiedades físicas y químicas, así como la relación de la producción. La investigación la presenta de alcance descriptivo, de forma cualitativa no experimental.

El antecedente más cercano fue realizado en 2004 por Marbelis y colaboradores, quienes analizaron el comportamiento del rendimiento de catorce cultivos, y valoraron la fertilidad del suelo en el sitio de estudio llamado Altermex en el Estado de México, durante un período de seis años con la utilización del método biointensivo. Los resultados arrojaron que en los primeros cinco años el rendimiento mantuvo un ritmo creciente en todos los cultivos, manteniéndose dicho crecimiento en el último año, solo en siete de los cultivos estudiados, y se presentó una disminución en los otros siete restantes. Con respecto a las variables de suelo estudiadas (pH, MO, N, P, K, Ca, CIC, Dap) de manera general Marbelis y Colaboradores mencionan que se presentó un mejoramiento de las propiedades físico-químicas del suelo, aunque algunas variables (pH, Ca, CIC) manifiestan una tendencia que se debe atender para que no se presenten problemas tanto en el suelo, como en los cultivos. Este trabajo es solo de alcance descriptivo, no evalúa la relación entre la producción y la demanda de fertilizantes y abonos. Además que no incluye los 8 principios de la metodología descritos en el marco teórico.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Gómez y colaboradores en 2008, realizaron una evaluación de la producción de frijol y rábano en huertos biointensivos del trópico húmedo de Tabasco. Ellos mencionan que el método biointensivo de cultivo brinda la posibilidad del autoabastecimiento de alimentos sanos y la posible venta de los excedentes de producción en mercados locales. Y evaluaron el efecto de la fertilización orgánica, con 5 t/ ha de composta, analizando los rendimientos (peso de toda la planta, peso del bulbo en rábano y granos en frijol), indicadores de crecimiento (diámetro y longitud del bulbo (cm), largo y ancho de las hojas (cm) y altura de la planta (cm) para el rábano; altura de la planta (cm), ancho de las hojas (cm) y número de vainas para el frijol y propiedades físicas y químicas del suelo en fluvisol eútrico (arena, limo, arcilla, MO, N total, relación C/N, P asimilable, CIC, Ca, Mg, K y pH agua) obteniendo mayores rendimiento y mejoramiento de las propiedades del suelo con el sistema biointensivo de cultivo que con el convencional en surcos a gran escala y fertilizantes de síntesis química.

Bomford en 2009, realiza una evaluación en cuanto a la asociación de cultivos en el sistema biointensivo de cultivo. Investiga el potencial de la siembra cercana, con alta densidad de cultivos asociados, principalmente entre tomates y albahaca.

Moore en 2010, realiza una evaluación de la eficiencia energética de la producción biointensiva a pequeña escala de cebolla en Pennsylvania, USA, donde se evalúan las tareas individuales de trabajo humano, la eficiencia, la energía específica y la productividad.

1.1.2 Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo en sistemas de agricultura orgánica y sustentable

En relación a la evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo, mediante diferentes tipos de prácticas agrícolas o sistemas agrícolas y otros estudios tanto descriptivos como correlacionales, de tipo cuantitativo y cualitativo, se puede mencionar lo siguiente:

Bationo en 2007, evalúa la dinámica del carbono del suelo, sus funciones y manejo en los agroecosistemas del oeste de África, aplicando una gran diversidad de fertilizantes de origen orgánico en sistemas a gran escala con cultivos principalmente de maíz, casava (yuca), camote, chícharo, y soya.

Reeve y colaboradores, realizan un estudio de caso, del sistema agrícola

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

sustentable de la Granja López, granja desarrollada con el sistema de cultivo biodinámico, donde se realizó una investigación en relación con el ciclo de producción, las propiedades del suelo y sus efectos midiendo las propiedades biológicas y químicas del suelo. Teniendo como resultado una mejora en estas propiedades a través del tiempo, principalmente en MO, CIC, N, P y K.

Jeroen y colaboradores en 2012, realizan un estudio de alcance descriptivo sobre la optimización multiobjetiva y el diseño de sistemas agrícolas, mediante un diseño con base a un modelo probado y efectivo que representa complejas relaciones entre lo orgánico, a pequeña escala, así como la importancia de las propiedades del suelo.

Bell y colaboradores en 2012, realizaron una investigación sobre el perfil del carbono en el suelo y las reservas de nutrientes bajo diferentes sistemas tanto convencional a largo plazo, como producción orgánica con rotación de cultivos y restablecimiento de pastizales. Teniendo como resultados un aumento en las reservas de carbono y nutrientes como N, K, P en la producción orgánica a largo plazo vs la convencional.

Moreau y colaboradores en 2012, desarrollaron una investigación sobre la reconciliación técnica, económica y ambiental de los sistemas agrícolas en áreas vulnerables, investigando por 7 años en diferentes tipos de suelo y sistemas el flujo del nitrógeno en el suelo, las prácticas agrícolas y su escenario futuro. Concluyendo que es de vital importancia una transición hacia prácticas agrícolas agrícolas sustentables.

La más reciente investigación encontrada es de Mueller y colaboradores en 2013, donde evaluaron la estructura del suelo en el marco de una calificación global de la calidad del suelo, de acuerdo a su importancia en la producción agrícola y de alimentos en el mundo. Resaltando la importancia de la evaluación de las propiedades del suelo.

1.2 Justificación

El Sistema de Cultivo Biointensivo de Alimentos actualmente se práctica en más de 130 países alrededor del mundo, su aceptación y aplicación como metodología se adapta a una gran diversidad tanto ambiental como cultural. Sin embargo no se han evaluado sus efectos de manera sistemática y con rigor científico, hay escasa investigación, y la poca que existe no ha seguido de manera completa los principios y la metodología planteada por el sistema.

En relación a esto también se ha observado que los agricultores no evalúan los efectos que la práctica agrícola tiene sobre las propiedades físicas y químicas del suelo a lo largo del tiempo, ni su relación con la producción y aplicación de abonos y fertilizantes. La falta de análisis y evaluación del sistema de producción conduce a una baja productividad, a la pérdida de la fertilidad de los suelos, a un gasto excesivo de agua, y a un uso excesivo de insumos como abonos y fertilizantes. Por ello, es importante que las opciones que se propongan para el productor o campesino vayan encaminadas a una sustentabilidad en el proceso agrícola, manteniendo adecuadas propiedades químicas y físicas del suelo. La evaluación ayuda al productor para entender como se relacionan las propiedades del suelo con la producción para aumentar la eficiencia del sistema y disminuir el uso de insumos. Es importante darle opciones al productor y campesino, y una de estas podría ser el sistema de cultivo biointensivo.

Responder a las siguientes preguntas es importante para la mayoría de los productores y campesinos biointensivistas como para muchos otros agricultores en el mundo, el país, el estado y la región: ¿Cómo han sido los cambios y el comportamiento en las propiedades fisicoquímicas del suelo?, ¿Cuánta biomasa o productividad primaria se ha producido por ciclo y por año por unidad de área?, ¿Han disminuido las entradas de fertilización de N, P, K, y MO?, ¿A lo largo del tiempo en un sistema biointensivo la demanda para la fertilización disminuye, por la propia estabilización del sistema?, ¿El sistema a lo largo del tiempo se ha estabilizado en el recurso suelo?, ¿Cuáles son los volúmenes de retención y disponibilidad de agua en el suelo?. Responder a estas preguntas es importante para dar una visión del efecto presente y en el tiempo de un sistema agrícola como es el biointensivo, en uno de los recursos naturales más indispensables que es el suelo.

Hay pocos antecedentes de evaluación de las propiedades del suelo, la demanda de fertilizantes y abonos, y la producción de biomasa y productos comestibles, en un sistema de cultivo biointensivo, por lo que resalta la importancia de evaluar el impacto de este sistema agrícola en las propiedades del suelo y la producción, ya que la mayoría de las investigaciones evalúa solo efectos de labranza, propiedades químicas o físicas particulares.

Por todo ello, en el presente trabajo, se proponen los siguientes objetivos:

1.3 Objetivos

Objetivo General

Evaluar la producción de biomasa y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema de cultivo biointensivo.

Objetivos Específicos

1. Cuantificar los abonos y fertilizantes aplicados al suelo durante 8 años bajo sistema biointensivo.
2. Cuantificar la biomasa y productos comestibles producidos bajo el sistema de cultivo biointensivo durante 16 ciclos.
3. Determinar anualmente las propiedades químicas del suelo bajo sistema de cultivo biointensivo.
4. Determinar las propiedades físicas del suelo del año 0 y año 7 bajo sistema de cultivo biointensivo.
5. Cuantificar el volumen de retención y disponibilidad de agua en el suelo del año 0 y del año 7, bajo sistema de cultivo biointensivo.

1.4 Hipótesis

Hipótesis General

La producción de biomasa y las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema de cultivo biointensivo mejoran a través del tiempo.

Hipótesis Particulares

1.- La demanda de abonos y fertilizantes para el suelo bajo sistema biointensivo disminuye y se estabiliza a través del tiempo.

2.- La producción de biomasa y productos comestibles bajo un sistema de cultivo biointensivo se incrementan gradualmente a partir del primer ciclo.

3.- Las propiedades químicas del suelo bajo el sistema de cultivo biointensivo se modifican favorablemente a través del tiempo.

4.- Las propiedades físicas del suelo bajo el sistema de cultivo biointensivo se modifican favorablemente entre el año 0 y el año 7.

5.- La retención y disponibilidad de agua en el suelo bajo sistema biointensivo mejora con el tiempo.

1.5 Lugar de Trabajo

El lugar es el Huerto de Investigación y Capacitación en Cultivo Biointensivo “El Mezquite”, con domicilio Calle de la Capilla #108, Villas de Monte Claro, Municipio de Jesús María, Estado de Aguascalientes, México. El área que se encuentra en las coordenadas geográficas longitud 102.411478 Oeste, latitud 21.895274 Norte a una altitud de 1963.150 metros sobre el nivel del mar. El Huerto el Mezquite se compone de 12 camas de cultivo, 10 camas de 10 m² de medidas de 1.5 m x 6.7 m, 2 camas de 7.5 m² de medidas 1.5m x 5m. (Anexo 1). El suelo de esta área se ha cultivado durante 8 años bajo los principios del método biointensivo de cultivo de alimentos, a partir de noviembre de 2006, hasta la fecha. El suelo de esta área está clasificado como phaeozem.

Este lugar fue evaluado durante 8 años de 2007 a 2014 y 16 ciclos de producción, 2 ciclos por año, ciclo primavera-verano (abril-septiembre) y ciclo otoño-invierno (octubre-marzo), 2 ciclos para los años 2007 al 2013 y solo un ciclo para el 2014 (Figura 1).

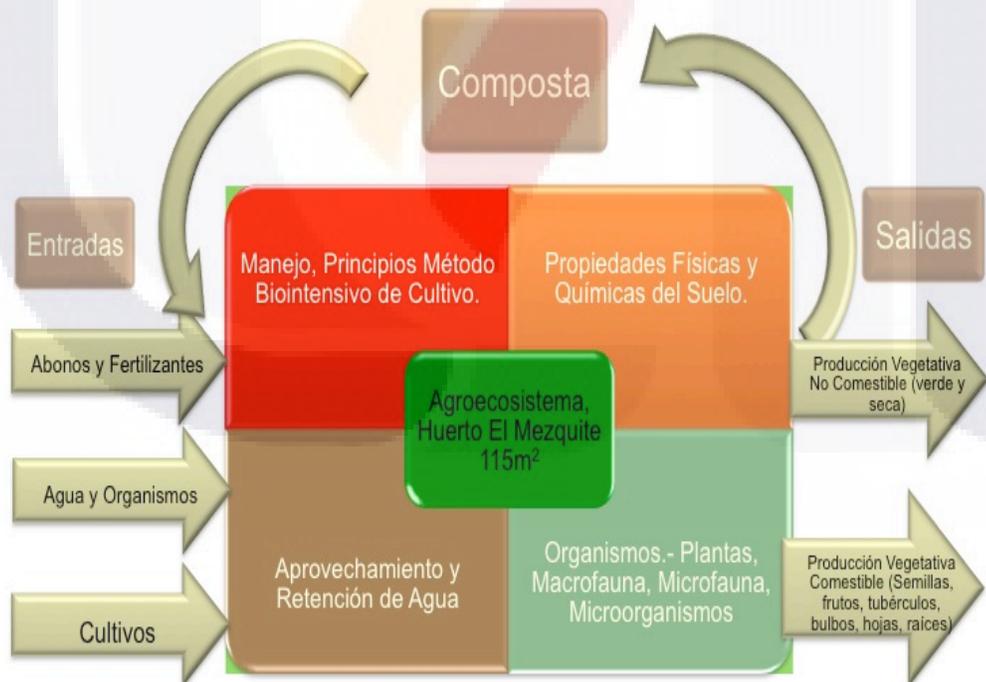


Figura 1. Diagrama de manejo del agroecosistema del El Huerto El Mezquite con el sistema de cultivo biointensivo

La temperatura máxima promedio anual es de 25.28°C a 26.74°C, la temperatura mínima promedio de 8.65°C a 10.9°C, una precipitación de 157.8 mm a 895mm, una temperatura media de 17.8°C a 18.41°C, una máxima de 28.3°C a 30.46°C y una mínima de 1°C a 5.26°C, el clima es semidesertico. (Tabla 1).

Tabla 1. Precipitación y Temperaturas en la estación climatológica de San Jacinto a 1.5 km de distancia del Huerto “El Mezquite”, de 2007 a 2014

Año	Precipitación	Temperatura máxima promedio	Temperatura mínima promedio	Temperatura media	Temperatura máxima	Temperatura mínima
2007	508.6	25.6	9.5	17.48	28.3	4.55
2008	669.8	25.65	8.75	17.9	29.53	2.69
2009	366.8	26.35	9.62	18	29.95	4.22
2010	509	25.39	8.65	17.08	30.6	1
2011	157.8	26.74	9.58	18.41	31.3	2.7
2012	400.2	25.9	9.95	17.94	30.45	4.03
2013	895.8	25.28	10.02	17.57	30.12	5.26
2014	520.9	25.97	10.09	17.89	28.42	3.14

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Los Sistemas Agrícolas

2.1.1 Concepto de sistema agrícola

Los sistemas agrícolas se definen como el conjunto de explotaciones agrícolas individuales o colectivas, con recursos básicos, pautas empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general (FAO, 2012).

Su clasificación se funda en los siguientes criterios (FAO, 2012):

1. Recursos naturales básicos disponibles como son el agua, el suelo, las tierras, zonas de pastoreo y bosque.
2. El clima y la altura como elementos determinantes.
3. El Paisaje comprendiendo la pendiente.
4. La dimensión de la parcela o finca.
5. El régimen, la organización de la tenencia de la tierra.
6. La pauta dominantes de las actividades agrícolas.
7. Los medios de sustento de las familias o productores.
8. Los cultivos, el ganado, los árboles, la acuicultura, como actividades internas.
9. La recolección, la cacería, la elaboración y las actividades externas a la parcela o finca.
10. Las tecnologías y metodologías empleadas que determinan la intensidad de la producción y la integración de los cultivos, el ganado y otras actividades.

De acuerdo al mapa básico de la FAO (Figura 2), los sistemas agrícolas predominantes en México, América Latina y el Caribe son los siguientes:

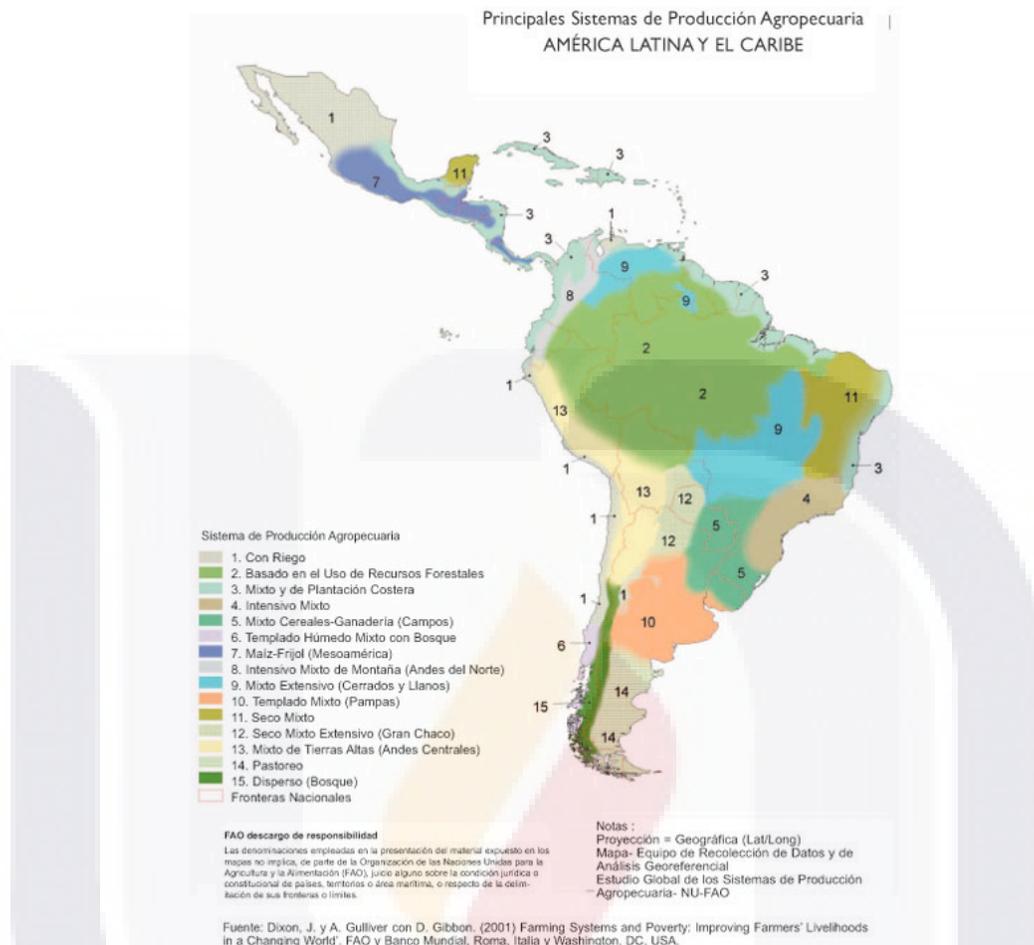


Figura 2 . Sistemas Agrícolas en América Latina (FAO, 2012).

Esta clasificación esta contextualizada a la gran diversidad y complejidad de ecosistemas, climas, culturas, tecnologías y economías donde se desarrollan (FAO, 2012).

También podemos mencionar que los sistemas agrícolas son la principal fuente mundial de alimentos para la población. Estos sistemas, algunas veces llamados **agroecosistemas**, normalmente consisten de varias partes y procesos. Incluyen: un área de cultivo (con suelos formados por procesos geológicos y ecológicos previos), producción y equipamientos para siembra y cosecha, limpieza del terreno, labranza (Gravina y Leyva, 2012). Es necesario un mercado para comprar la producción y proveer el dinero para la adquisición de combustibles, fertilizantes, mercaderías y servicios que mantienen funcionando el sistema (Schramski, 2011).

2.1.2 El sistema agrícola como agroecosistema

Un agroecosistema es un sitio de producción agrícola o un sistema agrícola visto como un ecosistema. Este concepto ofrece un marco de referencia para el análisis de sistemas de producción de alimentos en su totalidad, donde se incluye el complejo conjunto de las entradas y salidas, las diferentes interacciones de las partes y sus transformaciones o procesos internos (Magdoff, 2007).

Para conocer y definir correctamente un agroecosistema hay que partir de los aspectos naturales de un ecosistema, sus partes y relaciones entre los mismos, y analizar sus funciones. El agroecosistema se comprende mejor cuando es comparado, estructural y funcionalmente con su contraparte, el ecosistema natural (Moreau, 2012).

El Ecosistema. "ecosistema o sistema ecológico define una unidad básica de la naturaleza compuesta por un conjunto de organismos (comunidad biótica) y el ambiente no viviente (comunidad abiótica), cada uno influenciando las propiedades del otro y ambos necesarios para el mantenimiento de la vida tal como la tenemos sobre la tierra" (Odum, 1966). El concepto, de sistema agrícola ecológico o agroecosistema que empezó a desarrollarse en las décadas de 1920 y 1930, tiene en cuenta las complejas interacciones entre los organismos - plantas, animales, bacterias, algas, protozoos y hongos, entre otros que forman la comunidad y los flujos de energía y materiales que la atraviesan (Magdoff, 2007).

Los ecosistemas agrícolas, o agroecosistemas, son aquellos "ecosistemas que se utilizan para la agricultura" en formas parecidas, con componentes similares e interacciones y funciones semejantes (Reeve, 2011). Los agroecosistemas comprenden policultivos, monocultivos y sistemas mixtos, sistemas agropecuarios, agroforestales, agrosilvopastoriles, la acuicultura y las praderas, pastizales y tierras en barbecho (Figura 3). Están en todo el mundo, desde los humedales y las tierras bajas hasta las tierras áridas y las montañas. Su interacción con las actividades humanas, comprendidas las actividades socioeconómicas y la diversidad sociocultural, es determinante (Schramski, 2011).

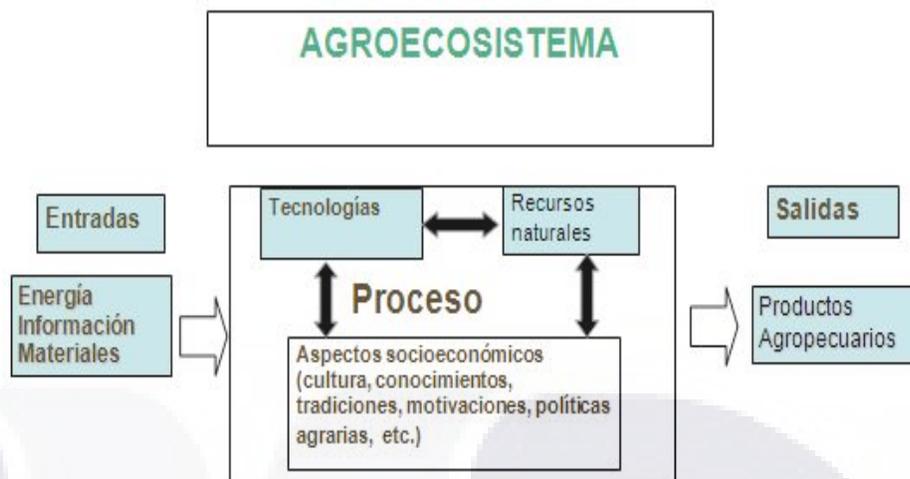


Figura 3. Estructura y funcionamiento de un agroecosistema (Altieri, 1999).

2.1.3 Los recursos de un agroecosistema

Los recursos de los agroecosistemas se encuentran agrupados en cuatro categorías (Altieri, 1999).

Recursos Naturales. Son aquellos provenientes de la tierra, del clima, del agua y de la vegetación. De manera principal el área del predio, su topografía, la profundidad del suelo, la textura del suelo, la estructura del suelo, sus componentes químicos, los minerales, la disponibilidad de agua, la precipitación, evaporación, radiación solar, las temperaturas máximas y mínimas, la vegetación nativa entre otras variables (Gravina y Leyva, 2012).

Recursos Humanos. Aquellos que están compuestos por las personas que tienen la influencia directa en el agroecosistema, que trabajan en él, realizan las labores de cultivo y toman las decisiones de su manejo. Su influencia afecta desde el número de estos o fuerza laboral para trabajarlo y mantenerlo y sobre todo el criterio social, la forma de cómo se va a trabajar de acuerdo al contexto cultural (Moreau, 2012).

Recursos de Capital. Los bienes y servicios creados, transformados dentro del sistema de oferta-demanda, adquiridos para continuar con el trabajo y el uso de los recursos naturales para la producción, pueden ser permanentes como el agua y el suelo, semipermanentes como los sistemas de riego, herramientas, operacionales que son los insumos como los abonos, fertilizantes, semillas y los potenciales, que pueden ser desde un crédito, el apoyo externo, etc (Poulton y col, 2010).

Recursos de Producción. Son aquellos que se producen dentro del agroecosistema como los cultivos o el ganado. Si se venden se convierten en capital o bien en insumos reintegrados al sistema (Jeroen y col, 2012).

2.1.4 Los procesos de un agroecosistema

Al manipular los recursos del lugar o predio para la producción y de acuerdo con el grado de influencia o modificación tecnológica hay una influencia en los cinco procesos, evaluados en términos de insumos, productos y transformaciones (Altieri, 1999).

Procesos energéticos. La fuente energética principal en un agroecosistema es la luz solar, a cuya entrada sufre diversas transformaciones físicas mediante el proceso de la fotosíntesis. La luz solar no es la única fuente de energía, también el trabajo humano y animal, los insumos energéticos mecanizados, como el tractor, combustibles. La energía humana forma la estructura del agroecosistema. (Altieri, 1999). Hay diferencias significativas entre el flujo de la energía y sus procesos entre un agroecosistema y un ecosistema (Figura 4).

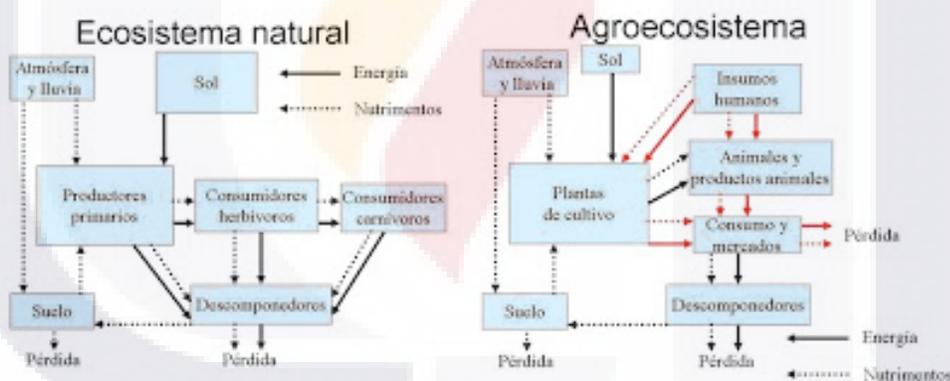


Figura 4. Diferencia entre ecosistema natural y agroecosistema (Altieri, 1999).

Procesos biogeoquímicos. Los insumos biogeoquímicos de un agroecosistema principalmente son los insumos liberados del suelo, nutrientes contenidos en la lluvia y en el agua para riego. (Magdoff, 2007) En un agroecosistema las salidas importantes incluyen los nutrientes contenidos en los mismos cultivos y ganado, en los cuales su almacén principal es el suelo, otras salidas son las lixiviaciones de minerales, volatilización del nitrógeno (Figura 5). Durante la producción y el consumo, los nutrientes se trasladan cíclicamente a través de un agroecosistema como el nitrógeno, el fósforo, potasio como ciclo de nutrientes (Altieri, 1999).

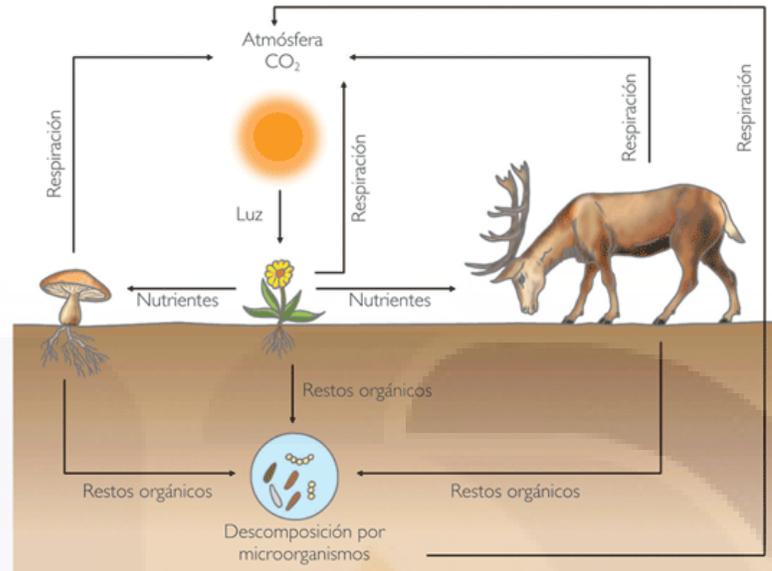


Figura 5. Ciclos de nutrientes (Kohnke y Franzmeier, 1995)

Procesos Hidrológicos. El agua y el suelo son los elementos fundamentales de un sistema agrícola, el aprovechamiento del agua siempre está ligado a la textura y estructura de un suelo (Jeavons, 2001). El agua se almacena en el suelo, en donde se utiliza directamente por los cultivos y la vegetación, de forma subterránea. El equilibrio del agua dentro de un agroecosistema se expresa como el contenido de humedad del suelo, el agua de lluvia efectiva, el flujo del agua hacia el suelo, la evapotranspiración, la percolación profunda, y el contenido original del suelo (Altieri, 1999). La materia orgánica rica en ligninas y celulosas contenidas en el suelo, es un buen almacén de agua (Jeavons, 2001).

Procesos de la regulación biótica. La sucesión y la protección contra las plagas de insectos y enfermedades son principalmente el objeto del proceso de la manutención de la continuidad de la producción de los agroecosistemas (D'Hose y col, 2014). Entendiendo esto como el proceso de control de la plagas y las enfermedades.

2.1.5 El estado ecológico y la sustentabilidad de los agroecosistemas.

Muchos autores y expertos definen a la sustentabilidad como la capacidad de un proceso para mantenerse a sí mismo, también como la manera de vivir bien de forma lo más permanentemente posible en armonía con el medio (Jeavons, 2001). En términos agrícolas la sustentabilidad de un agroecosistema es la capacidad para mantener un

rendimiento que no decline a lo largo del tiempo, dentro de una amplia gama de condiciones (Altieri, 1999).

Para asegurar la permanencia de la fertilidad del suelo, el aprovechamiento adecuado del agua, un mínimo de inversión en insumos etc., debemos tener sistemas agrícolas basados en principios ecológicos que aseguren la sustentabilidad del sistema y que sean rentables para el productor, y así ver al agroecosistema como un sistema holístico. (Bhardwaj y col, 2011)

En el desarrollo de un planteamiento más holístico para evaluar la condición agrícola del agroecosistema, se identifican tres parámetros de evaluación que constituyen expresiones cuantificadas del cambio o proceso ambiental (Altieri, 1999):

- Sustentabilidad.- capacidad de mantener un nivel productivo sin exponer los componentes estructurales o funcionales de un agroecosistema (Reeve, 2011).
- Contaminación de los recursos naturales.- alteraciones causadas por los insumos o productos del sistema a la calidad del agua, aire y suelo (Jeroen y col, 2012).
- Calidad del paisaje agrícola.- la influencia del sistema o modelo agrícola en el uso de la tierra y en los procesos ecológicos (Toumisto, 2012).

A su vez hay que considerar indicadores para un monitoreo que indiquen el proceso holístico o agroecológico (Altieri, 1999).-

- Productividad del cultivo.- estimar la eficiencia de este para lograr el rendimiento deseado.
- Productividad del suelo.- la renovación y permanencia de la fertilidad como recurso primordial del agroecosistema.
- Cantidad y calidad del agua de riego.- los impactos de la calidad y cantidad sobre el entorno ambiental del agroecosistema, y el impacto sobre la cantidad y calidad del agua.
- Uso de insumos químicos, minerales o de origen biológico.- sus efectos sobre las producciones y los sectores que no son objetivo del agroecosistema y ecosistemas adyacentes.

- Diversidad genética.- nivel de diversidad y tasas de su erosión de los cultivos, cultivos asociados, y plantas nativas.

Los científicos perciben al agroecosistema como el resultado de la coevolución entre los procesos sociales y naturales, establecen los procesos ecológicos y son interdependientes con un flujo socioeconómico, tal como el desarrollo o la adopción de sistemas y tecnologías agrícolas (metodologías) que son el resultado de las interacciones entre los agricultores con sus conocimientos y su entorno biofísico y socioeconómico (Schramski, 2011). El entendimiento de esta coevolución y el patrón de flujo paralelo e interdependiente provee la base para el estudio y el diseño de agroecosistemas sustentables (Altieri, 1999). De acuerdo a lo anterior nos podemos preguntar ¿Qué métodos o técnicas existen actualmente que tomen en cuenta estos parámetros e indicadores así como el término de agroecosistema sustentable?.

2.2 Los Sistemas Agrícolas Sustentables

Para comprender que es un sistema agrícola sustentable, hay que describir sus elementos y dogmas básicos como son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al ambiente y el mantenimiento de un nivel alto de productividad (Schramski, 2011). Se debe poner énfasis en su permanencia a largo plazo, por lo que el sistema debe:

- Reducir el uso de energía y recursos (Figura 6).
- Emplear métodos de producción que restablezcan los mecanismos homeostáticos conducentes a la estabilidad de la comunidad, optimizar las tasas de intercambio, el reciclaje de materia y nutrientes, utilizar al máximo la capacidad multiuso del sistema y asegurar un flujo eficiente de energía.
- Fomentar la producción local e insumos alimenticios, adaptados al establecimiento socioeconómico y natural.
- Reducir los costos y aumentar la eficiencia y la viabilidad económica.

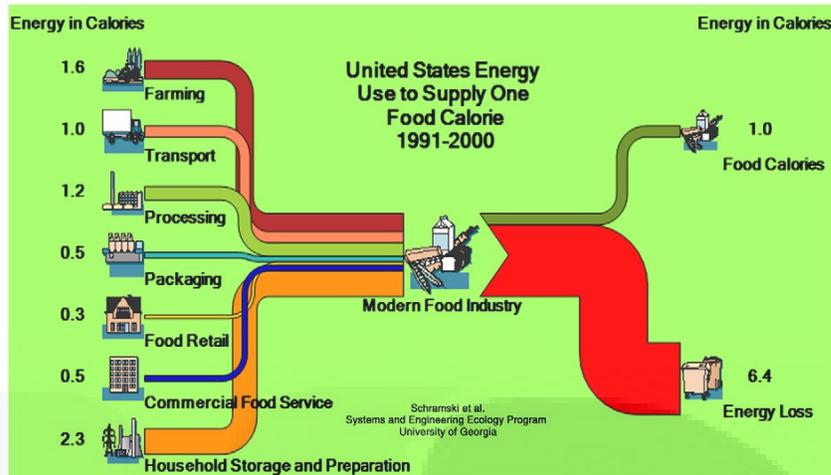


Figura 6. Energía utilizada para la producción de una caloría de alimentos en los EUA (Schramski, 2011).

De acuerdo a lo descrito, hay diversas metodologías de manejo de los agroecosistemas que en sus principios aplican lo ya descrito, una de estas agriculturas mencionadas son el Cultivo Biointensivo de Alimentos (Schramski, 2011).

2.3 El Sistema de Cultivo Biointensivo

El Sistema de Cultivo Biointensivo, es un método que ha sido derivado directa e indirectamente de diversas prácticas agrícolas similares desarrolladas independientemente en diferentes partes del mundo desde hace alrededor de 1000 a 4000 años antes de la fecha actual, tal como en China, Grecia, Bolivia, Perú, México, Japón y más recientemente en Francia, Rusia, Irlanda y otras parte de Europa (Jeavons, 2001). Los sistemas agrícolas biointensivos se practican a una muy pequeña escala, son unidades de 10m² por parcela, esto tiene una buena ventaja establecida de una relación inversa entre el tamaño y la productividad (Moore, 2010). Las prácticas biointensivas utilizan técnicas de excavación profunda que han llegado a incrementar la producción por arriba de un 63% en relación a las prácticas de baja labranza (Moore, 2010).

En la producción biointensiva, una práctica es detallar y especificar el registro de datos, lo que proporciona importante información para observar la tendencia de la producción y el uso eficiente de la energía (Moore, 2010).

El sistema de cultivo biointensivo entre sus diversas prácticas incluye el crecimiento y desarrollo de las plantas en una alta densidad en poco espacio, en

contraste con el uso de surcos, en camas fertilizadas principalmente con composta (Bomford, 2009).

2.3.1 Principios del Sistema de Cultivo Biointensivo

Para quien pretenda obtener los beneficios del método Biointensivo y al mismo tiempo mejorar la calidad del suelo que cultiva, la clave es tener una clara comprensión de sus principios, los cuales por su sencillez han sido ampliamente asimilados y aplicados por individuos y comunidades en más de 130 países en el mundo, estos principios son: (Jeavons, 2001).

Uso y elaboración de la composta. Es el principio primordial y por cuya práctica los nutrientes se recirculan en el suelo, así como buscar la mejora de las propiedades físicas como la estructura y químicas como el pH y la materia orgánica (Jeavons, 2012).

Excavación profunda. Consiste en cavar a una profundidad ideal de 60 centímetros para proporcionar mayor oxigenación a las raíces y desarrollar mayor cantidad de materia orgánica (Jeavons, 2012).

Siembra cercana. Consiste en la distancia mínima que requiere la planta para desarrollarse adecuadamente con buenos rendimientos sin entrar en competencia, esta práctica también incluye la elaboración de almácigos (Bomford, 2009).

Asociación y rotación de cultivos. Reglas y métodos para asociar y rotar para cuidar el flujo de nutrientes en el suelo, así como asociaciones que beneficien la producción en el espacio-tiempo (Bomford, 2009).

Uso de semillas de polinización abierta. Semillas que se puedan reproducir de manera lo más simple posible, para asegurar independencia al productor y adaptación a los diferentes climas y zonas de forma local (Jeavons, 2012).

Cultivos eficientes en biomasa y contenido calórico. Producción alta en biomasa en términos de carbono, para aportar material para la composta y recircular nutrientes, así como alimento alto en calorías como son los granos y semillas (Jeavons, 2012).

Cultivos eficientes en área y peso. Máxima producción de calorías en poco espacio utilizando cultivos especiales como la papa, el camote, el ajo, el poro etc. Cultivos que por unidad de área dan más peso de rendimiento (Jeavons, 2012).

Sistema integral. Cada uno de los principios se tiene que trabajar de manera simultánea para asegurar un proceso agrícola lo más sostenible posible (Jeavons, 2012).

2.4 El Suelo

El suelo es un elemento natural muy complejo que puede presentar muchas variantes dependiendo de la región geográfica, de las transformaciones que el ser humano haya aplicado sobre el mismo, etc. Puede estar compuesto por una sección rocosa o inorgánica para luego estar cubierto por diversas y muy disímiles entre sí capas de otros elementos como arcilla, arena, o el humus o tierra orgánica donde la vida es posible. Esta última capa es la que suele estar en la parte superior del suelo y donde el desarrollo de diferentes formas de vida es más probable (Kohnke y Franzmeier, 1995).

La importancia del suelo radica en el uso que hace el ser humano para el cultivo de sus alimentos más básicos. Al mismo tiempo, es en el suelo donde naturalmente crecen las plantas consumidas por los eslabones secundarios de la cadena o los animales herbívoros. Para que los vegetales crezcan es importante que el suelo cuente con riego frecuente (tanto natural como artificial). Además, el suelo no sólo es importante para el ser humano en lo que respecta a la producción alimenticia si no que también tiene que ver con la posibilidad de establecer viviendas o construcciones más complejas. Para eso, el suelo tiene que ser firme, estable y seguro (Plaster, 2013).

En un agroecosistema el suelo es el eje integrador de la mayoría de los procesos que intervienen en el desarrollo y crecimiento de las plantas (Magdoff, 2007), en el sistema de cultivo biointensivo el suelo es el eje principal en cuanto al diseño, planeación y manejo del sistema, la prioridad principal para un productor o campesino que practica la agricultura biointensiva es el mejoramiento y mantenimiento de un suelo vivo y fértil (Jeavons, 2001).

2.4.1 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo son en parte el contenido de nutrientes, que son los macroelementos como Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre y

Sodio. Los microelementos que son el Cobre, Fierro, Manganeseo, Zinc, Molibdeno, Cobalto y Boro. También es el contenido MO (Materia Orgánica), CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y el pH (Abbott y Murphy, 2007).

2.4.2 Propiedades físicas del suelo.

Las propiedades físicas del suelo están relacionadas con la capacidad que tiene éste para ofrecer diferentes usos que sean de provecho para el ser humano. Para el buen uso, conservación, manejo y recuperación del recurso suelo, se requiere conocer los fundamentos primordiales de las características físicas del suelo. La productividad de un suelo no sólo depende de sus contenidos nutrimentales, sino también, de las condiciones físicas del mismo, condiciones que en ocasiones, no se determinan. Hay que recordar, que el desarrollo de la parte aérea de una planta depende del desarrollo de la raíz la que, a su vez, dependerá de que el suelo tenga un buen balance de aireación y humedad (Delgadillo y Martínez, 2012).

Textura. El suelo está constituido por partículas de muy diferente tamaño. Conocer esta granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo (ya sea desde un punto de vista genético como aplicado). Para clasificar a los constituyentes del suelo según su tamaño de partícula se han establecido muchas clasificaciones granulométricas. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase (Kohnke y Franzmeier, 1995). Cada término textural corresponde con una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla. En los términos de textura se prescinde de los contenidos en gravas; se refieren a la fracción del suelo que se estudia en el laboratorio de análisis de suelos y que se conoce como tierra fina.

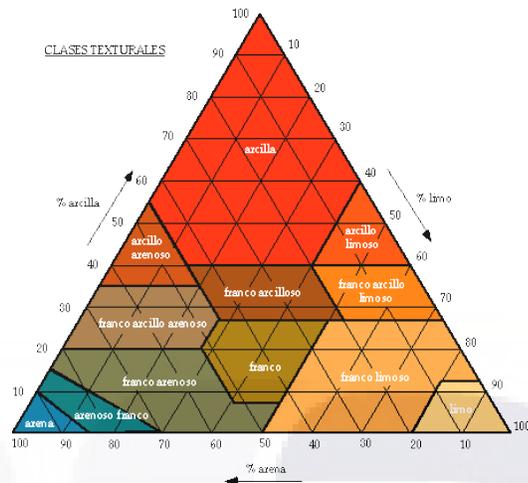


Figura 7. Triángulo para la determinación de la textura del suelo (Kohnke y Franzmeier, 1995).

Estructura. La estructura es la manera de como las partículas del suelo están aglomeradas y acomodadas formado diferentes tipos granulometría, superficies y perfiles. Esta puede ser determina por métodos visuales y procedimientos de evaluación para obtener información de las funciones de formación de las características macro-morfológicas del suelo (Mueller y col, 2013).

Porosidad. Es el porcentaje total de huecos que hay entre el material sólido de un suelo. Es un parámetro importante porque de él depende el comportamiento del suelo frente a las fases líquida y gaseosa, y por tanto vital para la actividad biológica que pueda soportar. Se estudia con la técnica micromorfológica y se cuantifica de una manera indirecta en las medidas de densidad real y de densidad aparente (Kohnke y Franzmeier, 1995)

Densidad El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades. La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros). La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo (Plaster, 2013)

2.5 Ciclos Biogeoquímicos

Un ciclo biogeoquímico es el movimiento de cantidades de carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, calcio, sodio, azufre, fósforo, potasio, y otros elementos entre los seres vivos y el ambiente mediante una serie de procesos de producción y descomposición (Bandyopadhyay y col, 2010). En la biosfera la materia es limitada de manera que su reciclaje es un punto clave en el mantenimiento de la vida en la Tierra; de otro modo, los nutrientes se agotarían y la vida desaparecería (Nebel, 1999). En el sistema biointensivo de cultivo a través de una priorización del suelo como eje principal del sistema otro objetivo es la promoción de los ciclos biogeoquímicos, principalmente el del Carbono (Jeavons, 2012).

2.5.1 Tipos de Ciclos Biogeoquímicos

Sedimentario. La mayoría de los ciclos de los minerales, los cuales circulan entre las diferentes capas del suelo y los organismos vivos. Y su reciclamiento es más lento (Nebel, 1999).

Hidrológico. Ciclo del Agua. Hay una intervención mínima de reacciones químicas, y el agua solamente se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico (Nebel, 1999).

2.5.2 El Ciclo del Agua

Es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimentos de la hidrósfera. Se trata de un ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención de reacciones químicas, y el agua se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico (Nebel, 1999).

Evaporación: El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre la superficie terrestre y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración en plantas y sudoración en animales.

Condensación: El agua en forma de vapor sube y se condensa formando las nubes, constituidas por agua en pequeñas gotas.

Precipitación: La precipitación puede ser sólida (nieve o granizo) o líquida (lluvia).

Infiltración: Ocurre cuando el agua que alcanza el suelo, penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea.

Escorrentía: Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno.

Circulación subterránea: Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión. Se presenta en dos modalidades:

Fusión: Este cambio de estado se produce cuando la nieve pasa a estado líquido al producirse el deshielo.

En el sistema de cultivo biointensivo mediante los principios de la excavación profunda y la siembra cercana se busca promover que el agua se aproveche de la forma más eficientemente posible.

2.5.3 Ciclo del Carbono

Del Carbono depende la producción de materia orgánica que es el alimento básico y fundamental de todo ser vivo. El carbono es un componente esencial para los vegetales y animales. Interviene en la fotosíntesis bajo la forma de CO₂ (dióxido de carbono) o de H₂CO₃ (ácido carbónico), tal como se encuentran en la atmósfera. Este gas está en la atmósfera en una concentración de más del 0,03% y cada año aproximadamente un 5% de estas reservas de CO₂ se consumen en los procesos de fotosíntesis, es decir que todo el anhídrido carbónico se renueva en la atmósfera cada 21 años (Nebel, 1999).

En su ciclo biológico, los intercambios de carbono (CO₂) entre los seres vivos y la atmósfera, es decir, la fotosíntesis, proceso mediante el cual el carbono queda retenido en las plantas y la respiración que lo devuelve a la atmósfera. Este ciclo es relativamente rápido, estimándose que la renovación del carbono atmosférico se produce cada 20 años (Manlay y col, 2007).

En el sistema biointensivo en su diseño un 60% de los cultivos son altos en biomasa (carbono estructural), los cuales se destinan a la producción de composta promoviendo este ciclo.

2.5.4 Ciclo del Nitrógeno

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Es uno de los procesos biológicos y abióticos en que se basa el suministro de este elemento de los seres vivos. Es uno de los ciclos biogeoquímicos importantes en que se basa el equilibrio dinámico de composición de la biosfera terrestre. (Capene y col, 2006)

Fijación y asimilación del Nitrógeno

El primer paso en el ciclo es la fijación del nitrógeno de la atmósfera (N_2) a formas distintas susceptibles de incorporarse a la composición del suelo o de los seres vivos, como el ion amonio (NH_4^+) o los iones nitrito (NO_2^-) o nitrato (NO_3^-) (aunque el amonio puede usarse por la mayoría de los seres vivos, las bacterias del suelo derivan la energía de la oxidación de dicho compuesto a nitrito y últimamente a nitrato), y también su conversión a sustancias atmosféricas químicamente activas, como el dióxido de nitrógeno (NO_2), que reaccionan fácilmente para originar alguna de las anteriores (Capene y col, 2006)

El principio de la composta y el manejo de abonos verdes, junto con la rotación y asociación de cultivos se promueve este ciclo en un sistema de cultivo biointensivo.

2.5.5 Ciclo del Fósforo

Los seres vivos toman el fósforo (P) en forma de fosfatos a partir de las rocas fosfatadas, que mediante meteorización se descomponen y liberan los fosfatos. De las rocas se libera fósforo en el suelo, donde es utilizado por las plantas para realizar sus funciones vitales. Los animales obtienen fósforo al alimentarse de las plantas o de otros animales que lo hayan ingerido (Plaster, 2013). En la descomposición bacteriana de los cadáveres, el fósforo se libera en forma de ortofosfatos (H_3PO_4) que pueden ser utilizados directamente por los vegetales verdes, formando fosfato orgánico (biomasa vegetal), la lluvia puede transportar este fosfato a los mantos acuíferos o a los océanos. El fósforo no forma compuestos volátiles.

Solo existen dos mecanismos para el reciclaje del fósforo desde el océano hacia los ecosistemas terrestres. (Plaster, 2013) Uno es mediante las aves marinas que recogen el fósforo que pasa a través de las cadenas alimentarias marinas y que pueden devolverlo a la tierra firme en sus excrementos. Además de la actividad de estos animales, hay la posibilidad del levantamiento geológico de los sedimentos del océano hacia tierra firme, un proceso medido en miles de años (Konhke, 1995).

El fósforo como abono es el recurso limitante de la agricultura. Ya que este recurso no tiene reserva en la atmósfera, su extracción se ve limitada a los yacimientos terrestres (la mayor en Marruecos) y la gráfica de su producción mundial se parece a la de una extracción petrolera, en forma de campana. Con el uso actual se proyecta que se estará agotando alrededor del año de 2051 (Doherty y Jeeves, 2015).

2.5.6 Ciclo del Calcio

El calcio es un mineral que se encuentra en la litosfera formando grandes depósitos de origen sedimentario, que emergieron de fondos marinos por levantamientos geológicos. Estas rocas, contienen restos fosilizados de animales marinos con caparazones ricos en calcio; en mineralogía se conocen como rocas calizas. La lluvia y los agentes atmosféricos descomponen las rocas calizas, arrastrando los compuestos del calcio a los Suelos, a los ríos y al mar. El calcio es absorbido por las plantas y animales, en cualquier punto del ciclo, ya sea por la cadena alimenticia o por la absorción del agua (Van Esso, 2006). Cuando las plantas o los animales mueren, los descomponedores liberan el calcio, el cual regresa al suelo. Los ríos se encargan de que el destino final sea otra vez el fondo de los océanos, de los cuales, después de largos periodos, vuelven a emerger en forma de rocas (Plaster, 2013).

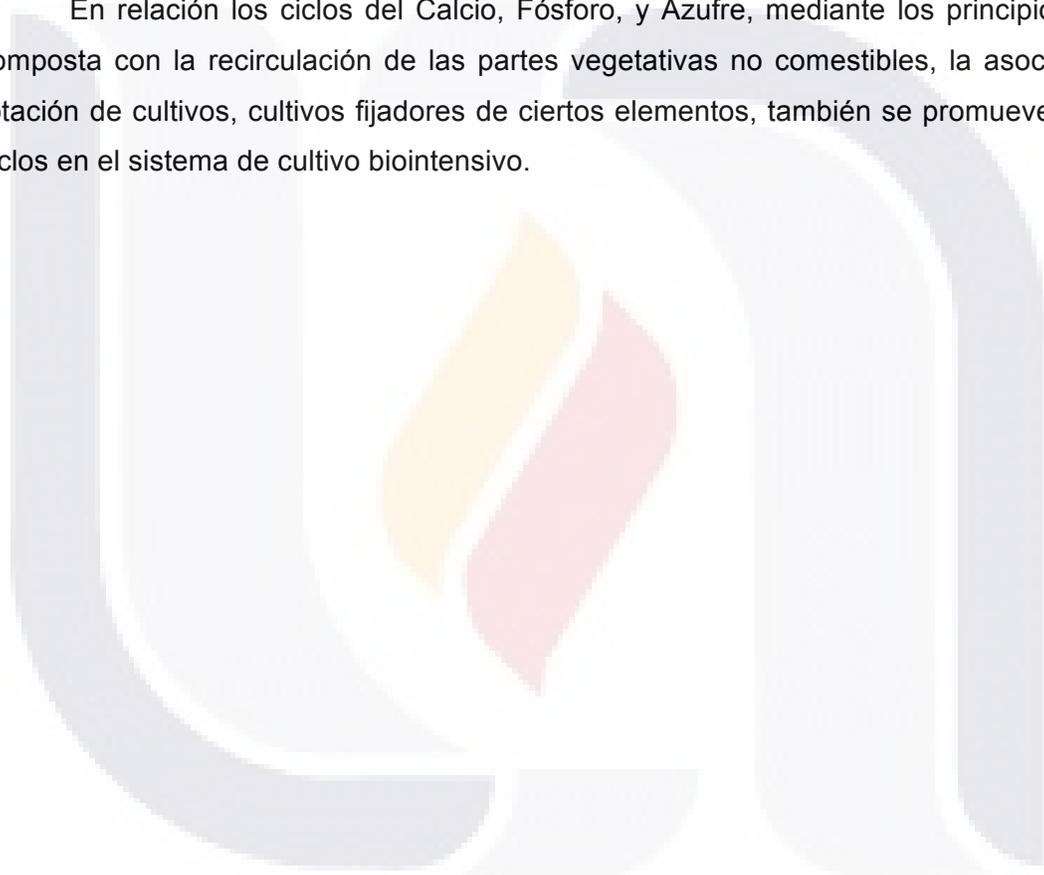
El calcio se recicla continuamente en la litosfera y poco a poco por efecto de la erosión en los suelos, producida por el transporte de las aguas subterráneas y por los agentes atmosféricos como el viento y el agua de lluvia, el calcio se escurre a los arroyos y ríos. El calcio forma depósitos sedimentarios en las cuevas y por efecto de la erosión, este elemento pasa a los cuerpos de agua que se forman cuando caen las lluvias y el agua se filtra por las paredes y el techo de las cuevas (Van Esso, 2006).

2.5.7 Ciclo del Azufre

Las plantas y otros productores primarios lo obtienen en su forma oxidada, principalmente como ion sulfato (SO_4^{2-}) que, tras ser reducido se incorpora a sus proteínas. Los organismos que ingieren estas plantas lo incorporan a su vez a sus proteínas, y de esta forma pasa a los organismos del nivel trófico superior (Walker y col, 2004).

Los intercambios de azufre, principalmente en su forma de dióxido de azufre SO_2 , se realizan entre las comunidades acuáticas y terrestres, de una manera y de otra en la atmósfera, en las rocas y en los sedimentos oceánicos, en donde el azufre se encuentra almacenado. El SO_2 atmosférico se disuelve en el agua de lluvia o se deposita en forma de vapor seco. El reciclaje local del azufre, principalmente en forma de ion sulfato, se lleva a cabo en ambos casos. Una parte del sulfuro de hidrógeno (H_2S), producido durante el reciclaje local del sulfuro, se oxida y se forma SO_2 (Van Esso, 2006).

En relación los ciclos del Calcio, Fósforo, y Azufre, mediante los principios de la composta con la recirculación de las partes vegetativas no comestibles, la asociación y rotación de cultivos, cultivos fijadores de ciertos elementos, también se promueven estos ciclos en el sistema de cultivo biointensivo.



III. CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ABONOS Y FERTILIZANTES APLICADOS AL SUELO BAJO EL SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO DURANTE OCHO AÑOS

3.1 Introducción

Los fertilizantes y abonos son insumos importantes para la agricultura. Estos se pueden clasificar como fertilizantes sintéticos, que son principalmente todos aquellos de síntesis química derivados de petróleo, y fertilizantes naturales, que pueden ser de origen biológico y/o de origen mineral.

El uso de fertilizantes sintéticos contribuye con más del 40% a la producción mundial de alimentos y se espera que su uso aumente a medida que la población mundial se incremente (Rodríguez y col, 2014). Un problema grave ocasionado por el uso de este tipo de fertilizantes es la esterilización de los suelos (Diacono y Montemurro 2009). Desafortunadamente la demanda de fertilizantes sintéticos va en aumento, incrementando así los gastos de inversión por parte del agricultor, y el deterioro de suelos agrícolas.

Por su parte, los fertilizantes naturales, que son insumos importantes para la agricultura orgánica y sustentable (Annaheim y col, 2015), han aumentado su producción y utilización en tiempos recientes. La superficie mundial con fertilizantes naturales en 2010 fue de 37 millones de hectáreas (Rodríguez y col, 2014). Estos fertilizantes y abonos contribuyen a la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los fertilizantes naturales pueden clasificarse por su origen en tres tipos: en primer lugar están los biológico-orgánicos que incluyen las harinas o moliendas vegetales (alfalfa molida, pasta de soya, algodón etc.), y las harinas o moliendas animales (harina de pescado, harina de sangre, harina de hueso). En segundo lugar están los estiércoles animales y los abonos tales como las compostas y las vermicompostas. En el tercer tipo están los fertilizantes de origen mineral, como la roca fosfórica, el yeso o sulfato de calcio agrícola, la cal, el azufre elemental, y otros.

El sistema de cultivo biointensivo, como otros sistemas agrícolas sustentables, utiliza principalmente fertilizantes y abonos de origen natural, y como todo sistema sustentable, uno de sus objetivos principales es asegurar o alcanzar la producción sostenida bajo un modelo de autosuficiencia, disminuyendo gradualmente la entrada de

insumos externos y aumentando los insumos internos, los cuales son generados al interior del mismo sistema.

A pesar de su gran popularidad, a la fecha no se cuenta con la información necesaria para caracterizar y evaluar la sustentabilidad del sistema de cultivo biointensivo. Lo anterior es necesario para identificar las fortalezas y debilidades del sistema en ecosistemas y zonas geográficas específicas, y con ello proponer acciones de manejo y mejora para garantizar los objetivos de sustentabilidad.

Por ello, el objetivo del presente capítulo fue cuantificar y analizar la demanda de abonos y fertilizantes aplicados al suelo durante 8 años, como parte de las prácticas de manejo realizadas en un sistema de cultivo biointensivo en la región semiárida del Centro de México. En este capítulo de la tesis se pretende demostrar que la demanda de abonos y fertilizantes en el sistema biointensivo disminuye y se estabiliza a través del tiempo.

3.2 Materiales y Métodos

Los datos para el estudio fueron generados en el centro de investigación y capacitación en cultivo biointensivo “El Mezquite”, localizado en la localidad La Tomatina, Municipio de Jesús María, en el estado de Aguascalientes, México. El Huerto el Mezquite se compone de 12 camas de cultivo, 10 camas de 10 m² de medidas de 1.5 m x 6.7 m, 2 camas de 7.5 m² de medidas 1.5m x 5m. El suelo de esta área se ha cultivado durante 8 años bajo los principios del método biointensivo de cultivo de alimentos a partir de noviembre de 2006 hasta la fecha.

Se elaboró una base de datos con las cantidades aplicadas de los diferentes abonos y fertilizantes por año desde 2007 hasta 2014. Los abonos y fertilizantes considerados fueron los siguientes.-

1. De origen mineral.- Yeso agrícola (sulfato de calcio) utilizado para bajar el nivel de sodio en el suelo, azufre elemental utilizado para bajar el pH del suelo y roca fosfórica para incrementar los niveles de fósforo en el suelo.
2. De origen vegetal.- Alfalfa molida utilizada principalmente como fuente de nitrógeno y minerales menores como el hierro y el zinc.
3. De origen orgánico.- Composta elaborada con los materiales generados dentro del sistema principalmente de partes vegetativas en estado maduro e inmaduro.

Todos los abonos se pesaron antes de su aplicación se pesaron en una báscula colgante electrónica marca CRT, Criotec Global, Modelo OCS-20A con precisión de 0.01Kg,

registrando los datos en kilogramos, y adecuando los resultados a kg/m² (tabla 2). La aplicación de la composta, harina de alfalfa se aplicaron en cada ciclo de cultivo, para primavera verano en los meses entre abril y junio conforme se cambiaba de cultivo en cada cama, y en otoño invierno en los meses de septiembre a noviembre. La roca fósforica en el ciclo de primavera verano en los meses de abril a junio. El azufre elemental y el yeso agrícola en el ciclo primavera verano de abril a junio solamente en los años requeridos de acuerdo a los análisis de suelo.

Para el análisis de los datos se realizó una prueba estadística de regresión lineal, mediante la fórmula matemática $y=a+bx$, donde la variable predictora (Y) son los kilogramos de fertilizantes y abonos, y la variable de respuesta (X) son los años de aplicación.

3.3 Resultados y Discusión

Los abonos y fertilizantes aplicados al sistema así como los análisis de regresión lineal durante los ocho años se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Evolución y análisis de fertilizantes y abonos aplicados al sistema durante 8 años de cultivo biointensivo

Fertilizante	Años de aplicación								Resultados estadísticos			
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	b	r	R ²	p-value
Composta Vol. lts/m²	6.26	8.35	10.43	12.52	14.61	12.52	12.52	15.20	1.09	0.88	0.77	0.004**
Yeso Agrícola kg/m²	0.20	0.33	0.31	0.09	0.10	0.00	0.00	0.16	-0.03	0.66	0.44	0.07 ^{ns}
Azufre elemental kg/m²	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	0.12	0.05	0.00	-22.00	0.10	0.01	0.80 ^{ns}
Roca Fosfórica kg/m²	0.30	0.24	0.24	0.15	0.15	0.10	0.10	0.08	-0.03	0.96	0.93	<0.001**
Alfalfa Molida kg/m²	0.37	0.35	0.33	0.33	0.31	0.21	0.21	0.11	-0.03	0.93	0.86	<0.001**

Niveles de significancia (p-value): **altamente significativo, * significativo, ns no significativo; b pendiente del modelo, r coeficiente de correlación; R² coeficiente de determinación.

La aplicación de composta aumentó gradualmente de 6.26 lts/m² en el año 2007 y pasó a 15.2 lts/m² en el año 2014. Esta fue la única enmienda que presentó una

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

tendencia positiva $b > 0$, un coeficientes de correlación y determinación > 0.70 y un p-value muy significativo, demostrando una mayor aplicación y demanda en el sistema.

La roca fosfórica y la harina de alfalfa presentan una $b < 0$, coeficientes de correlación y determinación > 0.80 y p-value altamente significativos indicando una disminución en la aplicación de estas enmiendas a través del tiempo.

El yeso agrícola y el azufre elemental presentan $b < 0$, coeficientes de correlación y determinación < 0.70 y un p-value no significativo, aunque la ordenada al origen presenta una tendencia negativa, en ambos la disminución de su aplicación no es significativa. (Tabla 2).

El aumento gradual de la composta de 6.26 lts/m^2 en el año 2007 a 15.20 lts/m^2 en el año 2014 (Figura 8) a diferencia de las demás enmiendas es debido a que se produce en el sistema, su aplicación es proporcional al aumento de la biomasa principalmente de las partes vegetativas. Para discutir más ampliamente este punto se realizó una prueba de regresión lineal donde la variable de respuesta es la producción total de biomasa y la variable predictoría es la composta, teniendo como resultado una $b > 0$, un coeficiente de correlación de 0.74, un coeficiente de determinación de 0.55 y un p-value de 0.034, indicando que la composta se expresa en relación a la producción de biomasa de manera significativa (Figura 9) y por lo tanto su aplicación y elaboración es dependiente de la producción y no es un enmienda externa al sistema, esto le da una característica particular al sistema biointensivo a diferencia de otros sistemas agrícolas.

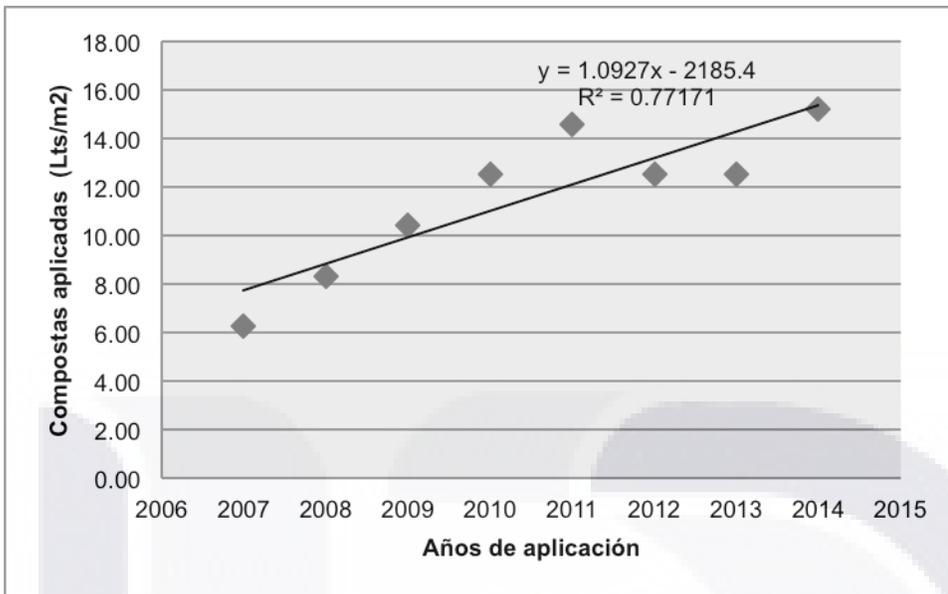


Figura 8. Evolución de las compostas aplicadas al sistema durante 8 años de cultivo biointensivo.

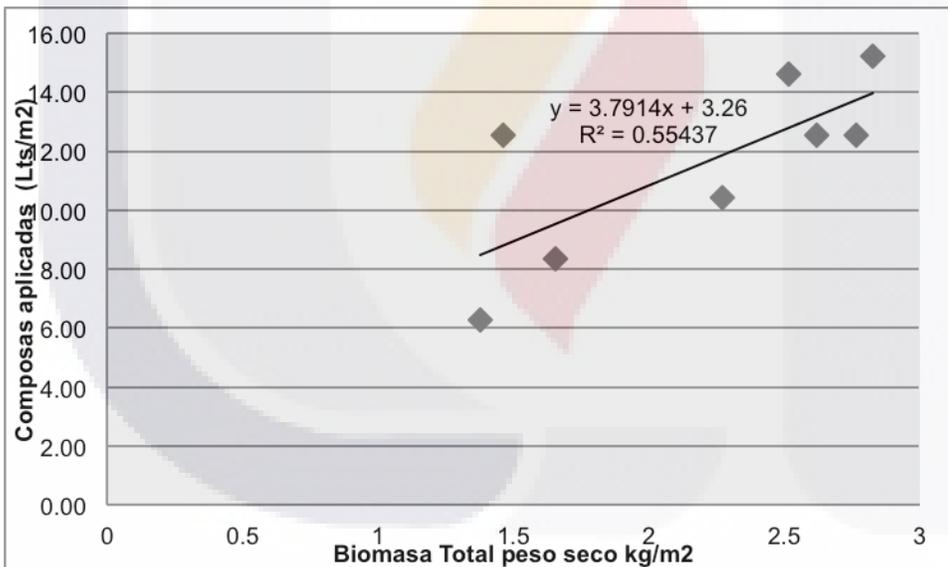


Figura 9. Relación entre las compostas aplicadas y la biomasa producida por el sistema durante 8 años de cultivo biointensivo

La aplicación de roca fosfórica y la harina de alfalfa han disminuido gradualmente a través del tiempo (Figuras 10 y 11) posiblemente debido al aumento de la materia orgánica que proporciona una mayor retención de los nutrientes así como la recirculación de estos por medio de la composta y que por lo tanto puede ser proporcional a una disminución de entradas de estos fertilizantes dentro del sistema como lo describe Jeavons en 2001.

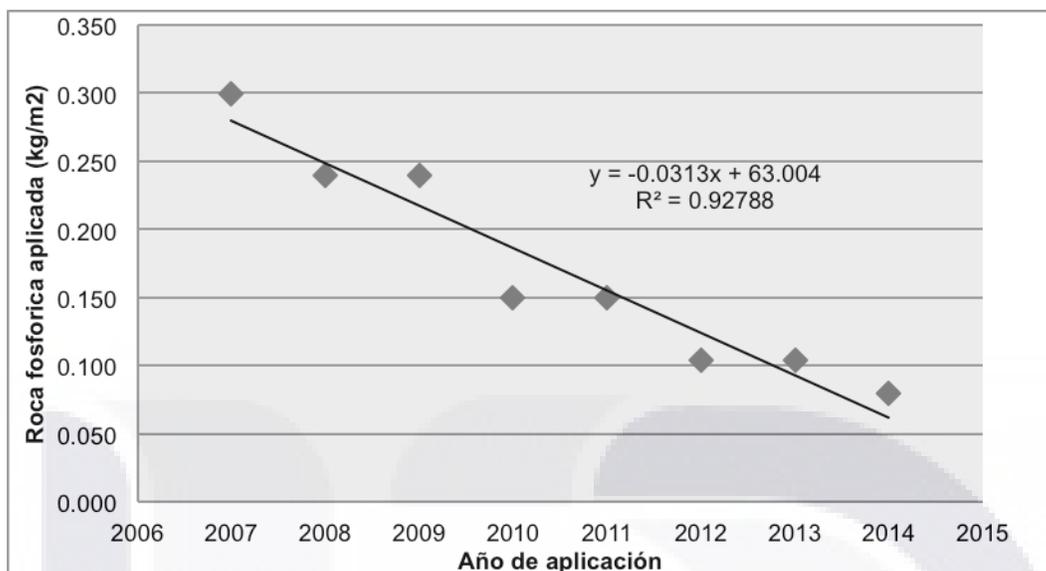


Figura 10. Evolución de la cantidad de roca fosfórica aplicada al sistema durante 8 años de cultivo biointensivo.

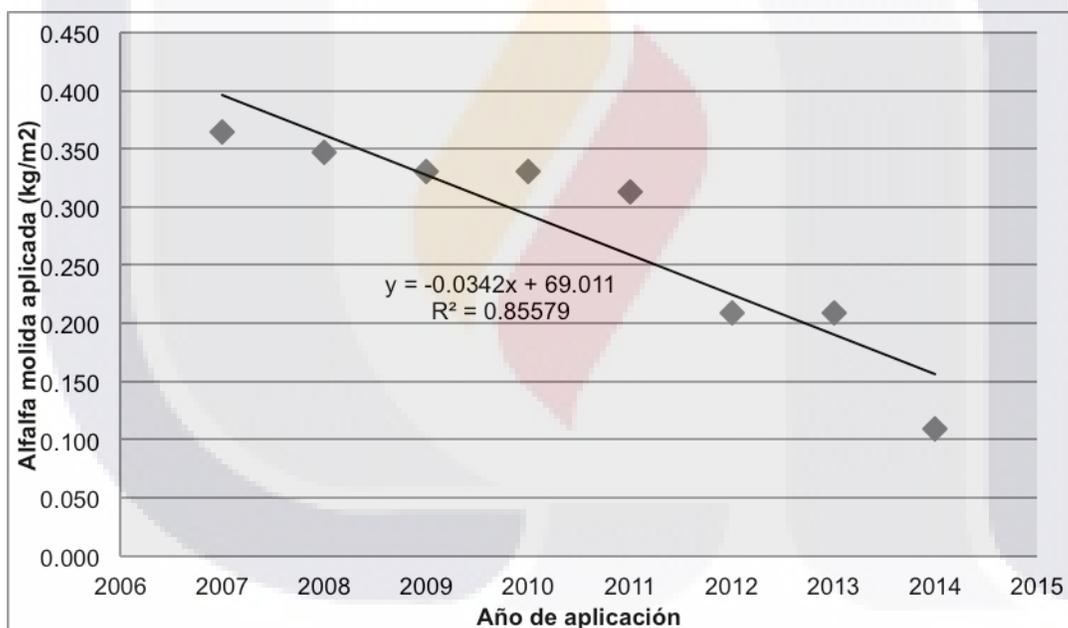


Figura 11. Evolución de la cantidad de alfalfa molida aplicada al sistema durante 8 años de cultivo biointensivo

El yeso agrícola y el azufre elemental presentaron una disminución en su aplicación pero esta no fue significativa (Figuras 12 y 13), ya que se usaron como enmiendas para modificar propiedades del suelo, por lo que la aplicación no fue de manera constante, solamente de acuerdo a los resultados de los análisis de suelo. El azufre elemental como regulador del pH, ya que este aumentó por arriba de 8.0 y este ayudó a su estabilización. El yeso se aplicó para precipitar el sodio ya que de acuerdo

con los niveles de CE estos aumentaron arriba de 0.5, los niveles de sodio pudieron haber aumentado principalmente debido a la calidad del agua de riego.

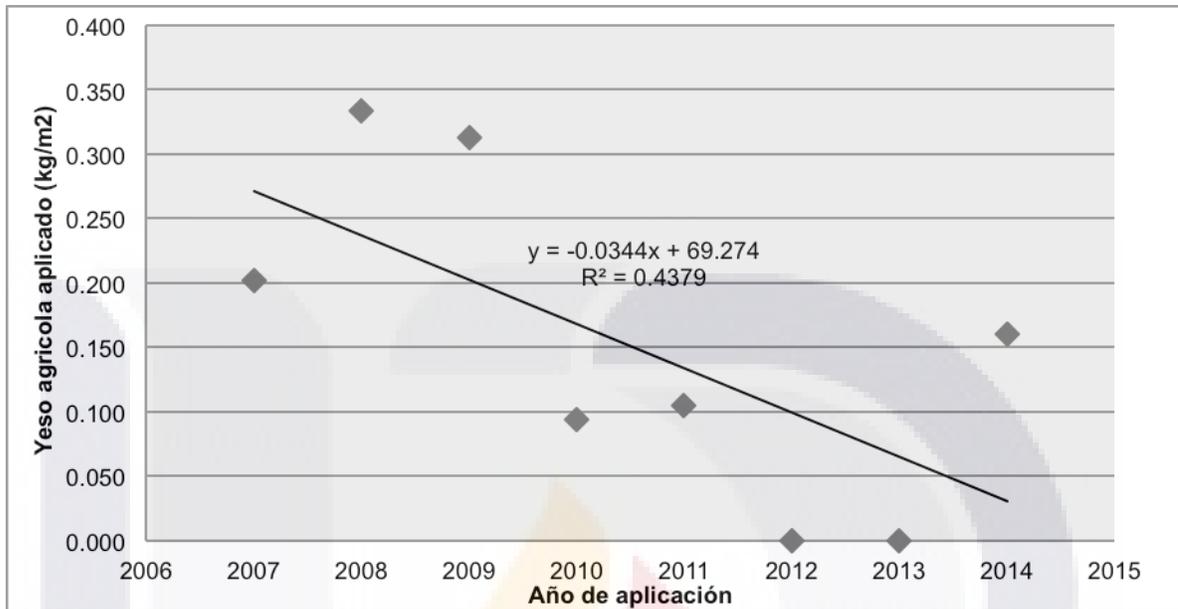


Figura 12. Evolución del yeso agrícola aplicado al sistema durante 8 años de cultivo biointensivo.

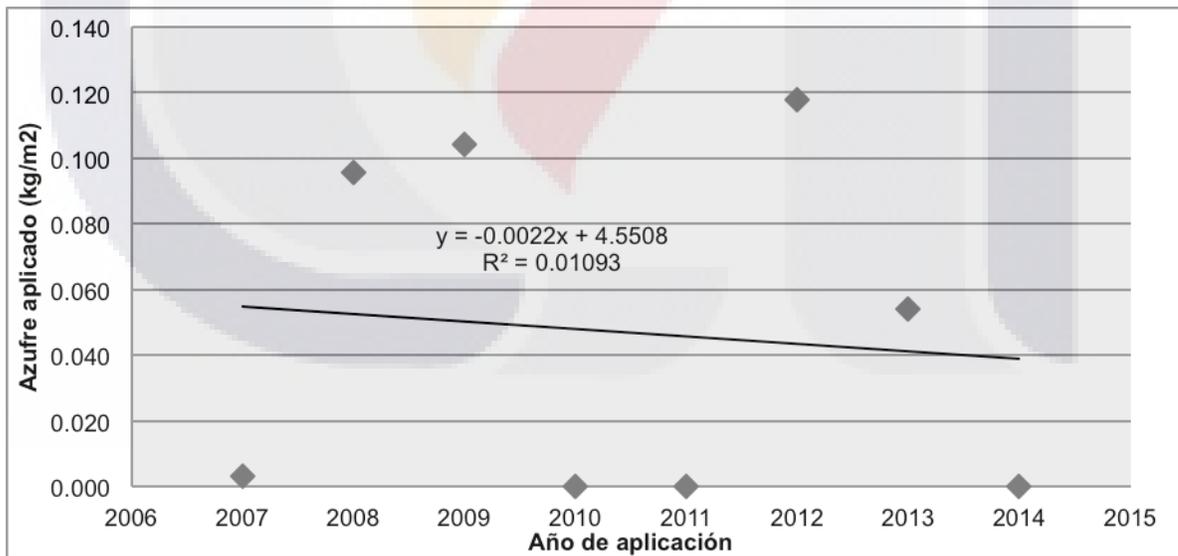


Figura 13. Evolución del azufre elemental aplicado al sistema durante 8 años de cultivo biointensivo

3.4 Conclusiones

De acuerdo a los resultados y la tendencia que presentaron de los fertilizantes, así como tomando en cuenta el objeto por el cual fueron aplicados, podemos concluir lo siguiente:

- En relación a la aplicación de la alfalfa molida y la roca fosfórica suponemos que la hipótesis planteada “La demanda de abonos y fertilizantes para el suelo bajo sistema biointensivo disminuye y se estabiliza a través del tiempo”, se cumple, ya que estos presentaron una tendencia hacia la baja con un p-value altamente significativo, indicando que conforme pasa el tiempo la aplicación disminuirá y se estabilizará, agregando menor cantidad de estos, disminuyendo costo en insumos.
- Para el azufre elemental y el yeso, estos fueron aplicados para estabilizar propiedades químicas del suelo, como el pH y altos niveles de sodio, los cuales se dejaron de agregar cuando se llegaron a los niveles óptimos, por lo que suponemos que la hipótesis planteada se cumple de forma parcial ya que no presentaron tendencia y el p-value no fue significativo, indicando lo ya descrito.
- En cuanto a la composta como parte de la demanda del sistema, la hipótesis también se cumple de manera parcial. Ya que la tendencia es hacia la alza con un p-value altamente significativo, indicando el aumento de su aplicación, lo que se debe principalmente a que es dependiente de la producción de biomasa.
- En un sistema biointensivo entre más producción de biomasa, se tendrán más materiales para composta lo que nos genera más incógnitas para investigar en un futuro, como, ¿Cuánto es la cantidad máxima de composta a producir por el sistema? Y ¿Cuánta es la cantidad máxima de composta a agregar en el sistema?.
- Los aportes externos constantes y la elaboración de compostas dentro del sistema, crean un almacén de nutrientes a mediano y largo plazo para la producción (Holgrem 2006) y por lo tanto los subproductos del sistema para la elaboración de compostas disminuye las entradas de enmiendas a largo y mediano plazo (Fukuoka 1997).
- Las entradas de fertilizantes disminuyeron para aquellos elementos cuyo ciclo es determinante para que salgan del sistema, esto es en relación al Nitrógeno y el Fósforo, los cuales requieren de una aplicación constante de enmiendas para mantener niveles óptimos de fertilidad.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

IV. CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y PRODUCTOS COMESTIBLES BAJO SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO DURANTE 16 CICLOS DE CULTIVO.

4.1 Introducción

La producción de cultivos en un sistema agrícola es un proceso complejo donde un número importante de factores bióticos y abióticos están involucrados (Ganeshsmurthy, 2009). De acuerdo al comportamiento e interacciones de estos factores, se darán las condicionantes que determinarán los rendimientos del sistema agrícola o agroecosistema. Consideramos que un agroecosistema es sustentable cuando tiene la capacidad de mantener un rendimiento que no decline a lo largo del tiempo considerando una amplia gama de condicionantes (Altieri, 1999). La sustentabilidad es un parámetro de evaluación que constituye una expresión cuantificada del proceso determinada por indicadores que establecen el estado de este proceso como; la productividad del cultivo, la productividad del suelo, la cantidad y calidad de agua de riego, el uso de insumos y la diversidad genética, son algunos de estos indicadores (Alteri, 1999).

La productividad del cultivo estima la eficiencia del sistema para lograr un rendimiento deseado. Esta la podemos medir de acuerdo a los productos cosechados como las partes comestibles (frutos, hojas, tubérculos, bulbos y semillas) y las partes vegetativas no comestibles (ramas, tallos y hojas).

En el sistema de cultivo biointensivo los cultivos se clasifican de acuerdo a su nivel de productividad tanto en sus partes comestibles como en sus partes vegetativas, de acuerdo al contenido de calorías por kilogramo de rendimiento para las partes comestibles y de acuerdo al contenido de carbono estructural para las partes vegetativas, con el objetivo de hacer más eficiente y sustentable la producción por área. Todo esto con el fin de producir una dieta completa en el mínimo espacio posible, así como suficientes materiales para la elaboración de composta para abonar el suelo.

En este sistema un 60% del área se destina a cultivos que producen altos rendimientos de partes vegetativas y alimento, que son principalmente los cereales, oleaginosas y algunas leguminosas cuyo carbono estructural en forma de celulosas y

ligninas tiene una calidad deseable como material para la elaboración de composta, la cual se regresará al suelo para mantener su productividad, pero que a su vez proporcionan alimento con alta cantidad en proteína vegetal y calorías por kilogramo de rendimiento. Un 30% de cultivos especiales (ajo, papa, camote y puerro) que tienen un alto rendimiento en peso por área cultivada por lo que esto se traduce en un alto número de nutrientes y calorías por metro cuadrado, aunque estos mismos cultivos no las contengan por kilogramo de peso. Un 10% de hortalizas que proporcionan las vitaminas y minerales necesarios para el metabolismo humano. Esta distribución fue experimentada por más de 30 años en los centros de demostración e investigación de Willits y Palo Alto, en el Estado de California en los Estados Unidos de Norteamérica por John Jeavons y su equipo de Ecology Action of the Midpeninsula.

A pesar de toda esta experimentación, a la fecha no se cuenta con la investigación documentada suficiente para caracterizar y evaluar la sustentabilidad del sistema de cultivo biointensivo de acuerdo a lo descrito anteriormente donde el sistema de sustentabilidad planteado (60-30-10) sea evaluado de acuerdo a su producción en biomasa y productos comestibles. Lo anterior es necesario para identificar las fortalezas y debilidades del sistema en ecosistemas y zonas geográficas específicas, y con ello proponer acciones de manejo y mejora para garantizar los objetivos de sustentabilidad.

El objetivo de este capítulo fue la cuantificación de los productos comestibles y las partes vegetativas verdes y secas en términos de biomasa, para así conocer la sustentabilidad del sistema y evaluar su proceso de acuerdo al indicador de productividad y rendimientos en kilogramos por metro cuadrado a través del tiempo. En este capítulo de la tesis se pretende demostrar que la producción de biomasa y productos comestibles bajo un sistema de cultivo biointensivo se incrementan gradualmente a partir del primer ciclo, de acuerdo al esquema de sustentabilidad que plantea el sistema.

4.2 Materiales y Métodos

Los datos para el estudio fueron generados en el centro de investigación y capacitación en cultivo biointensivo “El Mezquite”, localizado en la localidad La Tomatina, Municipio de Jesus Maria, en el estado de Aguascalientes, Mexico. El Huerto el Mezquite se compone de 12 camas de cultivo, 10 camas de 10 m² de medidas de 1.5 m x 6.7 m, 2 camas de 7.5 m² de medidas 1.5m x 5m. El suelo de esta área se ha cultivado durante 8

años bajo los principios del método biointensivo de cultivo de alimentos a partir de noviembre de 2006 hasta la fecha.

En este huerto se han sembrado los siguientes cultivos de acuerdo a la clasificación que realiza el sistema biointensivo para indicadores de sustentabilidad.

Para el 60% (Cultivos de carbono y calorías).- maíz (*Zea mais*), trigo (*Triticum spp*), triticale (*Triticum secale*), amaranto (*Amarathus spp*), girasol (*Helianthus annus*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), linaza (*Linum usitatissimun*), alfalfa (*Medicago sativa*), veza de invierno (*Vicia villosa*), chicharo forrajero (*Pisum sativum*), trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) .

Para el 30% (Cultivos eficientes en área y en peso).- papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomea batatas*), ajo (*Allium aestivum*), puerro (*Allium amprelopasum var. porrum*).

Para el 10% (Cultivos de hortalizas).- cebolla (*Allium cepa*), nopal (*Opuntia spp*), chile (*Capsicum annum*), jitomate (*Solanum licopersycum*), lechuga (*Lactuca sativa*), col (*Brasica oleracea var. Capitata*), coliflor (*Brasica oleracea var. Botritys*), acelga (*Beta vulgaris*), espinaca (*Spinacia oleracea*), zanahoria (*Daucus carota*), col rizada o kale (*Brasica oleracea var. acephala*).

Los ciclos establecidos fueron dos, primavera-verano iniciando en el mes de marzo y terminando en septiembre, y otoño-invierno iniciando en el mes de octubre y terminando en febrero. En el ciclo primavera-verano se sembraron cultivos de maíz, quinoa, amaranto, girasol y trigo sarraceno para el 60%, camote para el 30% y chile, jitomate, lechuga, acelga y zanahoria para el 10%. En el ciclo otoño-invierno se sembró trigo, triticale, linaza, veza de invierno y chicharo forrajero para el 60% estos dos últimos como abonos verdes los cuales se cosecharon a un 50% de floración como material verde para la composta, papa y puerro para el 30% y cebolla, ajo y brasicas para el 10%. El nopal y la alfalfa son cultivos perenes los cuales se cosecharon en ambos ciclos.

Se elaboró una base de datos a partir del primer ciclo en el año 2007 hasta el segundo ciclo de 2014 en la cual se anotaron las cantidades de la biomasa producida, los productos comestibles como frutos, granos, semillas, hojas, tubérculos y bulbos (Anexo 2), los cuales se midieron en una báscula colgante electrónica marca CRT, Criotec Global,

Modelo OCS-20A con precisión de 0.01Kg, registrando los datos en kilogramos, y adecuando los resultados a kg/m².

La determinación del peso seco de las partes vegetativas verdes y la producción comestible como hojas, frutos, tubérculos y bulbos, se determinó mediante una toma de muestra de un kilogramo por cada cultivo cosechado, la cual se dejó secar dentro de un secador a la sombra bajo techo en condiciones ambientales de campo durante 20 días, posteriormente se pesó y se extrapolaron los resultados con el rendimiento inicial de cada cultivo. En el caso de la parte comestible como semillas y las partes vegetativas secas, el total de la producción, se dejó secar dentro de un secador a la sombra bajo techo en condiciones ambientales de campo durante 10 días y posteriormente se pesó el rendimiento total de cada cultivo.

Para el análisis de los datos se realizó una prueba estadística de regresión lineal, mediante la fórmula matemática $y=a+bx$, donde la variable predictoría son kilogramos por metro cuadrado de las partes comestibles, las partes vegetativas verde y seca y la biomasa total, y la variable de respuesta son los años de producción.

4.3 Resultados y discusión

La producción de biomasa del ciclo primavera verano, así como los análisis estadísticos del año 2007 al año 2014 se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Evolución y análisis de la biomasa producida durante 8 años en el Ciclo Primavera-Verano bajo cultivo biointensivo

Producción	Años de producción								Resultados estadísticos			
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	b	r	R ²	p-value
Producción Comestible kg/m²	0.896	1.078	1.099	0.904	1.330	1.457	1.532	1.577	0.10	0.90	0.82	0.002**
Partes vegetativas verdes kg/m²	0.400	0.435	0.409	0.409	0.391	0.513	0.539	0.583	0.02	0.83	0.68	0.012*
Partes vegetativas secas kg/m²	0.487	0.583	1.069	0.539	0.986	1.092	1.074	1.107	0.09	0.77	0.59	0.026*
Biomasa Total peso seco kg/m²	0.796	0.930	1.417	0.896	1.389	1.465	1.527	1.560	0.11	0.83	0.68	0.011*

Niveles de significancia (p-value): **altamente significativo, * significativo, ns no significativo; b pendiente del modelo; r coeficiente de correlación; R² coeficiente de determinación.

Los resultados de la producción se determinaron por ciclos, en el ciclo primavera-verano la producción comestible tuvo un intervalo de 0.896 kg/m² a 1.577 kg/m², con una b>0, coeficientes de correlación y determinación >0.80 y un p-value muy significativo indicándonos un aumento gradual a partir del primer ciclo de cultivo en el año 2007, a excepción del año 2010 donde los rendimientos casi fueron iguales al año 2007. Las partes vegetativas verdes y secas para la producción de composta presentaron b>0, coeficientes de correlación >0.75 y determinación >0.55 y un p-value muy significativo indicando un ligero aumento gradual a partir del primer ciclo de cultivo en la producción de las partes vegetativas no comestibles. La biomasa total en peso seco para este ciclo presentó una b>0, un coeficiente de correlación >0.80 y un coeficiente de determinación >0.65 y un p-value significativo indicando un ligero aumento gradual de la biomasa total producida a partir del primer ciclo primavera-verano de cultivo con un intervalo de 0.487kg/m² a 1.107kg/m² (Tabla 3).

La producción de biomasa del ciclo otoño - invierno, así como los análisis estadísticos del año 2007 al año 2014 se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Evolución y análisis de la biomasa producida durante 8 años en el Ciclo Otoño-Invierno bajo cultivo biointensivo

Producción	Años de producción								Resultados estadísticos			
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	b	r	R ²	p-value
Producción Comestible kg/m²	1.061	1.129	1.068	1.035	0.972	1.023	1.056	1.083	-0.004	0.26	0.07	0.534 ^{ns}
Partes vegetativas verdes kg/m²	1.374	1.930	1.765	1.365	1.849	2.004	2.106	2.150	0.09	0.72	0.52	0.044*
Partes vegetativas secas kg/m²	0.070	0.095	0.380	0.107	0.506	0.543	0.631	0.674	0.09	0.90	0.82	0.002**
Biomasa Total peso seco Kg/m²	0.582	0.724	0.856	0.568	1.126	1.152	1.239	1.267	0.10	0.88	0.78	0.004**

Niveles de significancia (p-value): **altamente significativo, * significativo, ns no significativo; b pendiente del modelo; r coeficiente de correlación; R² coeficiente de determinación.

Los resultados para el ciclo otoño- invierno: La producción comestible tuvo un intervalo de 1.061 kg/m² a 1.083kg/m², con una b<0, coeficientes de correlación y determinación muy bajos y un p-value nada significativo indicándonos que no aumentó o que el aumento fue casi igual que el del primer ciclo de cultivo en el año 2007. Las parte vegetativa verde presentó una b>0, coeficientes de correlación y determinación suficientes >0.50 y un p-value significativo indicando un ligero aumento a partir del ciclo inicial, igualmente a excepción del año 2010 donde los rendimientos son casi iguales o más bajos. La producción vegetativa seca para la producción de composta presentó b>0, coeficientes de correlación y determinación >0.80 y un p-value muy significativo indicando un aumento a partir del primer ciclo de cultivo en la producción de las partes vegetativas no comestibles. La biomasa total en peso seco para este ciclo presento una b>0, un coeficiente de correlación >0.88y un coeficiente de determinación >0.78y un p-value muy significativo indicando un importante aumento gradual de la biomasa total producida a partir del primer ciclo primavera-verano de cultivo con un intervalo de 0.582kg/m² a 1.267kg/m² (Tabla 4).

La producción de biomasa total anual, así como los análisis estadísticos del año 2007 al año 2014 se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Evolución y análisis de la Producción de biomasa Total Anual, producida en el sistema durante ocho años bajo cultivo biointensivo.

Producción	Año de producción								Resultados estadísticos			
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	b	R	R ²	p-value
Producción Comestible kg/m²	1.957	2.207	2.167	1.939	2.303	2.480	2.588	2.659	0.10	0.87	0.76	0.005**
Partes vegetativas verdes kg/m²	1.774	2.365	2.174	1.774	2.240	2.517	2.645	2.733	0.11	0.77	0.59	0.025*
Partes vegetativas secas kg/m²	0.557	0.677	1.449	0.646	1.492	1.635	1.705	1.781	0.18	0.84	0.71	0.008**
Biomasa Total peso seco kg/m²	1.378	1.655	2.273	1.463	2.515	2.617	2.766	2.827	0.21	0.87	0.75	0.005**

Niveles de significancia (p-value): **altamente significativo, * significativo, ns no significativo; b pendiente del modelo; r coeficiente de correlación; R² coeficiente de determinación.

Los resultados para la producción total anual sumando los ciclos primavera-verano y otoño-invierno de cada año fueron: la producción comestible tuvo un intervalo de 1.957kg/m^2 a 2.659kg/m^2 , con una $b > 0$, coeficientes de correlación y determinación > 0.75 y un p-value muy significativo indicándonos un aumento gradual a partir del primer año de cultivo en 2007. Las partes vegetativas verdes y secas para la producción de composta presentaron $b > 0$, coeficientes de correlación > 0.75 y determinación > 0.55 y un p-value significativo y muy significativo indicando un ligero e importante aumento gradual a partir del primer año de cultivo en la producción de las partes vegetativas no comestibles para la producción de composta. La biomasa total en peso seco anualmente presentó una $b > 0$, un coeficiente de correlación > 0.87 y un coeficiente de determinación > 0.75 y un p-value muy significativo indicando un ligero aumento gradual importante de la biomasa total producida a partir del primer año de cultivo con un intervalo de 1.378kg/m^2 a 2.827kg/m^2 aumentando en un poco más de un 100% la producción de biomasa al octavo año de cultivo. (Tabla 5).

En el ciclo primavera-verano la producción comestible tuvo un mayor crecimiento gradual de casi un 100% más a diferencia del ciclo otoño-invierno donde no fue significativo el aumento y la diferencia entre el primer y último año que fue de 22 gramos, la diferencia principalmente se debe a que los cultivos en primavera-verano son más hortalizas como jitomate, chile, calabaza, pepino etc, además de maíz, quinoa, girasol, amaranto que son destinados como alimento y en otoño invierno se siembran solo trigo, triticale, haba, cebolla etc y también cultivos mas destinados a la producción de biomasa para la obtención de partes vegetativas verdes como la veza de invierno y el haba de invierno que también a su vez se utilizan como abonos verdes (Figura 14).

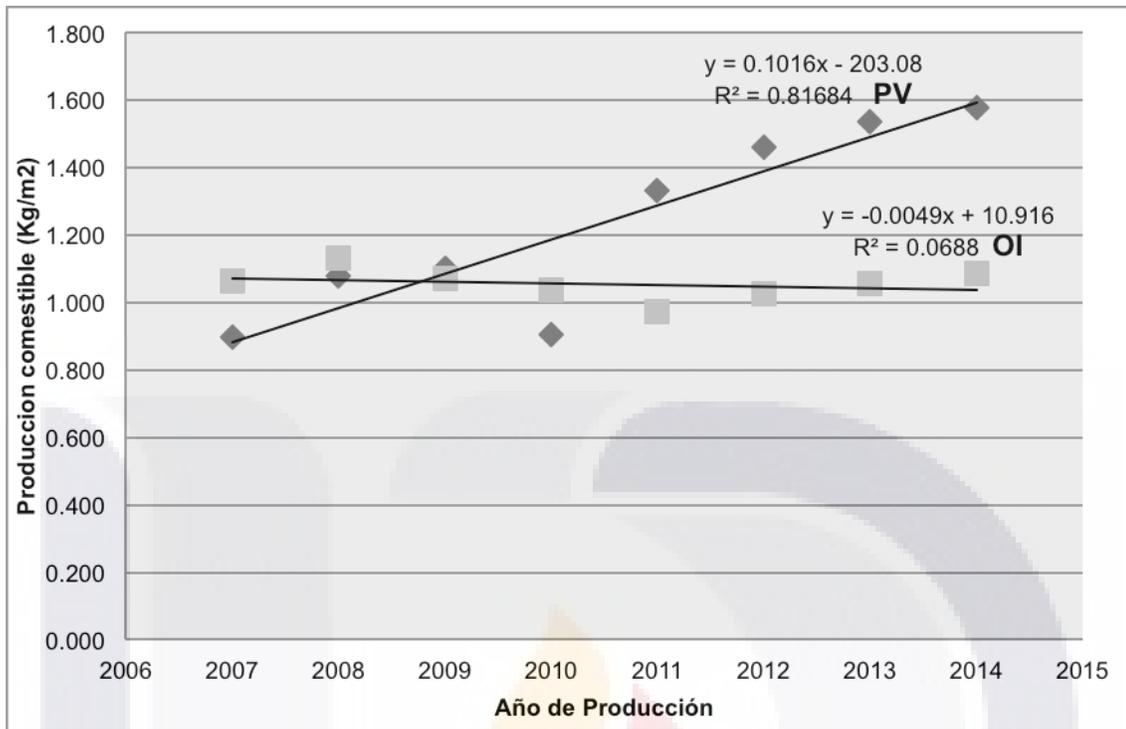


Figura 14. Evolución de la Producción Comestible generada por el sistema durante 8 años en Primavera-Verano (PV) y Otoño-Invierno (OI)

En las partes vegetativas verdes y secas para la producción de composta, para ambos ciclos presentaron niveles significativos de aumento, esto es debido a la distribución de los cultivos por área donde en la agricultura biointensiva por ciclo debe de hacer una distribución de alrededor de un 60% de cultivos que proporcionen biomasa para que la elaboración de la composta sea constante como lo comenta Jeavons en 2001 y aunque en el ciclo primavera-verano por las temperaturas se cultive más parte comestible. Este porcentaje y parte de la distribución de los cultivos es algo que solo se presenta en un sistema biointensivo desde su diseño y planeación (Figura 15).

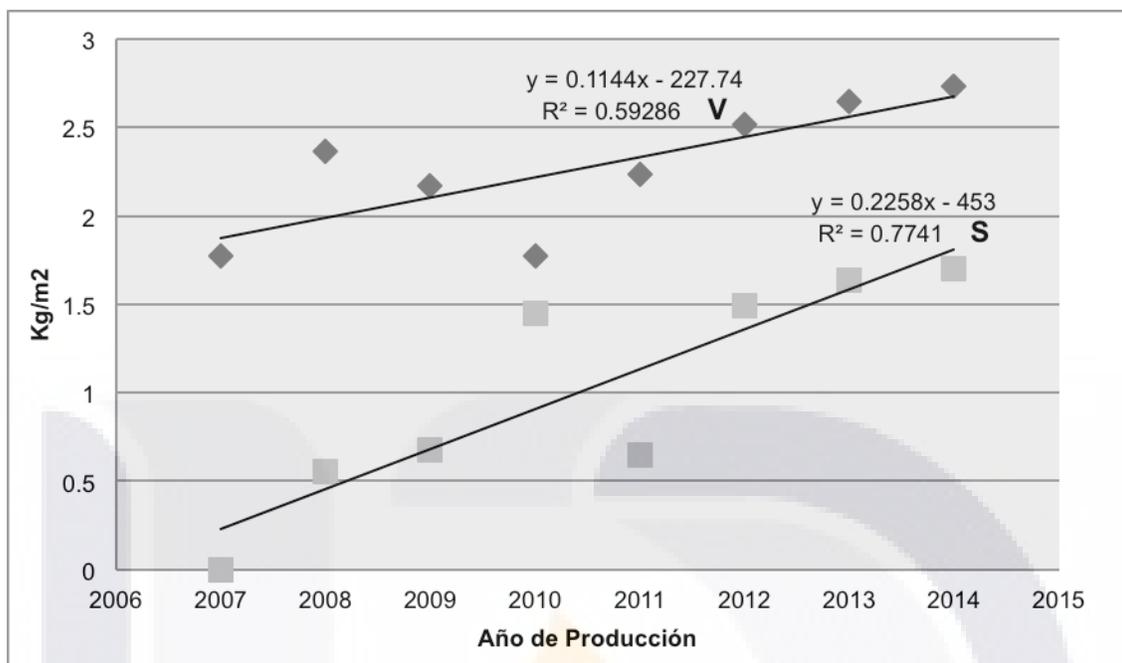


Figura 15. Evolución de la Producción de partes vegetativas no comestibles generadas por el sistema durante 8 años, partes secas (S), partes verdes (V)

Dimas y colaboradores en 2002 analizan los rendimientos de biomasa de maíz en agricultura extensiva y sus máximos son de 1.5 kg/m² en contraste con un máximo de 2.8 kg/m² en este tipo de agricultura en pequeña escala.

La producción total de biomasa en peso seco de todo el sistema es obviamente la suma de la producción comestible y la producción de las partes secas y verdes, aumentando gradualmente en ambos ciclos al igual que anualmente. Aunque en el año 2010 hubo un descenso debido principalmente a factores coincidentes con las propiedades químicas del suelo como la materia orgánica la cual se abordará en el siguiente capítulo, además de que el año registro las temperaturas más bajas (Tabla 1), así como observando la gráfica 8, hay un descenso en la parte comestible en el 2010 y un aumento significativo en las partes comestible secas, es debido a que se planeó aumentar la cantidad de cultivos altos en carbono estructural para aumentar la producción de composta y así la materia orgánica para el siguiente año (Figura 16).

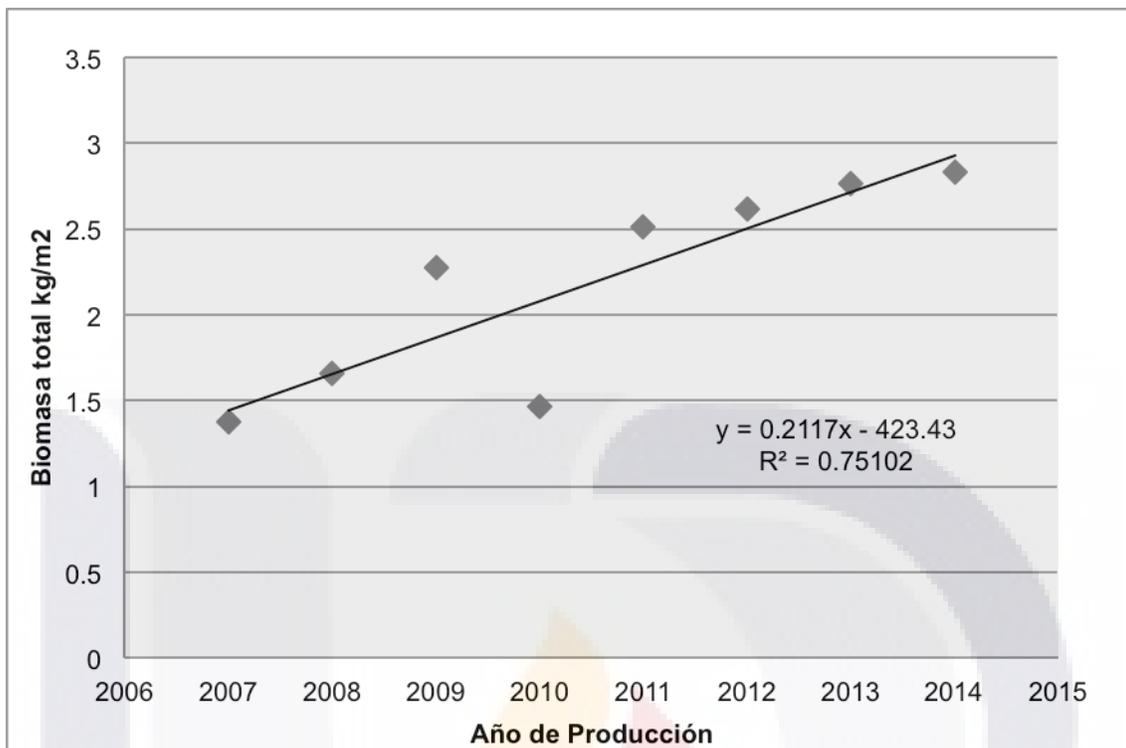


Figura 16. Evolución de la producción total de biomasa del sistema durante 8 años de cultivo biointensivo.

La producción en un sistema biointensivo a diferencia de otros sistemas agrícolas se caracteriza por que en poca área hay mayor diversidad de cultivos, también una de las prácticas y principios es la asociación y rotación constante, haciendo más intensivo el uso del espacio, este aumento gradual coincide con Marbelis y colaboradores en 2004 donde hay un aumento de la producción aunque en la investigación que realiza esta es de 6 años a diferencia de la presente que fue de 8 años, otra diferencia importante es que solo se cultivaron hortalizas contrastando con la presente donde además de hortalizas también se cultivaron granos, amarantáceas, oleaginosas, cereales y cultivos para abonos verdes. Marbelis y colaboradores en 2004, señalan un aumento gradual en la producción del sistema aunque este solo se basó en hortalizas, pero después de 5 años hubo un descenso en los rendimientos. Bhardwaj y colaboradores en 2009 señalan que los sistemas agrícolas que promueven los acolchados, compostas y cero labranza incrementan sus niveles de biomasa con el tiempo.

Mahmoud y col 2013 mencionan que en sistemas de rotación y asociación de leguminosa y maíz en gran escala se produjeron hasta 3kg/m² de maíz y 1.5 kg/m² de leguminosa ambos en biomasa seca total coincidiendo en promedio con este sistema

tanto en los principios de asociación y rotación que tiene que ver mucho con una adecuada planeación del sistema a lo largo del tiempo por la cual se pueden incrementar más los rendimientos.

4.4 Conclusiones.

De acuerdo a los resultados y la tendencia que presento la producción de biomasa, en partes vegetativas verdes y secas, comestible y biomasa total, podemos concluir lo siguiente:

- De acuerdo a la hipótesis “La producción de biomasa y productos comestibles bajo un sistema de cultivo biointensivo se incrementan gradualmente a partir del primer ciclo”, podemos suponer que esta se cumple ya que la biomasa y productos comestibles se incrementaron gradualmente en los 16 ciclos de cultivo biointensivo.
- En el año 2010, hubo factores tanto del suelo como de planeación afectaron los rendimientos hacia una baja en este año, por lo que es importante en un sistema biointensivo poner atención a factores externos como temperaturas, e internos como propiedades del suelo.
- En un sistema biointensivo es indispensable la siembra de cultivos del 60%, altos en carbono estructural, ya que como se observó en este año si no se hubiera cambiado el diseño y aumentado este tipo de cultivos, el sistema podría colapsar en 4 o 5 años de producción. Marbelis y colaboradores en 2004 también observaron que después de 4 y 5 años los rendimientos descendieron, ya que solo sembraron hortalizas.
- El sistema de cultivo biointensivo aumenta gradualmente su producción hasta llegar a un máximo estable que todavía en 8 años no podríamos afirmar que ha llegado a su estabilización en cuanto a la producción de biomasa y productos comestibles, aunque a partir del año 2012 la curva se suaviza (Figura 16).
- La planeación y diseño en el sistema es indispensable para una adecuada asociación y rotación de cultivos y obtener anualmente la máxima productividad, y es muy importante que el agricultor biointensivista comprenda esto.
- Un sistema agrícola sustentable va aumentando ligeramente sus productividad hasta llegar a un punto de estabilización al igual que los ecosistemas naturales (Gliessman, 1999 Altieri, 1999).

V. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO BAJO SISTEMA DE CULTIVO BIOINTENSIVO.

5.1 Introducción

El suelo es un elemento natural complejo que presenta muchas variantes dependiendo de la región geográfica y de las transformaciones que el ser humano haya aplicado sobre el mismo (Plaster, 2013). Es aquí donde el ser humano puede cultivar y hacer crecer sus alimentos más básicos dependiendo para ello de un promedio de 25 centímetros de capa arable en promedio a nivel mundial (Jeavons, 2001). La fertilidad del suelo es la capacidad de este mismo para cubrir las necesidades de las plantas de manera física, química y biológica (Abbott y Murphy, 2007), y por lo tanto para dar soporte a los servicios ecosistémicos sin un efecto negativo hacia el ambiente (Idowu y col., 2009). Las propiedades químicas son los macronutrientes como el Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre y Sodio. Los micronutrientes que son el Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc, Molibdeno, Cobalto y Boro. También es el contenido MO (Materia Orgánica), CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y el pH. Las propiedades físicas son la densidad real, densidad aparente, porcentaje de porosidad, capacidad de infiltración y retención de agua. (Plaster, 2013). Estas propiedades intervienen en el proceso del suelo para realizar funciones específicas de mantenimiento de la actividad biológica, regulando el flujo de agua, filtrando, degradando, inmovilizando, desintoxicando materiales orgánicos e inorgánicos así como el almacenamiento y ciclo de nutrientes (Ganeshamurthy, 2009).

Dimas y colaboradores evaluaron en el año 2000 las diferencias entre los abonos orgánicos sometidos a cultivo intenso en comparación con dosis inorgánicas de N-P-K. Ellos sugieren trabajar a mediano plazo con abonos orgánicos de compostas y gallinaza ya que con estos abonos se han obtenido los mejores resultados. Astier y Colaboradores en 2002, comentan que el mejoramiento y conservación de la fertilidad y productividad del suelo deben definirse de manera integral como aquellos que conservan las propiedades químicas y físicas deseables mientras que abastecen adecuadamente de agua y nutrientes y, además proveen el sostén mecánico de las plantas.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Cabrera y colaboradores en 2007 evalúan la aplicación de fertilizantes químicos mediante fertirriego en condiciones de agricultura protegida y realizan análisis de muestras de suelo tomadas antes de la plantación y después de la última cosecha y concluyen que a largo plazo tanto las propiedades químicas y físicas, así como los rendimientos empeoraron al final.

La Agricultura Sustentable tiene como principal objetivo la conservación de las propiedades químicas y físicas del suelo y pone énfasis en su mejoramiento y permanencia a largo plazo (Magdoff, 2007). Hay diversas metodologías de manejo de los suelos en la agricultura sustentable que aplican lo antes mencionado, como el Cultivo Biointensivo de Alimentos (Schramski, 2011). Diacono y Montemurro en 2009 manifiestan que hay pocas investigaciones científicas publicadas sobre los efectos o cambios a largo plazo de estas propiedades mediante un manejo con la agricultura sustentable.

El Sistema de Cultivo Biointensivo es un método que ha sido derivado directa e indirectamente de diversas prácticas agrícolas similares desarrolladas independientemente en diferentes partes del mundo desde hace más de 4000 años (Jeavons, 2001). Los sistemas agrícolas biointensivos son desde su diseño a pequeña escala (Moore, 2010). El sistema incluye entre sus diversas prácticas, el crecimiento y desarrollo de las plantas en una alta densidad en poco espacio, sobre camas fertilizadas principalmente con composta (Bomford, 2009).

Sin embargo en el Sistema Biointensivo de Cultivo existe muy poca investigación y publicaciones acerca de la evaluación de las propiedades químicas y físicas del suelo a mediano y largo plazo. La mayoría de la poca investigación realizada ha sido sin seguir estrictamente los principios y los indicadores de sustentabilidad propuestos por la metodología del sistema, obteniendo resultados que no reflejan los efectos reales del cultivo biointensivo.

En este capítulo planteamos dos objetivos, el primero es evaluar los cambios de las propiedades químicas del suelo durante ocho años bajo cultivo biointensivo, el segundo evaluar los cambios de las propiedades físicas del suelo del año 0 y el año 7, y así observar si hay una conservación, mantenimiento y mejoramiento de estas propiedades para comprobar las respectivas hipótesis, la primera es que las propiedades químicas del suelo mejoran a través del tiempo y la segunda es que las propiedades físicas mejoran entre el año 0 y el año 7 en un sistema de cultivo biointensivo.

5.2 Materiales y Métodos

Los datos para este capítulo fueron tomados en el Huerto de Investigación y Capacitación en Cultivo Biointensivo “El Mezquite” localizado en el Municipio de Jesús María, Estado de Aguascalientes, México, en las coordenadas 21°53'42.87” Norte 102°24'41.50” Oeste . El Huerto el Mezquite se compone de 12 camas de cultivo, 10 camas de 10 m² de medidas de 1.5 m x 6.7 m, 2 camas de 7.5 m² de medidas 1.5 m x 5 m. El suelo de esta área se ha cultivado durante ocho años bajo el sistema biointensivo de cultivo de alimentos, a partir de noviembre de 2006.

Este suelo se ha manejado de manera intensiva bajo asociaciones y rotaciones de cultivos como maíz (*Zea mais*), trigo (*Triticum spp*), triticale (*Triticum secale*), amaranto (*Amarathus spp*), girasol (*Helianthus annus*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), linaza (*Linum usitatissimun*), alfalfa (*Medicago sativa*), veza de invierno (*Vicia villosa*), chicharo forrajero (*Pisum sativum*), papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomea batatas*), ajo (*Allium aestivum*), cebolla (*Allium cepa*), nopal (*Opuntia spp*), chile (*Capsicum annum*), jitomate (*Solanum lycopersycum*), lechuga (*Lactuca sativa*), col (*Brasica oларacea var. Capitata*), coliflor (*Brasica oларacea var. Botritys*), acelga (*Beta vulgaris*), espinaca (*Spinacia oларacea*), zanahoria (*Daucus carota*). Los abonos utilizados son composta elaborada de los subproductos del sistema principalmente como el rastrojo y el abono verde. Se incorporaron algunos insumos externos, entre ellos enmiendas minerales como la roca fosfórica, yeso agrícola y azufre elemental; enmiendas vegetales como la alfalfa seca molida para nitrógeno y minerales menores.

5.2.1 Determinación de las propiedades químicas.

De 2007 a 2014 con fecha del mes de abril y horario de las 8 de la mañana, se tomaron muestras aleatorias por cama de cultivo a una profundidad de 25 centímetros, con una barra de acero inoxidable especial para toma de muestra de suelo. Estas 24 muestras aleatorias se mezclaron uniformemente en un balde limpio e inerte, con una cuchara de acero inoxidable cromado, tomando una muestra representativa de 600 gramos de peso depositándola en una bolsa de plástico nueva, limpia e inerte tipo ziploc, anotando la fecha, el número de muestra y el nombre del huerto. Esta bolsa se envió para su análisis a Analytical Laboratories Inc., A&L Eastern Laboratories, en la dirección 7621 Whitepine Road, Richmond Virginia USA, y con interpretación de Timberleaf Soil Testing

Old Spring Rd. Murrieta, California USA. En la muestra se analizaron las siguientes propiedades:

Materia Orgánica. Calculada por el método de “Pérdida por calcinación a 550°C”. La muestra de suelo se seca a 36°C, se tamiza por 16 mm, molida y libre de inertes y de carbono inorgánico, se calcina a 550°C. Se asume que el material volatilizado es la fracción orgánica y la ceniza remanente es la fracción mineral.

Capacidad de Intercambio Catiónico. Esta se calcula mediante la suma de las bases totales que se extraen de la muestra de suelo, K, Ca, Mg, Na expresada en meq/100grs.

pH. Calculado a través de una solución de suelo en agua 1:2 en un buffer de pH neutro y medido mediante un potenciómetro.

Método de extracción de nutrientes. Es mediante la metodología de Mehlich 3, la cual es la más universal y utilizada por la mayoría de los laboratorios certificados a nivel mundial (Schroder y col 2009). Mehlich 3 es un extractante desarrollado en 1984, es una combinación de ácido acético (HOAc) y nítrico (HNO₃), sales, fluoruro de amonio (NH₄F), nitrato de amonio (NH₄NO₃) y un agente quelatante ácido ethylenediaminetetracético (EDTA). Mehlich 3 extrae N, B, Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, P, Na, S y Zn. (Schroder y col 2009).

Para la medición de los aniones, cationes y minerales. La medición fue mediante espectroscopia de plasma (icp-ioes) (Hou y Jones 2000);

Además se realizó la base de datos con los análisis de suelo de los 8 años de cultivo. Para el análisis de los datos se realizó una prueba estadística de regresión lineal, mediante la fórmula matemática $y=a+bx$, donde la variable predictoría son las propiedades químicas, y la variable de respuesta son los años de análisis.

5.2.2 Determinación de las propiedades físicas.

Para el año 0, se tomaron 4 muestras aleatorias de áreas del Huerto, que no han sido alteradas o modificadas, se mezclaron uniformemente en un balde limpio e inerte,

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

con una cuchara de acero inoxidable cromado, a una profundidad de 25 centímetros, este suelo se considero como la muestra representativa del año 0.

Para el año 7, se tomaron 2 muestras aleatorias por cama de cultivo a una profundidad de 25 centímetros, con una barra especial para toma de muestra de suelo hecha de acero inoxidable, estas 24 muestras aleatorias se mezclaron uniformemente en un balde limpio e inerte para obtener una muestra representativa considerada como la muestra para el año 7.

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la Posta Zootécnica del Centro de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, en el Estado de Aguascalientes, México. Para ambas muestras se determinaron las siguientes propiedades físicas.-

Densidad Aparente. Por el método de la parafina (RECNAT-021, 2002) y el método de la probeta, realizando 6 repeticiones para cada una de las muestras representativas del año 0 y el año 7. Ver cuadro de datos y repeticiones para la DA, DR y %P.

Densidad Real. Por el método del picnómetro (RECNAT-021, 2002), realizando 6 repeticiones para cada una de las muestras representativas del año 0 y el año (Tabla 6)

Porosidad. Con la obtención de la DR y DA por la formula $\%P=100-((DA/DR)*100)$ donde DA es densidad real, DR densidad aparente y %P porcentaje de porosidad.

Capacidad de infiltración. Por el método de los cilindros concéntricos midiendo la cantidad máxima de agua que el suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. Determinándolo por la altura de agua que se infiltra, expresada en cm/hora. Se realizó el experimento colocando los anillos a una profundidad de 20 cm cada uno en una cama de cultivo correspondiente al año 7 y posteriormente en un lugar correspondiente al año 0, se realizaron 20 lecturas con diferentes intervalos de tiempo de 1, 5, 10, 15 y 30 minutos para ambas muestras.

Retención y disponibilidad de Agua. Se realizó una prueba de determinación de la retención de agua en el suelo, secando las muestras 24 horas en una estufa, posteriormente se tomaron 20 grs de suelo colocándolo en un embudo con papel filtro de bajo granaje y se vertieron 25

ml de agua, la cual pasa por la muestra y en una probeta se midió el agua sobrante, se realizaron 4 repeticiones por muestra de año 0 y año 7. A cada una de las repeticiones se le restó 0.5 ml que fue la absorción de agua del papel filtro utilizado por medio de un testigo que se corrió junto con las muestras.

El análisis de los datos se realizó por medio de una prueba de diferencia de medias T-Test para cada propiedad analizada entre la muestra representativa para el año 0 y el año 7.

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 Propiedades químicas.

Los resultados para la determinación de las propiedades químicas del año 2007 al 2014 se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Evolución y análisis de las Propiedades Químicas del suelo del sistema durante 8 años de cultivo biointensivo.

Propiedad	Años de análisis								Resultados estadísticos			
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	b	r	R ²	p-value
MO %	1.4	1.5	1.7	1.2	3.1	3.9	3.1	3.8	0.40	0.86	0.74	0.0060**
CIC	14.5	20.8	17.9	18.7	19.2	19.4	17.2	17.9	0.13	0.17	0.03	0.6892 ^{ns}
pH	7.9	8.1	7.8	7.5	7.7	8.1	7.5	7.8	-0.03	0.33	0.11	0.4316 ^{ns}
Ca %Sat	57.1	58.9	60.2	65.2	67.4	70.9	69.2	69.8	2.80	0.94	0.89	0.0004***
Mg %Sat	34	30.3	27.6	25.1	22.3	16.7	17.2	17.8	-2.55	0.96	0.93	0.0001***
K %Sat	6.2	6.6	6.2	5.5	6.4	7	7.3	8.7	0.29	0.74	0.54	0.0372*
Na %Sat	2.6	4.2	4	4	4.7	5.6	6.3	3.6	0.28	0.58	0.34	0.1322 ^{ns}
Ca ppm	1650	2450	2420	2440	2570	2750	2655	2500	96.37	0.70	0.50	0.0512 ^{ns}
Mg ppm	590	755	654	564	486	388	355	383	51.49	0.88	0.77	0.0042**
K ppm	352	535	478	401	467	533	492	609	21.61	0.66	0.43	0.0763 ^{ns}
Na ppm	88	201	220	172	212	252	250	149	9.62	0.43	0.18	0.2910 ^{ns}
N ppm	14.25	14.75	13.5	12.5	19.25	26	19.5	51	3.87	0.74	0.55	0.0349*
P 1 ppm	8	22	21	17	35	53	48	82	9.07	0.92	0.84	0.0014**
P 2 ppm	14	54	62	68	113	159	121	180	21.82	0.95	0.89	0.0004***
S ppm	7	24	47	149	108	68	82	27	5.38	0.28	0.08	0.0509*
Zn ppm	1.2	3.1	3	2.9	9.8	16.8	14.9	17.6	2.64	0.93	0.87	0.0008***
Mn ppm	27	55	47	37	48	59	63	55	3.37	0.69	0.48	0.0582 ^{ns}
Fe ppm	16	21	20	22	21	22	22	21	0.56	0.66	0.43	0.0764 ^{ns}
Cu ppm	2.4	3.2	3.1	2.8	2.6	2.5	2.7	3.2	0.01	0.10	0.01	0.8123 ^{ns}
B ppm	0.4	2	1.8	1.5	2.2	2.9	2.2	1.6	0.16	0.54	0.29	0.1664 ^{ns}
CE	0.1	0.3	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.2	0.02	0.31	0.10	0.4473 ^{ns}

Niveles de significancia (p-value): **altamente significativo, * significativo, ns no significativo; b pendiente del modelo; r coeficiente de correlación; R² coeficiente de determinación; MO% Porcentaje de materia orgánica; CIC capacidad de intercambio catiónico; P1 Fósforo disponible; P2 Fósforo en reserva; CE conductividad eléctrica.

Las propiedades químicas que presentaron una tendencia positiva $b > 0$ y un nivel de significancia con un $p < 0.05$ fueron la materia orgánica, los porcentajes de saturación de calcio, potasio, el nitrógeno total, el fósforo disponible y en reserva, el azufre y el zinc.

Las propiedades que presentaron una tendencia positiva pero el nivel de significancia fue mayor a 0.05 fueron la capacidad de intercambio catiónico, el pH, el calcio, el potasio, el manganeso, el fierro, el cobre, el boro y la conductividad eléctrica, es decir tuvieron una tendencia positiva de aumento pero este no fue significativo.

El caso del magnesio fue la única propiedad que presentó una tendencia hacia la baja con una $b < 0$ y un nivel de significancia menor a 0.05. Para el sodio se muestra una tendencia a la alza más no significativa (Tabla 6).

En los resultados la materia orgánica, los porcentajes de saturación de calcio, potasio, el nitrógeno total, el fósforo disponible y en reserva, el azufre y el zinc presentaron una mejora significativa, principalmente la materia orgánica debido a la adición de las compostas y al 60% de área con cultivos de granos y abonos verdes que incrementaron los niveles de carbono en forma de celulosa y ligninas y por lo tanto los niveles de MO, coincidiendo con lo mencionado por Jeavons en 2001.

Los porcentajes de saturación de calcio, magnesio y potasio están correlacionados con un aumento y equilibrio entre los cationes los cuales la mayoría presentaron una mejora más esta no fue significativa. El azufre muestra tendencia a la alza significativamente debido principalmente al uso de azufre elemental como enmienda para el control del pH la cual se aplicó solo para disminuirlo cuando se requería. El zinc aumenta debido a la adición de sulfato de zinc, en el primer año, y el nitrógeno al constante abono con las compostas, la alfalfa molida seca y los abonos verdes,

En relación al fósforo el incremento se debe a la adición de la roca fosfórica y el fósforo en reserva. De'Hose y colaboradores en 2013 en sistemas agrícolas sustentables a gran escala obtienen resultados significativos de aumento en el nitrógeno total, materia orgánica y disponibilidad de Fósforo coincidiendo con el sistema en pequeña escala realizado en esta investigación.

Las propiedades que presentaron una tendencia hacia la alza pero que no es significativa fueron el calcio, el potasio, el manganeso, el fierro, el cobre y el boro los cuales son elementos que forman parte principalmente de las hojas, frutos y tubérculos es decir de la parte comestible, la cual no se regresa al sistema agrícola a través de la composta. En calcio y potasio hay un aumento ligero mas no significativo esto puede ser

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

debido a la naturaleza del sistema estudiado que hace que mucho de este salga del sistema en la parte comestible.

En cuanto a la conductividad eléctrica y al sodio hay un ligero aumento y el que no sea significativo nos indica una estabilidad lo cual está bien para el sistema. La conductividad eléctrica varía manteniéndose estable sin aumentar significativamente.

Los microelementos como el fierro, el cobre, el boro y el manganeso, su aumento y diferencias son a muy largo plazo, aunque en el periodo de estudio presentan una tendencia hacia a la alza más no significativa, coincidiendo con lo que comenta Astier y colaboradores en 2002 y Diacono y Montemurro en 2009.

El Magnesio, tanto en porcentaje de saturación como en presencia del elemento mostró una tendencia muy significativa a la baja, esto debido a que no se ha aplicado ninguna enmienda para este elemento, y también indica que hay muy poca presencia de este elemento en las compostas adicionadas aunque los niveles se mantienen todavía por arriba del mínimo.

Marbelis y Colaboradores en 2004 realizaron un análisis de rendimientos y comportamiento de las propiedades del suelo durante 6 años con la aplicación de la agricultura biointensiva. Solo se analizaron pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y capacidad de intercambio catiónico de manera descriptiva. Encontraron aumentos en el pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y una disminución en la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico. Una importante diferencia es que los cultivos que se utilizaron en el sistema fueron solo hortalizas; en este proyecto el 60% eran cultivos de granos y forrajes. Además la composta se elaboró con insumos fuera del sistema, a diferencia de lo que se presenta en esta investigación donde la composta se elabora dentro del mismo sistema.

5.3.2 Propiedades físicas

Los resultados para la determinación de la densidad aparente, densidad real y porcentaje de porosidad del año 0 (2007) y año (7) 2014 se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Cambios de la Densidad Aparente, Densidad Real y Porcentaje de Porosidad entre año 0 y el año 7 del sistema bajo de cultivo biointensivo.

Propiedad	Rango de datos		Promedio		
	Año 0 min a max	Año 7 min a max	Año 0	Año 7	p-value
Densidad Aparente grs/cm ³	1.69 a 1.72	1.17 a 1.13	1.70	1.21	7.12 ^{-11**}
Densidad Real grs/cm ³	2.3 a 2.4	2.21 a 2.3	2.33	2.26	0.0173*
Porosidad %	25.22 a 29.58	44.84 a 47.53	27.18	46.64	4.54 ^{-09**}

Niveles de significancia (p-value): indicando la diferencia entre el año 0 y año 7, **altamente significativo, * significativo, ns no significativo;

En relación a la densidad aparente esta presentó para el año 0 una media de 1.70 grs/cm³ y para el año 7 una media de 1.21 grs/cm³, con un p-value altamente significativo indicando que si hubo un cambio importante en esta propiedad (Tabla 7). La densidad aparente presentó un cambio altamente significativo entre el año 0 y el año 7 disminuyendo en promedio 0.49 grs/cm³ al contrario de Marbelis y colaboradores en 2004 donde después de 6 años no hubo cambios, la diferencia se podría deber al uso de lombricomposta como enmienda y al cultivo exclusivo de hortalizas al contrario de la presente investigación donde se usaron compostas altas en ligninas y celulosas además del cultivo de cereales.

La densidad real presentó para el año 0 una media de 2.33 grs/cm³ y para el año 7 una media de 2.26 grs/cm³ con una ligera diferencia en promedio de 0.07 grs/cm³ con un p-value significativo indicando que hubo un cambio en esta propiedad después de 8 años de cultivo biointensivo (Tabla 7). La muy ligera disminución que presentó la densidad real puede ser debido a la adición de la composta, al aumento de la MO a lo largo del tiempo, ya que la densidad real es el peso de las partículas de la fase sólida y minerales totales del suelo en relación al volumen que estas ocupan descartando el espacio poroso (Kohnke y Franzmeier, 1995). La adición de materia orgánica y la intensidad de los cultivos que dejan sus raíces en el suelo, va aumentando ligeramente el volumen del

suelo, aunque la DR puede presentar cambios muy ligeros a través del tiempo, por lo general esta no cambia a menos que se haya añadido al suelo arcillas, arenas o limos o fertilizantes minerales en muy altas cantidades (Plaster, 2013).

En el porcentaje de porosidad se determinó una media de 27.18% para el año 0 y 46.64% para el año 7, aumentando en promedio 19.46% en el espacio poroso con un p-value altamente significativo indicándonos una diferencia importante de un aumento de 41.72% más de porosidad (Tabla 7).

El aumento del porcentaje de porosidad después de 8 años de cultivo biointensivo, puede estar principalmente relacionado con los cambios en DA, pero también con el aumento de la materia orgánica en relación al carbono y los microorganismos coincidiendo con lo descrito por Diacono y Montemurro en 2011 donde los cambios favorables de las propiedades físicas y químicas en los sistemas agrícolas sustentables se deben principalmente al aumento de la materia orgánica.

Los resultados para la determinación de la infiltración del año 0 (2007) y año (7) 2014 se muestran en las siguientes tablas 8 y 9.

Tabla 8. Registro de intervalos de tiempo, profundidad y velocidad de infiltración de del Año 0 del sistema, sin cultivo biointensivo.

Lectura No.	Intervalo de Medición (min)	Tiempo acumulado (min)	Lecturas parciales (cm)	Infiltración Parcial (cm)	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración Promedio (cm/min)	Velocidad de Infiltración Promedio (cm/hr)
1	0	0	10	0	0	0.00	0
2	1	1	9.6	0.4	0.4	0.40	24
3	1	2	9.2	0.4	0.8	0.40	24
4	1	3	8.9	0.3	1.1	0.30	18
5	1	4	8.6	0.3	1.4	0.30	18
6	1	5	8.2	0.4	1.8	0.40	24
7	5	10	5.6	2.6	4.4	0.52	31.2
8	5	15	9.5	0.5	4.9	0.10	6
9	5	20	8.2	1.3	6.2	0.26	15.6
10	5	25	7.1	1.1	7.3	0.22	13.2
11	5	30	6.3	0.8	8.1	0.16	9.6
12	10	40	9.5	1	9.1	0.10	6
13	10	50	7.5	2	11.1	0.20	12
14	10	60	5.5	2	13.1	0.20	12
15	15	75	9.5	1.5	14.6	0.10	6
16	15	90	7.8	1.7	16.3	0.11	6.8
17	15	105	6.5	1.3	17.6	0.09	5.2
18	15	120	5.4	1.1	18.7	0.07	4.4
19	30	150	9.5	2	20.7	0.07	4
20	30	180	7.9	1.6	22.3	0.05	3.2

Tabla 9. Registro de intervalos de tiempo, profundidad y velocidad de infiltración del Año 7 del sistema, después de 8 años de cultivo biointensivo.

Lectura No.	Intervalo de Medición (min)	Tiempo acumulado (min)	Lecturas parciales (cm)	Infiltración Parcial (cm)	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración Promedio (cm/min)	Velocidad de Infiltración Promedio (cm/hr)
1	0	0	10	0	0	0.00	0
2	1	1	5.3	4.7	0.4	0.40	24
3	1	2	9.5	0.5	0.9	0.40	24
4	1	3	6.4	3.1	4	0.30	18
5	1	4	9.5	0.5	4.5	0.30	18
6	1	5	7.2	2.3	6.8	0.40	24
7	5	10	9.5	0.5	7.3	0.52	31.2
8	5	15	5.2	0.5	7.8	0.10	6
9	5	20	9.5	0.5	8.3	0.10	6
10	5	25	6.3	3.2	11.5	0.64	38.4
11	5	30	9.5	0.5	12	0.10	6
12	10	40	9.5	0.5	12.5	0.05	3
13	10	50	5.6	3.9	16.4	0.39	23.4
14	10	60	9.5	0.5	16.9	0.05	3
15	15	75	5.2	0.5	17.4	0.03	2
16	15	90	9.5	0.5	17.9	0.03	2
17	15	105	6.3	3.2	21.1	0.21	12.8
18	15	120	9.5	0.5	21.6	0.03	2
19	30	150	9.5	0.5	22.1	0.02	1
20	30	180	6.8	2.7	24.8	0.09	5.4

En la infiltración los resultados muestran contrastes importantes entre diferencias en la velocidad de infiltración. En el año 0 la velocidad promedio comienza de 32cm/hr hasta una estabilización de 3.2cm/hr en su punto de saturación al momento del riego hasta llegar después de 3 horas a una infiltración acumulada de 22.3 cm (Tabla 8). En el año 7, la velocidad de infiltración aumenta en su punto inicial a partir de una velocidad de 38.4 cm/hr hasta una estabilización de 5.4 cm/hr en su punto de saturación al momento del riego hasta llegar después de 3 horas a una infiltración acumulada de 24.8 cm (Tabla 9). Indicando una mayor infiltración del año 7 que en el año 0 (Figura 17).

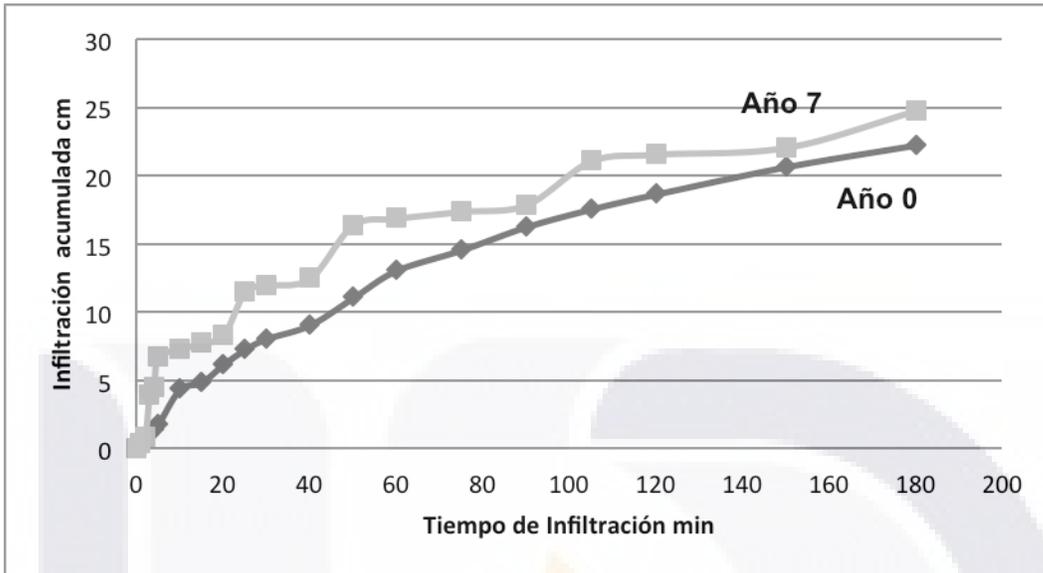


Figura 17. Diferencia de la infiltración de humedad acumulada en el suelo a través del tiempo (min) entre el año 0 y año 7 del sistema bajo cultivo biointensivo.

Para la infiltración en el año 0 la velocidad promedio comienza de 32 cm/hr hasta una estabilización de 3.2 cm/hr a diferencia en el año 7 la velocidad de infiltración aumenta en su punto inicial a partir de una velocidad de 38.4 cm/hr hasta una estabilización de 5.4 cm/hr la principal diferencia se debe a la práctica de la doble excavación, donde en un sistema agrícola convencional la profundidad de suelo llega a un máximo de 35 a 40 centímetros al contraste de 60 centímetros en promedio en un sistema biointensivo, por otro lado a la adición de la composta, materia orgánica y fertilizantes como el yeso agrícola que han modificado la estructura haciéndola más granular y por lo tanto aumentando la permeabilidad.

Los resultados de la determinación del volumen de retención de agua del año 0 (2007) y año 7 (2014) se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Cambios de volumen de agua retenida en el suelo, entre el año 0 y año 7 del sistema bajo cultivo biointensivo de alimentos.

	Rango de datos ml min a max	% de Agua retenida	Media ml	p-value
Año 0	10 a 10.5	41.5	10.4	0.0011**
Año 7	11.5 a 12.5	48	12.0	

Niveles de significancia (p-value): indicando la diferencia entre el año 0 y año 7,**altamente significativo, * significativo, ns no significativo; ml mililitros

Para el año 0 la media fue de 11.375 ml, con un rango de 10 a 10.5 ml, en contraste con el año 7 que presentó 12 ml en promedio y un rango de 11.5 a 12.5 ml, indicando una diferencia de 0.625ml. En la prueba estadística de diferencia de medias se obtuvo un p-value de 0.0011 altamente significativo, demostrando una diferencia en el volumen de retención de agua por unidad de suelo en peso. El porcentaje de volumen de agua retenido fue mayor en el año 7 con un 48% en relación con el año 0 con un 41.5%, obteniendo una diferencia de 6.5% más retención (Tabla 10).

Estas diferencias se explican por el aumento de la materia orgánica y del contenido de carbono estructural, quienes retienen una mayor cantidad de agua en el suelo, coincidiendo con lo descrito por Batiano y colaboradores en 2007, explicando que la retención de agua y nutrientes es proporcional al aumento de materia orgánica y carbono estructural acumulado.

5.4 Conclusiones

5.4.1 Propiedades químicas

De acuerdo a los resultados y la tendencia que presentaron las propiedades químicas, podemos concluir lo siguiente:

- La materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, el zinc y los porcentajes de saturación de calcio y potasio, mostraron una tendencia hacia la alza y un nivel altamente significativo, indicando que estas propiedades se mejoraron con el tiempo.

- El potasio, calcio, manganeso, fierro, cobre y boro, mostraron una tendencia también hacia la alza, mostrando que también mejoraron con el tiempo, pero el nivel no fue significativo.
- La capacidad de intercambio catiónico, el pH y la conductividad eléctrica, no mostraron tendencia y el nivel no fue significativo. Estas propiedades se han mantenido con el tiempo, lo que es deseable para un suelo fértil.
- El magnesio fue la única propiedad química en mostrar una tendencia hacia la baja, con un nivel altamente significativo, por lo que hay que estar pendientes de esta propiedad, aunque los niveles de este elemento en el suelo del sistema se encuentran un poco arriba del deseable.
- Las propiedades químicas del suelo, en un sistema de cultivo biointensivo, en su mayoría se mantienen y se mejoran con el tiempo. Sin embargo no está exento de un monitoreo constante de estas propiedades además de las físicas y biológicas que nos indiquen el comportamiento y la sustentabilidad del sistema (A.K. Bhardwaj y col 2011 y Astier y col 2002).
- La reposición de los elementos como Fe, Mn, Cu, Zn y B en un sistema biointensivo mucho se debe a la recirculación de estos a través de los cultivos y a la elaboración y aplicación de composta, aunque estos puedan estar por debajo de los niveles necesarios, pueden sin embargo reponerse y aumentar en 8 años aunque de una manera no significativa pero suficiente para la producción.
- Los indicadores más indispensables, según A.K. Bhardwaj y col, en 2011 y Liu y col, en 2013, como la Materia Orgánica, el Nitrógeno y el Fósforo, se mejoraron, el potasio y el calcio se mantuvieron estables.
- De acuerdo con la hipótesis particular planteada, “Las propiedades químicas del suelo bajo el sistema de cultivo biointensivo se modifican favorablemente a través del tiempo”, afirmamos que se cumple ya que la mayoría de las propiedades mejoró o se mantuvo estable.

5.4.2 Propiedades físicas

De acuerdo a los resultados y las diferencias que presentaron las propiedades físicas en los años 0 y 7, podemos concluir lo siguiente:

- La densidad aparente, el porcentaje de porosidad, los volúmenes de retención de agua presentaron una diferencia altamente significativa entre el año 0 y el año 7, indicando una mejora en estas propiedades.
- La densidad real presentó un ligero descenso con una diferencia significativa entre el año 0 y el año 7. Aunque la densidad real no es común o lógico que cambie o baje en suelo con alta cantidad de MO y humus baja ligeramente (Benzing, 2001).
- Los niveles de infiltración nos indican que hubo diferencias en la infiltración acumulada y la velocidad de infiltración entre el año 0 y el año 7, indicando también una mejora en la permeabilidad.
- En cuanto a las propiedades físicas, podemos afirmar que la hipótesis “Las propiedades físicas del suelo bajo el sistema de cultivo biointensivo se modifican favorablemente entre el año 0 y el año 7” se cumple, ya que todas estas propiedades presentaron mejoras significativas.
- En relación a la hipótesis particular “La retención y disponibilidad de agua en el suelo bajo sistema biointensivo mejora con el tiempo”, podemos afirmar que esta se cumple, ya que la diferencia entre los porcentajes fue altamente significativa.

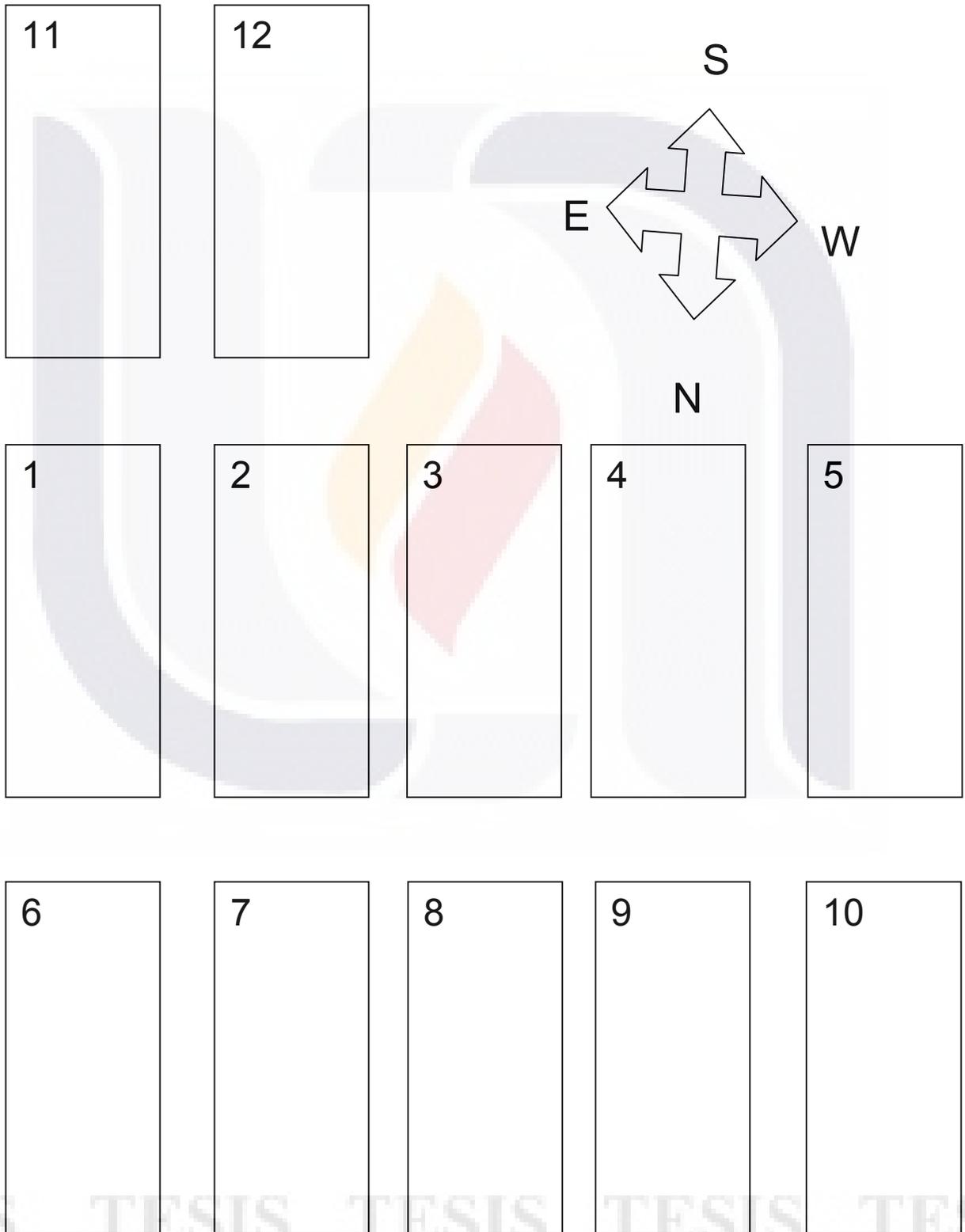
CONCLUSIONES GENERALES

- Las entradas de fertilizantes como la harina de alfalfa y la roca fosfórica, que son de uso más intensivo disminuyeron de manera significativa.
- El uso de otras enmiendas para estabilizar propiedades químicas y físicas, varía dependiendo de los análisis de suelo y del comportamiento de estas propiedades.
- La composta en un sistema biointensivo es un abono que va depender de la producción del sistema, por lo que entre más producción de biomasa, mayor cantidad de materiales para la elaboración de la composta.
- La producción de biomasa de manera general no solo depende de las propiedades del suelo, sino también del diseño y de la planeación en un sistema biointensivo por lo observado en los cambios de la producción después de año 2010.
- La producción de biomasa en un sistema biointensivo aumenta a través del tiempo siempre y cuando se tenga en cuenta los porcentajes de 60-30-10 o un 60% mínimo de cultivos altos en carbono estructural para la composta.
- No todas propiedades del suelo mejoraron de manera significativa dentro del sistema y se mantuvieron a la alza, por lo que es indispensable monitorear a través de análisis de suelo anuales.
- La materia orgánica es una de las principales promotoras de la mejora de otras propiedades químicas y es proporcional al incremento de biomasa y adición de composta en el sistema.
- La relación estrecha entre producción de biomasa y composta, es el eje principal para la recirculación de los nutrientes en el sistema biointensivo y la promotora del mejoramiento y mantenimiento óptimo de las propiedades del suelo. Por lo que la práctica de los principios de producción de cultivos altos en biomasa y elaboración de composta son los más importantes a seguir.
- En relación a lo ya descrito e integrando las conclusiones de los 3 capítulos, podemos afirmar que la hipótesis general “La producción de biomasa y las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema de cultivo biointensivo mejoran a través del tiempo”, se cumple.

ANEXOS

Anexo 1

Mapa del Huerto de Investigación y Capacitación en Cultivo Biointensivo "El Mezquite".



BIBLIOGRAFIA

Abbott L.K., Murphy D.V. 2007. What is soil biological fertility? In: Abbott L.K., Murphy D.V. (Eds.), Soil biological fertility A key to sustainable land use in agriculture, Springer, pp. 1–15.

Altieri, M. A., 1999, *Agroecología, Bases Científicas de la Agricultura Alternativa*. Cetal Ediciones. Primera Edición.

Astier, M., Maass M., Etchevers, J., 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, vol. **36**, núm. 5, septiembre-octubre, pp. 605-620

Bhardwaj, a. K., Jasrotia, P., Hamilton, S. K., & Robertson, G. P. 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **140(3-4)**, 419–429.

Bandyopadhyay, P. K., Saha, S., Mani, P. K., & Mandal, B. 2010. Effect of organic inputs on aggregate associated organic carbon concentration under long-term rice–wheat-cropping system. *Geoderma*, **154(3-4)**, 379–386.

Bationo, A. 2007. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural Systems Journal*. **94**, 13-25.

Bell, L. W. 2012. Soil profile carbon and nutrient stocks under long-term conventional and organic crop and alfalfa-crop rotations and re-established grassland. *Agriculture, Ecosystems, Environment Journal*. **158**, 156-163.

Benzing, A. 2001. *Agricultura Orgánica Fundamentos para la Región Andina*. Editorial Neckar-Verlag Alemania. Primera Edición.

Bomford, M. K. 2009. Do Tomatoes Love Basil but Hate Brussels sprouts? Competition and Land-Use Efficiency of Popularly Recommended and Discouraged Crop Mixtures in Biointensive Agriculture Systems, *Journal of Sustainable Agriculture*, **33:4**, 396-417

Cabrera, A. 2007. DESBALANCE NUTRIMENTAL DEL SUELO Y EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE TOMATE (*Lycopersicon solanum* L .) Y PEPINO (*Cucumis sativus* L

.) EN CONDICIONES DE CULTIVO PROTEGIDO, Revista Cultivos Tropicales vol **28(3)**, 91–97.

Capene, D. G., Popa, R., Flood, B., and Neelson, K. H. 2006. Geochemistry. Follow the nitrogen. *Science* 312(5774), 708-709.

Diacono, M., & Montemurro F. 2010. Review article Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review, **30**, 401–422.

Dimas, J., Díaz A., Martínez, E., Valdez R. D. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz *Terra Latinoamericana*, vol. **19**, núm. 4, octubre-diciembre, pp. 293-299

D'Hose, T., Cougnon, M., De Vliegheer, A., Vandecasteele, B., Viaene, N., Cornelis, W., Reheul, D. (2014). The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology*, **75**, 189–198.

Durán V.H., Rodríguez, C.R. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review, *Agron. Sustain. Dev.* **28**, 65–86.

Edward J. Plaster. 2013. *Soil Science & Management. Delmar Editors, 6th Edition.*

Flores-Aguilar, J. J.; Vázquez-Rosales, R.; Solano-Vergara, J. J.; Aguirre-Flores, V.; Flores-Pérez, F. I.; Bahena-Galindo, M. E.; Oliver Guadarrama, R.; Granjeno-Colín, A. E.; Orihuela-Trujillo, A. 2012. EFECTO DE FERTILIZANTE ORGÁNICO, INORGÁNICO Y SU COMBINACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ALFALFA Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO *Terra Latinoamericana*, vol. **30**, núm. 3, pp. 213-220

Ganeshamurthy A. N. 2009. Soil changes following long-term cultivation pulses. *Journal of Agricultural Science* **147**, 699–706.

Gliessman, S. R., 2002, *Agroecología Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible.* Turrialba Costa Rica. CATIE 2002.

Gómez-Alvaréz, G., Lázaro-Jerónimo, G., León, J.A. 2008. Producción de Frijol y Rábano en Huertos Biointensivos en el Trópico Húmedo de Tabasco. *Revista Universidad y Ciencia del Trópico Húmedo*, **21:1**, 11-20

Gravina, B. A. 2012. Utilización de nuevos índices para evaluar la sostenibilidad de un agroecosistema en la República Bolivariana de Venezuela. *Revista Cultivos tropicales*, **33:3**, 15-22.

Helmut Kohnke. 1995. *Soil Science Simplified*, Waveland Press Inc. Fourth Edition.

Idowu, O. J., van Es, H. M., Abawi, G. S., Wolfe, D. W., Schindelbeck, R. R., Moebius-Clune, B. N., & Gugino, B. K. 2009. Use of an integrative soil health test for evaluation of soil management impacts. *Renewable Agriculture and Food Systems*, **24(03)**, 214.

Jeavons, J. C. 2001. Biointensive Sustainable Mini-Farming: I. The Challenge, *Journal of Sustainable Agriculture*, **19:2**, 49-63

Jeavons, J. C. 2001. Biointensive Sustainable Mini-Farming: II. Perspective, Principles, Techniques and History, *Journal of Sustainable Agriculture*, **19:2**, 65-76

Jeavons, J. C. 2001. Biointensive Sustainable Mini-Farming: III. System Performance—Initial Trials, *Journal of Sustainable Agriculture*, **19:2**, 77-83

Jeavons, J. C. 2001. Biointensive Sustainable Mini-Farming: V. Future Potential, Some Representative World Applications, Future Challenges and Research Opportunities, *Journal of Sustainable Agriculture*, **19:2**, 99-106

Jeroen C.J. 2012. Multi-objective optimization and design of farming systems. *Agricultural Systems Journal* **110**, 63-77.

Jeavons, J. *Cultivo Biointensivo de Alimentos, mas alimentos en menos espacio*. 2012. Ecology Action of the Midpensinsula. Sexta Edición. Ten Speed Press.

Komatsuzaki M., Ohta H. 2007. Soil management practices for sustainable agroecosystems, *Sustain. Sci.* **2**, 103–120.

Mahmoud F. Seleiman, Arja Santanen, Seija Jaakkola, Paivi Ekholm, Helina Hartikainen, Frederick L. Stoddard, Pirjo S.A. Makela. 2013. Biomass yield and quality bioenergy crops grow with synthetic and organic fertilizers. *Biomass and Bioenergy* 59 (2013), 447-485.

Magdoff, F., 2007. Ecological agricultura: Principles, practices and constraints. *Renewable Agriculture and Food Systems*. **22:2**, 109-117.

Moore S. R. 2010. Energy efficiency in small-scale biointensive organic onion production in Pennsylvania, USA *Renewable Agriculture and Food Systems*: **25(3)**; 181–188

Moreau, P. 2012. Reconciling technical, economic and environmental efficiency of farming systems in vulnerable areas. *Agriculture, Ecosystems and Environment Journal*. **142**, 89-99.

Nebel, Bernard J, *Ciencias Ambientales Ecología y Desarrollo Sostenible*, 6a Edición, Prentice Hall México 1999.

Poulton, C., Dorward, A., Kydd, J. 2010. The Future of Small Farms: New Direction For Services, Institutions, and Intermediation. *World Development Journal*, **38:10**, 1413-1418.

Reeve, J.R., (2011): Sustainable agriculture: A case study of a small Lopez Island farm. *Agricultural Systems Journal*. 104, 572-579.

Rodríguez, M. F., Vásquez, M. C., Serrano, M. E., Hernández, J.A. 2004. Análisis de los Rendimientos y comportamiento de las propiedades del suelo mediante la aplicación de la agricultura biointensiva. *Revista Centro Agrícola*, **31:2** 104-108

Schramski, J.R. 2011. Trophically balanced sustainable agricultura. *Ecological Economics Journal*. **72**, 88-96.

Schroder, J., Zhang, H., Kariuki, S., Payton, M., and Focht, C., 2009. Inter-laboratory validation of the Mehlich 3 for extraction of plant-available phosphorus. *J. AOAC International Vol.* **92 (1)**: 91-102

Tuomisto, H.L, (2012): Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting farming systems with alternative land uses. *Agricultural Systems Journal* 108, 42-49.

Van Esso, Miguel, *Fundamentos de la Ecología*, 1ª ed. Buenos Aires: 2006.

Xiandeng Hou, Bradley T. Jones., 2000. Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry. *Encyclopedia Of Analytical Chemistry*. R.A. Meyers. Pp 9468-9585. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.