



**UNIVERSIDAD INTERCULTURAL INDÍGENA DE
MICHOACÁN**

**LICENCIATURA EN DESARROLLO
SUSTENTABLE**

AGROECOLOGÍA Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA AGROSILVÍCOLA COMO
UNA ALTERNATIVA SOCIOECONÓMICA Y ECOLÓGICA EN
KANANGUIO, PICHÁTARO MICHOACÁN**

TESIS

Que presenta:

ERIKA PÉREZ MARTÍNEZ

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARÍA LUISA HERRERA ARROYO

Kananguio, Mpio. de Tingambato Mich., Octubre de 2020.

AGRADECIMIENTOS

A Dios principalmente porque sé que en los momentos más difíciles y oscuros de mi vida cuando creía no poder seguir adelante me brindó fuerzas, sabiduría, coraje, paciencia, salud y bendiciones para continuar.

A mi directora de tesis: Dra. María Luisa Herrera Arroyo por compartir su conocimiento académico y tiempo en el desarrollo de la presente investigación de la misma manera por formarme profesionalmente durante los diferentes ciclos de mi vida estudiantil en los cuales se desempeñó como una docente y a la vez como una gran amiga mi respeto y admiración por ser una excelente mujer.

A mis maestros de la carrera Humberto Rendón, Gabriela Arias, Carlos Acatitla, Luisa Herrera, Margarito Álvarez y Jaime Francisco que compartieron conmigo sus conocimientos y lograron formar una profesionalista más que les estará siempre agradecida.

A mis maestras de lenguas Ángeles Villegas, Teresa Asencio y Eduviges Tomas por transmitir sus conocimientos y sus experiencias de vida.

A mi comité lector Dr. Moisés Toribio, Dr. Humberto Rendón, Dr. Carlos Acatitla, Dra. Luisa Herrera y LDS Carlos Rodríguez gracias por sus recomendaciones para la finalización de este trabajo.

A mi Familia con mucho cariño y respeto ya que siempre me han apoyado durante toda mi vida, a ellos les dedico éste triunfo el cual no habría sido posible sin su ayuda.

A cada una de las personas que me brindaron su apoyo en distinta manera a lo largo de toda mi carrera sin el cual no tendría la fuerza y energía que me anima a seguir adelante y crecer como persona.

DEDICATORIAS

A Dios le dedico esta investigación porque nunca me ha abandonado quien me dio la fuerza para seguir adelante y alcanzar mis metas como persona y profesional.

A la Universidad Intercultural Indígena de Michoacán agradezco por abrirme las puertas a su conocimiento después de años de esfuerzo y sacrificio hoy se ven culminados.

A mis Padres Bladimiro Pérez Rueda y Raquel Martínez Ramírez por haber hecho muchos esfuerzos para que yo pudiera estudiar en la universidad, sé que sin sus sacrificios tanto familiares como económicos no podría haber llegado a ser una profesional. Este triunfo es por ustedes y para ustedes de todo corazón se los agradezco enormemente.

A mis Hermanos Sandro, Jairo y Lilitiana por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas a pesar de las diferencias que nos separan al final siempre juntos apoyándonos para salir a delante.

A mis sobrinos Andrea, Jairo, Brenda, Karina, Ximena y Sebastián quienes son lo más hermoso que Dios ha puesto en mi camino para motivarme y alegrarme en cada paso de mi vida para seguir adelante en mi preparación. Gracias por ser parte de esta meta que hoy he alcanzado.

A mis mejores amigos Rubén Hernández y Luis Martínez por su apoyo incondicional para seguir adelante y por la amistad que me han brindado, a pesar de la distancia.

A mis mejores amigas María Arreola y Mayra Zarco por estar cuando más lo necesite alentándome y levantándome cuando me he caído, dándome esas palabras de aliento para seguir adelante y

compartiendo conmigo sus alegrías y tristezas dedicada a ustedes que creen en la verdadera amistad.

A mis amigos pasados y presentes por ayudarme a crecer y madurar como persona por estar siempre conmigo apoyándome en todas las circunstancias posibles

Finalmente, pero quizá el más importante, mi sobrino Jorge A. Morales quien falleció de manera inesperada, a ti que llegaste a mi vida pero no te quedaste en ella, no me queda más que aceptar que ya no estas físicamente pero en mi corazón vivirás eternamente, a ti mi amor te dedico este logro. Hasta el cielo.

Índice

RESUMEN.....	X
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
Planteamiento del problema.....	xv
Justificación	xviii
Hipótesis.....	xx
Objetivos	xx
Objetivo general	xx
Objetivos específicos	xx
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. La agroforestería.....	1
1.2. Características fundamentales de la agroforestería.....	2
1.2.1. Sostenibilidad.....	2
1.2.2. Estructura	2
1.2.3. Adaptabilidad socioeconómica.....	2
1.2.4. Multidisciplinariedad.....	3
1.3. Sistemas agroforestales	3
1.4. Potencialidades de los sistemas agroforestales	4
2.4.1. Ventajas de los sistemas agroforestales	4
1.4.2. Desventajas de los sistemas agroforestales.....	6
1.5. Clasificación de los sistemas agroforestales	7
1.5.1. Sistema agrosilvícola	7
1.5.1.1. Árboles en asociación con cultivos anuales	7
1.5.1.2. Árboles en asociación con cultivos perennes.....	8
1.5.2. Sistema silvopastoril.....	8
1.5.2.1. Asociaciones de árboles con pastos	9
1.5.3. Sistema agrosilvopastoril.....	10
1.5.3.1 Pastoreo en plantaciones forestales y frutales.....	11
1.6. Cercos vivos	11
1.7. Abonos verdes.....	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21

4. CONCLUSIÓN.....	43
5. BIBLIOGRAFÍA.....	45

Índice de figuras

Figura 1. Comparación de humedad del suelo durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	22
Figura 2. Comparación de dureza del suelo durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	24
Figura 3. Comparación de la erosión del suelo durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	26
Figura 4. Comparación de pH durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	27
Figura 5. Comparación de nitrógeno durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	29
Figura 6. Comparación de calcio durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	30
Figura 7. Comparación de potasio durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	32
Figura 8. Comparación de conductividad eléctrica durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	34
Figura 9. Comparación semestral Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 de altura promedio de los pinos en las tres parcelas evaluadas.	35
Figura 10. Comparación semestral Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 de diámetro promedio de los pinos en las tres parcelas evaluadas.	36
Figura 11. Supervivencia de pinos en los periodos Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	38
Figura 12. Supervivencia de nopal en los periodos Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.	39

Figura 13. Supervivencia de maguey en los periodos Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas. 40

RESUMEN

La sociedad humana ha generado un desarrollo social y económico a base de los recursos naturales, pero también ha ocasionado un impacto directo en el ambiente por el uso y manejo inadecuado de los mismos para revertir esta crítica situación, se plantea los sistemas agroforestales como una alternativa de solución a los problemas de la degradación de los recursos naturales y su mejoramiento.

El presente trabajo se realizó en el predio particular de la Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, el objetivo fue establecer un sistema experimental de tipo agrosilvícola al manejo de recursos naturales con parámetros físicos y químicos. El área experimental consta de 2 ha con el componente forestal con individuos de *Pinus michoacana*, *P. moctezumae* y *P. pseudostrobus* en las cuales se utilizaron 3 parcelas de 30 × 30 m (dos agrosilvícolas y una de referencia o control), en estas parcelas se integró el componente forestal no maderable: maguey (*Agave* spp.), nopal (*Opuntia* spp.) y zarzamora (*Rubus* spp.) y el componente agrícola: chícharo (*Pisum sativum*), haba (*Vicia faba*), papa (*Solanum tuberosum*) y janamargo (*Vicia sativa*).

Las evaluaciones se tomaron cada seis meses por 3 periodos, iniciando con el primer periodo en Junio 2018, segundo periodo en Enero 2019 y concluyendo en Junio 2019. Se realizaron análisis químicos de pH, nitrógeno, calcio, potasio y conductividad eléctrica y análisis físicos de humedad del suelo, dureza del suelo y erosión del suelo. De igual manera se evaluó la altura y diámetro del componente forestal establecido. Con base a toda esta información se identificaron indicadores que permitan evaluar la sustentabilidad del sistema agrosilvícola.

Los resultados revelaron que la integración del componente forestal, el componente forestal no maderable y el componente agrícola ayudaron al mejoramiento de los macronutrientes favoreciendo al suelo y a las distintas especies establecidas.

A pesar de que no se presentó una competencia entre las especies de los diferentes componentes se dio una poca sobrevivencia en la plantación forestal, forestal no maderable y agrícola por factores como las heladas, el viento, la lluvia y la presencia de tuzas.

PALABRAS CLAVE: sistemas agroforestales, análisis físico-químicos y pérdida de recursos naturales.

ABSTRACT

Human society has generated a social and economic development based on natural resources, but it has also caused a direct impact on the environment due to their inappropriate use and management to reverse this critical situation. Agroforestry as an alternative solution to the problems of degradation of natural resources and their improvement.

The present work was carried out in the private property of the Intercultural Indigenous University of Michoacán, the objective was to establish an experimental system of agroforestry type for the management of natural resources with physical and chemical parameters. The experimental area consists of 2 ha with the forest component with individuals of *Pinus michoacana*, *P. moctezumae* and *P. pseudostrobus* in which 3 plots of 30 × 30 m were used, (two agroforestry and one of reference or control), in these plots the component was integrated non-timber forest: maguey (*Agave* spp.), nopal (*Opuntia* spp.) and blackberry (*Rubus* spp.) and the agricultural component: pea (*Pisum sativum*), broad bean (*Vicia faba*), potato (*Solanum tuberosum*) and janamargo (*Vicia sativa*).

The evaluations were taken every six months for 3 periods, starting with the first period in June 2018, the second period in January 2019 and ending in June 2019. Chemical analysis of pH, nitrogen, calcium, potassium and electrical conductivity and physical analysis of soil moisture, soil hardness and soil erosion. In the same way, the height and diameter of the established forest component were evaluated. Based on all this information, indicators were identified that allow evaluating the sustainability of the agroforestry system.

The results revealed that the integration of the forest component, the non-timber forest component and the agricultural component helped to improve the macronutrients favoring the soil and the different established species.

Although there was no competition between the species of the different components, there was little survival in forest, non-timber forest and agricultural plantations due to factors such as frost, wind, rain and the presence of gophers.

KEY WORDS: agroforestry systems, physical-chemical analysis and loss of natural resources.

INTRODUCCIÓN

México es considerado uno de los países con mayor biodiversidad a nivel mundial, sin embargo, por muchas décadas los recursos naturales fueron vistos como fuentes inagotables de sustento o ingreso económico (CONAFOR, 2009).

El aprovechamiento de estos recursos se ha regido exclusivamente por la demanda en el mercado o las necesidades cotidianas, ignorándose su capacidad de regeneración natural (Anónimo, 2013).

Adicional a la pérdida de recursos naturales, diversos conocimientos en torno al manejo tradicional de los mismos se están perdiendo y con ello también la biodiversidad, provocando que existan diversos problemas ecológicos, sociales y económicos. Estas acciones antropogénicas se resumen en deforestación, cambio de uso del suelo y agricultura intensiva, los cuales provocan severos deterioros al ambiente, de igual forma también rebasa la capacidad de regeneración de los propios ecosistemas repercutiendo en la calidad de vida de las poblaciones humanas (Vázquez, 2008).

La sociedad humana ha generado un desarrollo social y económico a partir del aprovechamiento de los recursos naturales, pero también ha ocasionado un impacto directo en el ambiente ya que el uso descontrolado de los recursos explotados especialmente el recurso suelo, sin plan alguno y actividades productivas convencionales ponen en peligro los mecanismos de regularización normal de este recurso a tal grado de que estas alteraciones en muchos casos son irreversibles (Beltrán, 2001; Velázquez y Vargas-Hernández, 2012).

Para revertir esta crítica situación, se plantean los sistemas agroforestales (SAF) como una excelente oportunidad para los agricultores, para mejorar la seguridad alimentaria y el ingreso

de la familia, produciendo en armonía con el ambiente, para lograr un desarrollo rural sostenible (López, 2010).

Los SAF permiten desarrollar actividades productivas en condiciones de alta fragilidad, con recursos naturales degradados, mediante una gestión económica eficiente, alterando al mínimo la estabilidad ecológica, lo cual contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y como resultado mejorar el nivel de vida de la población rural (Montagnini *et al.*, 2015).

Es por esto que en los últimos años los investigadores han comenzado a darle mayor importancia al papel que juega la biodiversidad en el funcionamiento de los sistemas agroforestales, considerando que es precisamente el principio fundamental que logra un desarrollo sustentable de los mismos (Altieri y Nicholls, 2006; Ceccon y Pérez, 2016).

Planteamiento del problema

Los problemas más comunes en relación al suelo son muy alarmantes están directamente derivados del uso antrópico, tal es el caso de la ampliación de las zonas agropecuarias, el empleo de técnicas de mecanización, irrigación, fertilización y control de plagas (Espinosa *et al.*, 2011; Díaz, 2012).

El uso intensivo del control de plagas utilizando sustancias tóxicas, ha generado en la actividad agrícola aumentos en la producción, mediante estos cambios se ha ocasionado serias alteraciones y desequilibrios en los ecosistemas en especial el suelo ya que es el destino final donde se concentra la mayor cantidad de los impactos ambientales (Espinosa *et al.*, 2011; Díaz, 2012).

A pesar de que las áreas forestales son productoras de bienes y servicios de importancia para la vida de las comunidades de la meseta purépecha, las actividades forestales generan ingresos económicos muy limitados, así como baja cantidad de empleos (Bravo *et al.*, 2009).

De tal manera, que existe una alta tasa de cambio de uso de suelo forestal a agrícola, que se mantiene como la principal causa de cambio de uso del suelo debido a la falta de políticas agropecuarias, la mala organización y la falta de asesoría técnica (Bravo *et al.*, 2009).

La agricultura convencional, como el cultivo de aguacate, frutillas y papa, han detonado un crecimiento económico y la creación de empleos en Michoacán logrando una alta competitividad en los mercados internacionales y el arraigo en los beneficiarios en sus comunidades. No obstante, este progreso presenta un dilema para la sustentabilidad regional debido principalmente a que los requerimientos climáticos de la agricultura convencional coinciden con los de los ecosistemas forestales del clima templado (Bravo *et al.*, 2009).

Grandes extensiones de suelos han sido utilizados sin ser propios para la actividad agropecuaria, mismos que al perder su fertilidad fueron abandonados, causando así serios problemas de erosión, alteración en el ciclo hidrológico y la pérdida del hábitat de los organismos que formaban la biodiversidad del suelo. Esta situación, asociada a la tala clandestina de árboles y el incendio forestal, ha provocado una gradual desertificación o desertización de extensas zonas, que debe entenderse como la pérdida de la potencialidad productiva del suelo (Pérez-Nieto *et al.*, 2012).

De la misma manera, la agricultura convencional ha generado cambios profundos en la cultura agrícola tradicional de la región, ya que áreas anteriormente sembradas de maíz

fueron ocupadas paulatinamente por cultivos como aguacate, frutillas y papa, de tal modo que prácticamente desapareció el sistema agrícola maicero en la región (Bravo *et al.*, 2009).

El panorama nada alentador de un suelo empobrecido por la erosión, exceso de concentración de agentes químicos y carente de humedad, motiva a la reflexión e invita a emprender acciones no solo para conservar el recurso que todavía queda, sino también a investigar y aportar alternativas dirigidas a reparar el daño causado en este medio aunque sea en pequeña proporción, ya que restablecer el suelo original con un ambiente parecido al que se tenía resulta imposible; regenerar un suelo deteriorado a suelo fértil es el resultado de miles de años de relaciones de organismos con su medio físico (CONAFOR, 2007).

Por todos estos daños emitidos por las acciones antropogénicas es necesario la práctica de los sistemas agroforestales que se conciben como una estrategia adecuada que permite conservar los recursos que se emplean para la producción, en el mismo terreno se cultivan plantas de distintas especies forestales y agrícolas que maduran y se reproducen en diferentes épocas del año lo que le permite al agricultor llevar a cabo un manejo adecuado de las tierras, obtener frutos de las distintas especies, ya que de ello depende el mantenimiento de la productividad y la calidad de vida sin deteriorar el equilibrio ecológico (Musálem, 2002).

Los sistemas agroforestales tienen un conjunto de asociaciones o arreglos agroforestales donde se encuentran especies del componente vegetal leñoso y vegetal no leñoso, o componente vegetal leñoso, no leñoso y animal. Clasificatoriamente el sistema agroforestal comprende el sistema agrosilvícola (leñosas y no leñosas) y agrosilvopastoril (leñosas, no leñosas y animales) (Ospina, 2006).

Los sistemas agrosilvícolas son considerados como una alternativa para los pequeños productores, ya que puede contribuir eficientemente en la creación de sistemas integrales de producción que ayuden a mantener la productividad, proteger los recursos naturales, minimizar los impactos ambientales y satisfacer las necesidades económicas y sociales de la gente, a través del establecimiento de especies forestales en asociación con cultivos agrícolas (Isaac, 2004; López y Musálem, 2007; Calles *et al.*, 2011).

Justificación

Las presiones económicas y sociales para intensificar la producción agrícola y ganadera, con el propósito de obtener ganancias inmediatas, trae como consecuencia el manejo inadecuado de los recursos naturales, generando una mayor demanda por el uso de los mismos. Esta situación ocasiona la degradación y la disminución de la capacidad productiva del suelo, originada por la deforestación y el uso inapropiado de los recursos convirtiéndose en sistemas insostenibles a un nivel de poner en riesgo las bases de producción de alimentos y alterando al medio ambiente (Ceccon y Pérez, 2016).

Por lo que la postura del Desarrollo Sustentable ha generado una nueva visión que integra el uso adecuado del suelo, árboles forestales y cultivos agrícolas que en conjunto conllevan a una alternativa capaz de erradicar los problemas derivados del cambio de uso de suelo por la agricultura y ganadería practicados en forma convencional (Martínez, 2003; Pereira *et al.*, 2011).

En la búsqueda de sistemas de producción más sustentables tanto ecológica como económicamente, ha surgido el sistema de producción agrosilvícola, que además de ser socialmente aceptables y que se puede adoptar fácilmente, constituye una excelente

alternativa a corto, mediano y largo plazo, para cumplir con los criterios socioeconómicos de la producción sostenible (Ceccon y Pérez, 2016).

En lo social y económico, los sistemas agrosilvícolas resaltan la disminución de los riesgos de producción debido a la diversificación de las especies, la generación de mayor empleo permanente, la seguridad alimentaria y la disminución de costos de producción, entre otros (Ospina, 2006).

Mientras que en lo ambiental, se destaca la diferenciación productiva en calidad (orgánicos), el aprovechamiento del reciclaje de nutrientes, producción de madera leña y frutos y por tanto la disminución de insumos de origen sintético (Ospina, 2006).

De aquí surge la importancia de sustituir los sistemas productivos convencionales y utilizar el manejo de sistemas agroforestales, en este caso sistemas agrosilvícolas que sean propiamente diseñados y manejados adecuadamente, además de que resultan ser más sostenibles desde el punto de vista ecológico, productivo y socio-económico (Palomeque-Figueroa, 2009).

Con el nuevo enfoque de los SAF se puede lograr un desarrollo más sostenible destinado a los pequeños productores agropecuarios, para que enfrenten sus necesidades en forma compatible con su identidad cultural y su sistema de vida, con la conservación de los recursos naturales y tratando que las familias de agricultores permanezcan en el campo y así evitar la migración a la ciudad como elemento central del desarrollo rural e introduciendo el árbol en su parcela bajo un concepto distinto a las plantaciones forestales tradicionales (López, 2010).

Hipótesis

Al llevarse a cabo la producción agrosilvícola a largo plazo, se podrá obtener un mayor ingreso económico y a la vez la conservación del suelo.

Objetivos

Objetivo general

Establecer un sistema experimental de tipo agrosilvícola para el manejo de recursos naturales en la Universidad Intercultural Indígena de Michoacán.

Objetivos específicos

- Realizar un manejo del suelo en forma sostenible para el establecimiento de sistemas agrosilvícolas.
- Integrar cultivos agrícolas a una plantación forestal ya establecida.
- Evaluar la productividad del sistema agrosilvícola.
- Identificar indicadores de sustentabilidad del sistema.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. La agroforestería

Se refiere a una forma de manejo de los recursos conocida y transmitida por muchas generaciones de campesinos de diferentes partes del mundo. Sus esfuerzos sistemáticos están encaminados a comprender y aplicar los principios científicos de dicha práctica histórica, a fin de contribuir al desarrollo de sistemas sostenibles que permitan cubrir las necesidades del presente, sin comprometer los requerimientos del futuro (Krishnamurthy *et al.*, 2003; Hernández, 2013).

Visto así, la agroforestería es una alternativa para los pequeños productores que puede contribuir eficientemente en la creación de sistemas integrales de producción que ayuden a mantener la productividad, proteger los recursos naturales, minimizar los impactos ambientales y satisfacer las necesidades económicas y sociales de la gente a través del establecimiento de especies arbóreas en asociación con otras actividades agropecuarias (CONAFOR-SEMARNAT, 2012).

Es decir, puede desempeñar una función importante en la conservación de la diversidad biológica dentro de los paisajes deforestados y fragmentados, suministrando hábitats y recursos para las especies de animales y plantas, manteniendo la conexión del paisaje y de tal modo facilitando el movimiento de animales, semillas y polen haciendo las condiciones de vida del paisaje menos duras para los habitantes del bosque, reduciendo la frecuencia e intensidad de los incendios, potencialmente disminuyendo los efectos colindantes sobre los fragmentos restantes y aportando zonas de amortiguación a las zonas protegidas (Ospina, 2006).

1.2. Características fundamentales de la agroforestería

Los atributos más comunes e importantes que caracterizan a la agroforestería son:

1.2.1. Sostenibilidad

Se considera como un manejo sostenible de la tierra que incrementa su rendimiento integral, combina la producción de cultivos (incluidos cultivos arbóreos) y plantas forestales y/o animales, simultánea o secuencialmente en la misma unidad de tierra. La sostenibilidad de un sistema de producción corresponde a su capacidad para satisfacer las necesidades siempre en aumento de la humanidad sin afectar, y de ser posibles, el recurso base del que depende el sistema (Palomeque-Figueroa, 2009).

1.2.2. Estructura

A diferencia de la agricultura y la actividad forestal modernas, la agroforestería combina árboles, cultivos y animales. En el pasado, los agricultores rara vez consideraban útiles a los árboles en el terreno para el cultivo, mientras que los forestales han tomado los bosques simplemente como reservas para el crecimiento de árboles. Aun así, durante siglos los agricultores tradicionales han proporcionado sus necesidades básicas al sembrar cultivos alimenticios, árboles y animales en forma conjunta (Farrell y Altieri, 1999).

1.2.3. Adaptabilidad socioeconómica

A pesar de que la agroforestería es apropiada para una amplia gama de predios de diversos tamaños y de condiciones socioeconómicas, su potencial ha sido reconocido para los pequeños agricultores en áreas marginales y pobres de las zonas tropicales y subtropicales. Si se considera que los campesinos generalmente no son capaces de adoptar tecnologías muy

costosas y modernas, que han sido pasadas por alto por la investigación agrícola y que no tiene poder social o político de discernimiento los sistemas agroforestales se adaptan particularmente a las realidades de los pequeños agricultores (Pereira *et al.*, 2011).

1.2.4. Multidisciplinariedad

Debido a su carácter integral, sobresale el aspecto multidisciplinario de la agroforestería, como ciencia, involucra tres disciplinas básicas: la silvicultura, la agronomía y la ganadería. La idea es combinar los diferentes componentes para alcanzar un sistema de manejo que toma en cuenta los requerimientos de cada componente, mientras asegura una producción óptima (Musálem, 2002).

1.3. Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales, especies leñosas (árboles y arbustos), son utilizados en asociación deliberada con cultivos agrícolas y con animales, en un arreglo topológico (espacial) o cronológico (en el tiempo). En ambos existen interacciones ecológicas y económicas entre los árboles y los otros componentes de manera simultánea o temporal de manera secuencial, que son compatibles con las condiciones socioculturales para mejorar las condiciones de vida de la región (López, 2007).

Según Bueno (2012), los componentes de los sistemas agroforestales son:

a) Especies vegetales leñosas: son aquellas que poseen lignina como elemento de sus tejidos e incluyen; árboles, helechos arborescentes, gramíneas, cactus gigantes y arbustos como café entre otros.

b) Especies no leñosos: poseen tejido vegetal poco o no lignificado, no presenta consistencia rígida, tienen porte bajo y su ciclo de vida es ligeramente inferior a un año. Este componente incluye cultivos transitorios y semipermanentes, hierba y praderas.

c) El componente pecuario: incluye bovinos, ovinos, equinos, porcinos e insectos como abejas.

Sin embargo no cualquier tipo de combinación de árboles forestales, animales y cultivos agrícolas se califica como un sistema agroforestal. Se requiere además, que su combinación sea efectuada conscientemente, en forma sistemática y con el propósito de producir diversos productos, que el sistema sea el resultado de una interacción, tanto ecológica como económica entre los cultivos y que mantenga o mejore la capacidad productiva de la tierra (Sáenz *et al.*, 2010).

1.4. Potencialidades de los sistemas agroforestales

López, (2007) y CONAFOR-SEMARNAT, (2012), mencionan las potencialidades que proporcionan los sistemas agroforestales bajo los siguientes aspectos:

2.4.1. Ventajas de los sistemas agroforestales

Aspectos biológicos

- Provee protección al ganado, a los cultivos y a la fauna silvestre.
- Protege y conserva el suelo y mejora su potencial productivo.
- Mejora la calidad del agua.
- El rendimiento y la calidad de la cosecha de los cultivos incrementa.
- La eficiencia en el uso de agua mejora.

- Se produce combustible y materiales de construcción para uso o venta local y a veces para exportación.
- Mejor utilización del espacio vertical y mayor aprovechamiento de la radiación solar entre los diferentes estratos vegetales del sistema.
- Microclima más moderado (atenuación de temperaturas extremas, sombra, menor evapotranspiración y menor velocidad del viento)
- Mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico.
- Mantener la estructura y fertilidad del suelo: aportes de materia orgánica, mayor actividad biológica, reducción de la acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo (principalmente en zonas secas).
- La biodiversidad y la estética del paisaje mejora.

Aspectos económicos y sociales

- Diversificación de la producción
- Producción constante “ahorro” disponible en los árboles
- Mitigación de catástrofes de monocultivos
- Reducción de costos de cultivos (deshierbes, fertilización, plaguicidas)
- La distribución del trabajo durante el año mejora
- Incremento en la suma de rendimientos
- Posibilidad de transición hacia sistemas de producción más estables
- Tienen su origen en agricultura tradicional y cultural

1.4.2. Desventajas de los sistemas agroforestales

Aspectos biológicos

- Mayores posibilidades de infecciones fúngicas
- Posibilidad de daños alelopáticos
- Puede disminuir la producción de los cultivos principalmente cuando se utilizan demasiados árboles (competencia) y/o especies incompatibles.
- Pérdida de nutrientes cuando la madera y otros productos forestales son cosechados y exportados fuera de la parcela.
- Interceptación de lluvia, lo que reduce la cantidad de agua que llega al suelo.
- Daños mecánicos a los cultivos asociados cuando se cosechan o se podan los árboles, o por caída de gotas de lluvia desde árboles altos.
- Los árboles pueden obstaculizar la cosecha mecanizada de los cultivos.

Aspectos económicos y sociales

- Posibilidad de tener rendimientos inferiores que en monocultivos
- Requerimiento alto de mano de obra
- Renuencia al establecimiento de árboles en áreas agropecuarias de alta productividad
- Escasez de personal capacitado en el manejo del sistema
- Poca experiencia en el manejo del sistema
- Problemas en la comercialización de muchos productos en pequeñas cantidades.

1.5. Clasificación de los sistemas agroforestales

La clasificación agroforestal debe realizarse mediante la asignación de categorías jerárquicas, de tal manera que unas mayores contengan otras de menor nivel. Es necesario que cada categoría esté determinada por elementos comunes, diferentes para cada una de ellas. Son tres categorías: el sistema agrosilvícola, sistema silvopastoril y sistema agrosivopastoril (Rivas, 2005; Ospina, 2006; Ortiz, 2011).

1.5.1. Sistema agrosilvícola

Siembra de cultivos durante la fase de establecimiento de plantaciones forestales, de frutales o de cultivos perennes (Beer *et al.*, 2004 citado por Palomeque-Figueroa, 2009). El beneficio socioeconómico de los sistemas agrosilvícolas es que se ahorran costos en el establecimiento de las plantaciones, en secuencia, la obtención de madera se logra a un costo más reducido que en las plantaciones forestales convencionales, los agricultores participantes obtienen ingresos monetarios, aparte de los beneficios recibidos de las cosechas (Musálem, 2002; Rivas, 2005).

En general con un buen manejo y con los cuidados necesarios, con estos sistemas pueden obtenerse productos maderables de alta calidad a largo plazo, mientras se obtienen ingresos a corto plazo derivados de los cultivos agrícolas como hortalizas, legumbres, maíz y otros productos no maderables como frutos, hongos, hojas, miel y otros (FAO, S/F).

1.5.1.1. Árboles en asociación con cultivos anuales

La FAO (S/F) menciona que estos sistemas se prestan para especies anuales tolerantes a la sombra. Sin embargo, para esta misma categoría, para el caso particular de los sistemas de

cultivos en callejones se pueden utilizar especies que no toleren la sombra. Estos sistemas incluyen cultivos como maíz, frijol, guisantes, soya y maní en asociaciones con árboles fijadores de nitrógeno (Musálem, 2002).

1.5.1.2. Árboles en asociación con cultivos perennes

Estos sistemas representan una alternativa cuando el uso de monocultivos no es económicamente factible debido al alto costo de productos agroquímicos, la elección de un sistema con árboles para sombra depende de la necesidad de diversificar la producción. Consiste en la combinación simultánea de árboles con cultivos perennes. Generalmente son sistemas de cultivo intercalado donde el árbol contribuye con productos adicionales, mejora el suelo, microclima o sirve de tutor para cultivos de enredadera (Ortiz, 2011).

1.5.2. Sistema silvopastoril

Los sistemas silvopastoriles, son asociaciones de árboles maderables o frutales con animales, con o sin la presencia de cultivos. Son practicados a diferentes niveles, desde las grandes plantaciones arbóreas comerciales con inclusiones de ganado como complemento a la agricultura de subsistencia (Bueno, 2012).

Los sistemas silvopastoriles, constituye una alternativa adecuada para aumentar y mantener la producción a largo plazo, de acuerdo al estado de los terrenos, porque pueden contribuir a mejorar la utilización de los recursos naturales, debido a las funciones biológicas y socioeconómicas que pueden cumplir. Desde el punto de vista biológico, la presencia de árboles favorecen los sistemas de producción en aspectos tales como el mantenimiento del ciclo de nutrientes y el aumento en la diversidad de especies (Milera, 2013).

Algunas interacciones entre los componentes del sistema silvopastoril de acuerdo a Musálem (2002) y Mendieta y Rocha (2007):

- 1) La presencia del componente animal cambia y puede acelerar algunos aspectos del ciclaje de nutrimentos.
- 2) Si la carga animal es alta, la compactación de los suelos puede afectar el crecimiento de árboles y otras plantas asociadas.
- 3) Las preferencias alimenticias de los animales pueden afectar la composición del bosque.
- 4) Los árboles proporcionan un microclima favorable para los animales (sombra).
- 5) Los animales participan en la diseminación de las semillas, lo cual favorece la germinación.

Desde el punto de vista ecológico, el uso de árboles puede contribuir a mejorar la productividad y la sostenibilidad mediante un aumento en el rendimiento del pasto asociado o a través de la alimentación de los animales, que comen fruta y follaje de los árboles. La economía de estos sistemas se caracteriza por la obtención de ingresos a corto y a largo plazo. En lo económico se puede favorecer con el aumento y la diversificación de la producción (Uribe *et al.*, 2011).

1.5.2.1. Asociaciones de árboles con pastos

El objetivo principal es la ganadería en forma secundaria se logra la producción de madera, leña o frutos. Los animales se alimentan con hierbas, hojas, frutos y otras partes de los árboles. Se cortan parcelas de bosque para destinarlas a la ganadería, dejar en pie a los árboles, de esta manera los árboles que quedan en la parcela son utilizados para sombra y refugio del ganado, además se aprovecha la leña (Palomeque-Figueroa, 2009).

Se constituye de especies leñosas dispersas en pastos o leguminosas forrajeras rastreras; se presenta pastoreo directo o cortes periódicos (Rivas, 2005). Los árboles y arbustos son trasplantados en arreglos diversos en pasturas o son ecosistemas manejados donde animales pastorean permanentemente, en rotaciones o por temporadas, sujetos a condiciones climáticas o disponibilidad de pastos y material de ramoneo. Su función principal es aumentar la productividad del sistema, reducir el estrés calórico de plantas y animales, mediante sombrero parcial de leñosas al regular el microclima y proveer productos (forraje, frutas, madera, leña). Las especies leñosas también fijan el nitrógeno atmosférico y fósforo, mejora las condiciones de vida del suelo, diversifica el paisaje y refugio y alimento a la avifauna. Los animales proveen carne, leche, lana, estiércol para abono (Palomeque-Figueroa, 2009).

1.5.3. Sistema agrosilvopastoril

Es una asociación deliberada de especies leñosas, cultivos y animales domésticos en la misma unidad de tierra bajo determinadas condiciones agroecológicas y socioeconómicas para que funcione como un todo mediante la optimización de las interacciones de las partes (Escobar *et al.*, 2001).

Este sistema se recomienda para productores con necesidades de alimento, madera y energía o cuando se tiene problemas de espacio o de fragilidad de los suelos (CONAFOR-SEMARNAT, 2012).

1.5.3.1 Pastoreo en plantaciones forestales y frutales

Palomeque-Figueroa (2009), menciona que pueden ser en plantaciones de árboles de leña y frutales. Con este sistema se logra el control de malezas, y a la vez, se obtiene un producto animal durante el crecimiento de la plantación.

Algunos puntos que se deben de tomar en cuenta para el manejo de este tipo de sistemas:

- a) Si los animales se encuentran en una plantación de frutales, se debe cuidar que estos no dañen a la cosecha.
- b) Si en la plantación se siembra una pastura, la sombra puede reducir la tasa de crecimiento del pasto.
- c) Los efectos de alelopatía puede afectar el crecimiento de las pasturas.
- d) Los animales pueden defoliar o dañar a los árboles de la plantación si esta no se maneja con cuidado.

1.6. Cercos vivos

Son barreras de plantas frondosas, fuertes y de rápido crecimiento, que el agricultor instala, cuida y mantiene con el propósito de demarcar los límites de la propiedad, proteger los cultivos del daño de animales que deambulan y del robo que pudieran sufrir las cosechas, además son útiles para reducir y/o proteger la influencia negativa del viento, la insolación y heladas, proporcionan también material orgánico al suelo adyacente y abastecen al productor de material forrajero, leña, palos, fruta, medicina, flores entre otros (Fernández *et al.*, 2009).

1.7. Abonos verdes

Como lo mencionan García y Martínez (S/F), los abonos verdes son todas las plantas, preferentemente en estado de floración, que se entierran en el suelo para mejorar la fertilidad y el contenido de carbono orgánico de los suelos.

La importancia de los abonos verdes;

- Mantienen y aumentan el contenido de materia orgánica en el suelo y con el uso de leguminosas, por la capacidad que tienen de fijar nitrógeno de la atmósfera.
- Logran aumentar la cantidad de nitrógeno disponible para el cultivo.
- Mejoran las condiciones del suelo como la textura, estructura, la retención de humedad, el ablandamiento del suelo y la filtración.
- Disminuyen la erosión y aumentan la solubilidad y disponibilidad de los otros elementos nutritivos que necesita el cultivo, reduciendo el uso de insumos externos como la urea y otros fertilizantes.
- Además, las plantas de cobertura combaten y eliminan las malezas y se pueden sembrar en el mismo terreno donde se van a incorporar, evitando así el traslado de grandes cantidades de materia orgánica hasta el sitio del cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La parcela experimental con el sistema agroforestal se ubicó en el predio particular de la Universidad Intercultural Indígena de Michoacán (UIIM), situada en la comunidad de San Francisco Pichátaro, localizada en la parte de la Meseta Purépecha, con una altitud de 2,350 msnm; a 19° 34" N y 101° 40" O, colinda con la zona lacustre de Pátzcuaro, limita al norte con el Ejido de San Isidro y el de la Zarzamora; al Sur con Tingambato, cabecera municipal; al Este con los Pueblos de Erongarícuaro y Uricho y al Poniente con Sevina y Comachuén (CREFAL, 1988 citado por Morales, 2017).

En esta área durante el mes de julio de 2017, se estableció una plantación forestal con una extensión de 2 ha y una densidad de plantación de 1089 árboles/ha, utilizando la técnica de plantación hilera de 3 × 3 entre planta y planta y 3 m entre línea y línea se utilizaron árboles de las especies de *Pinus michoacana*, *P. moctezumae* y *P. pseudostrobus*¹.

Dentro de la plantación forestal se establecieron dos parcelas experimentales de tipo agrosilvícola y una parcela de control o referencia.

Descripción de la parcela experimental agrosilvícola 1

La parcela tiene una superficie de 30 × 30 m, está caracterizada por presentar una topografía con pendientes, el tipo de vegetación es inducida ya que se plantaron árboles de *Pinus michoacana*, *P. moctezumae* y *P. pseudostrobus*. Además se integraron plantaciones de maguey (*Agave* spp.), nopal (*Opuntia* spp.) y zarzamora (*Rubus* spp.). De igual manera cuenta

¹ Comunicación personal del Ing. Rubén Jaramillo Ruiz. Técnico del área de Desarrollo sustentable de la UIIM.

con cultivos agrícolas como lo son chícharo (*Pisum sativum*), haba (*Vicia faba*), papa (*Solanum tuberosum*) y janamargo (*Vicia sativa*).

Mientras que en la vegetación natural se encuentra zurumuta, (*Muhledethia macroura*) diente de león (*Taraxacum officinale*), pasto washington (*Cynodon dactylon*) y chayotillo (*Sicyos depei* y *Cyclanthera ribiflora*).

Descripción de la parcela experimental agrosilvícola 2

La parcela tiene una superficie de 30 × 30 m, presenta poca pendiente, cuenta con cobertura vegetal al igual que la parcela 1. El tipo de vegetación es inducida ya que se plantaron árboles de *Pinus michoacana*, *P. moctezumae* y *P. pseudostrobus*.

También se agregaron plantaciones de maguey (*Agave* spp.), nopal (*Opuntia* spp.) y zarzamora (*Rubus* spp.). De igual manera cuenta con cultivos agrícolas como lo son Chícharo (*Pisum sativum*), haba (*Vicia faba*), papa (*Solanum tuberosum*) y janamargo (*Vicia sativa*).

Mientras que en la vegetación natural se encuentra zurumuta, (*Muhledethia macroura*) diente de león (*Taraxacum officinale*), pasto washington (*Cynodon dactylon*) y chayotillo (*Sicyos depei* y *Cyclanthera ribiflora*).

Descripción de la parcela de referencia o control 3

Cuenta con una superficie de 30 × 30 m, la topografía consiste en pendientes suaves, en esta parcela de referencia solo existe la plantación forestal que está compuesta por las especies más comunes de la meseta purépecha son *P. michoacana*, *P. moctezumae* y *P. pseudostrobus*.

Esta no cuenta con ningún manejo sostenible del suelo.

Tubos de erosión

En cada parcela se colocaron dos tubos de PVC para medir erosión, cada uno mide 50 cm. y fueron graduados cada 5 cm; estos fueron colocados uno en la parte de arriba y otro en la parte de abajo, en los cuales se midió la cantidad de suelo erosionado cada 6 meses.

En cada una de las parcelas se llevaron a cabo las siguientes intervenciones para cumplir con los diferentes objetivos.

Objetivo 1.-Realizar un manejo del suelo en forma sostenible para el establecimiento de sistemas agrosilvícolas.

- **Curvas de nivel**

Dentro de las prácticas de manejo sostenible del suelo se trazaron las curvas de nivel, esto con la finalidad de establecer los cultivos agrícolas chícharo (*Pisum sativum*), haba (*Vicia faba*), papa (*Solanum tuberosum*) y janamargo (*Vicia sativa*).

- **Cercos vivos**

En la curva de nivel más baja se plantó un cerco vivo con la finalidad de retener el suelo, la especie empleada fue zarzamora (*Rubus* spp.), posteriormente se plantaron cercos vivos alrededor de las parcelas agrosilvícolas empleando las especies de maguey (*Agave* spp.) y nopal (*Opuntia* spp.).

- **Determinación de la pérdida de suelo utilizando tubos de erosión**

Para esto se usó tubos de erosión, en los cuales la estimación de pérdida de suelo se realiza totalmente en el terreno, en este caso se colocaron en el suelo 2 tubos de erosión uno en la parte alta y otro en la parte baja por cada parcela; cada tubo esta graduado con una numeración de 5 en 5 hasta llegar a 50 cm.

Cada 6 meses se midió la erosión a través del suelo depositado en el interior del tubo, utilizando la siguiente fórmula:

$$V = (\pi r^2) h$$

En donde:

V= es volumen

$\pi = 3.1416$

$r^2 =$ es radio cuadrado

h = es altura

Propiedades químicas del suelo

Dentro de cada una de las parcelas se realizaron 3 excavaciones, se colectaron 3 muestras de suelo de cada excavación: la primera a 10 cm, la segunda 20 cm y la tercera a 30 cm. Las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico las cuales fueron llevadas al laboratorio donde se ordenaron y de una por una y se fueron tamizando para después pesar en una balanza analítica la cantidad de 100 g la muestra fue colocada en un vaso de precipitados con 100 ml de agua destilada a la cual se le agrego una capsula de imán para colocarla en un termo agitador durante unos 5 minutos aproximadamente.

Se dejaron reposar 5 minutos en la mesa de trabajo para tomar una muestra con la ayuda de una pipeta que fue colocada en el sensor que fue previamente calibrado.

Se emplearon 5 sensores: pH, Ca^{+2} , NO_3 , K y conductividad eléctrica de cada muestra se tomó 3 lecturas por sensor.

Propiedades físicas del suelo

Determinación de humedad

En cada parcela experimental se realizaron 3 excavaciones donde se colectó 3 muestras de cada excavación de suelo la primera a 10 cm, la segunda 20 cm y la tercera a 30 cm se colocaron en bolsas de plástico, se etiquetaron y sellaron para su identificación, se llevaron al laboratorio para determinar el contenido de humedad que fue calculado por medio del método gravimétrico, por lo que se pesaron en una balanza analítica la cantidad de 100 g y se colocaron en vasos de precipitados de 100 ml registrando en una tabla los datos de los pesos de suelo húmedo.

La masa de suelo en seco se obtuvo colocando las muestras en la estufa de secado a una temperatura de 100° durante 24 horas, una vez transcurrido el tiempo se retiraron de la estufa y fueron pesadas nuevamente para obtener el peso del suelo seco.

Se registran 3 pesos diferentes de cada muestra en seco, para hacer los cálculos de la humedad se aplica la siguiente fórmula de acuerdo a Flores & Alcalá (2010).

$$W = M_{ag} / M_s = M_{sh} - M_{ss} / M_{ss} = (M_{sh} / M_{ss} - 1) * 100$$

En donde:

W= es el contenido de humedad gravimétrica

M_{ag} = es la masa del agua

M_s = es la masa de los sólidos

M_{sh} = es la masa de suelo húmedo

M_{ss} = es la masa de suelo secado en estufa

Dureza de suelo

La dureza de suelo se obtuvo con un penetrómetro que mide la resistencia que opone el suelo al paso de una punta cónica con área de la base y ángulo de punta estandarizada (ASAE, 1998). Dicha prueba consistió en tomar diez mediciones distribuidas al azar de cada parcela y se hizo un promedio ellas, las unidades en que se registra son libra de fuerza por pulgada cuadrada (PSI).

Objetivo 2.- Integrar los cultivos agrícolas a una plantación forestal ya establecida.

La selección de las especies del componente forestal no maderable maguey (*Agave* spp.), nopal (*Opuntia* spp.) y zarzamora (*Rubus* spp.) y el componente agrícola chícharo (*Pisum sativum*), haba (*Vicia faba*), papa (*Solanum tuberosum*) y janamargo (*Vicia sativa*) para la plantación forestal (*Pinus. michoacana*, *P. moctezumae* y *P. pseudostrobus*), eligiendo las más adecuadas para su desarrollo, crecimiento y competencia.

También se consideró el establecimiento de cercos vivos en el perímetro de las parcelas y en el interior del mismo en base a curvas de nivel. La superficie utilizada para el establecimiento de parcelas experimentales del tipo agrosilvícola corresponde a dos parcelas, dentro de la plantación forestal, cada parcela mide 30 × 30 m. Así como también se tomó una unidad experimental de referencia o control con las mismas dimensiones.

Objetivo 3.- Evaluación de la productividad del sistema agrosilvícola.

Una vez establecido el sistema agrosilvícola se evaluó el crecimiento y sobrevivencia del componente forestal y el componente forestal no maderable, así como en la parcela de referencia:

Componente forestal

- a) Evaluación de crecimiento: Cada 6 meses se midió la altura de cada árbol presente en la parcela, así como el diámetro a partir de los 5 cm a base del suelo.
- b) Evaluación de sobrevivencia: Cada 6 meses se contó y se etiquetó de manera directa los árboles vivos y los árboles muertos registrando los datos en una tabla.

Componente forestal no maderable

- a) Evaluación de sobrevivencia: Cada 6 meses se contó de manera directa las plantas de maguey y nopal y se registraron en una tabla.

Objetivo 4-Identificar indicadores de sustentabilidad del sistema.

Para realizar este objetivo se eligió trabajar con el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (Maserá *et al.*, 2000).

Los pasos a seguir son:

1. Determinación del objeto de evaluación. En este caso se definen los sistemas de manejo que se han de evaluar, sus características y el contexto socio ambiental de la evaluación.
2. Determinación de los puntos críticos que pueden incidir en la sustentabilidad del sistema agrosilvícola.

3. Elección de indicadores. Aquí se determinan los criterios de diagnóstico y se derivan los indicadores estratégicos para llevar a cabo la evaluación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas del suelo

Humedad del suelo

Los resultados del estudio de humedad del suelo de las tres parcelas en sus diferentes periodos muestran variaciones continuas a lo largo del tiempo, ya que recibe agua de las lluvias, mientras que la pierde por escorrentía superficial, evapotranspiración y por drenaje de las capas profundas (Ver Fig. 1).

Durante el periodo Junio 2018, la humedad fue más abundante por la presencia del temporal y por la vegetación de arbustos y herbáceas existentes los porcentajes de humedad obtenidos fueron los siguientes: primera parcela 25%, segunda parcela 22% y tercera parcela 26% (Ver Fig. 1).

En el siguiente periodo Enero 2019 la humedad se encuentra con valores semejantes para las tres parcelas, los valores son: primera parcela 22%, segunda parcela 24% y tercera parcela 24% existen cambios en el porcentaje de humedad, sin embargo no hay una variación significativa que altere en gran medida la presencia de restos de la vegetación (Ver Fig. 1).

En el último periodo Junio 2019 las tres parcelas bajan considerablemente la humedad los valores arrojados fueron los siguientes primera parcela 14%, segunda parcela 15% y tercera parcela 15% (Ver Fig. 1).

En este último periodo se hizo más notable la pérdida de humedad debido que están se encontraban con una baja cantidad de vegetación que las expuso a los factores climáticos como la lluvia, el sol y el viento lo cual generó que la humedad bajara.

Cuando un suelo se encuentra lleno de agua, se dice que está al 100 % de su contenido de humedad, considerándose estable a partir del 50 % en adelante, sin embargo cuando el porcentaje de humedad está por debajo de este indicador se expresa que el suelo presenta problemas para el desarrollo de las plantas, ocasionado su marchitamiento y muerte por falta de agua como lo menciona Edward y Muñoz, (2000).

De acuerdo a los análisis de humedad del suelo realizadas en los distintos periodos se encuentra entre el rango de 14 a 26 % claramente se muestra que las tres parcelas experimentales la humedad se posiciona muy debajo de los parámetros considerados adecuados para el desarrollo de las especies (Ver Fig. 1).

Por lo que se considera que la determinación de humedad del suelo es primordial para el buen crecimiento de las especies establecidas además es un factor que contribuye a que no exista dureza en el suelo que impida la buena penetración de las raíces.

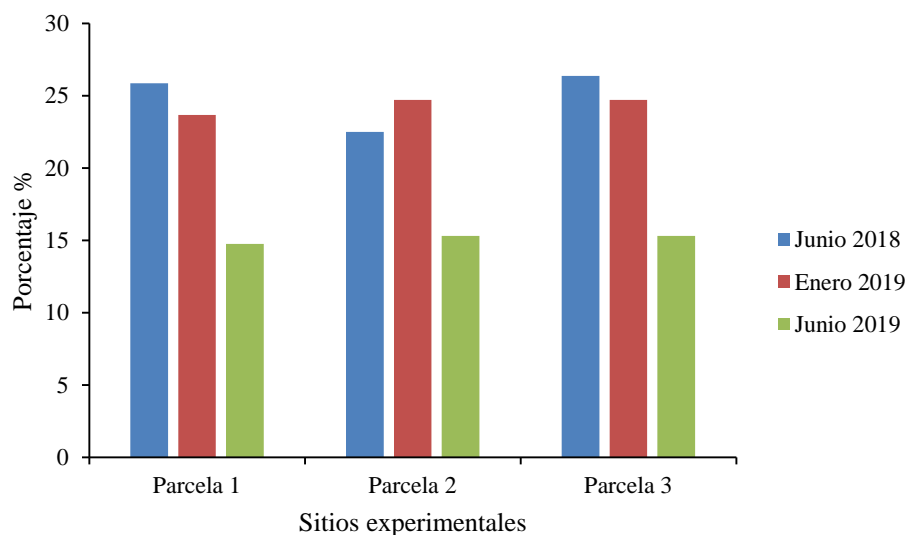


Figura 1. Comparación de humedad del suelo durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Dureza del suelo

El aire y el agua son elementos fundamentales que no pueden faltar en un suelo (Aguilera, 1989). Si un suelo es muy compacto retiene menor cantidad de agua lo que provoca menor crecimiento, problemas para la penetración de raíces y el desarrollo de las plántulas (USDA, 1999).

Las tres parcelas durante el periodo Junio 2018 mostraron valores similares de dureza que fueron los siguientes: primera parcela 115 PSI, segunda parcela 106 PSI y tercera parcela 103 PSI, tomando este dato como base para evaluar su comportamiento con los siguientes registros (Ver Fig. 2).

En el segundo periodo que corresponde a Enero 2019 la primera parcela tenía un valor de 117 PSI y la segunda parcela con un valor de 115 PSI tuvieron un ligero aumento de dureza mientras que la tercera parcela arrojó un valor de 144 PSI, encontrándose aquí la mayor dureza del suelo (Ver Fig. 2).

En el periodo Junio 2019 se registra que las tres parcelas hay un incremento de dureza muy notable, con los siguientes valores primera parcela 195 PSI, segunda parcela 170 PSI y la tercera parcela 166.5 PSI (Ver Fig. 2).

En las tres parcelas evaluadas en los tres periodos se presentó una dureza con un rango de 100 a 200 PSI, lo que indica que son valores adecuados para el suelo (Ver Fig. 2).

Cuando el suelo tiene valores medidos en PSI (libras por pulgada cuadrada) superiores a 300, ese dato indica que el terreno tiene alta compactación. Lo adecuado sería valores no superiores a 200 PSI (Rubio, 2010; Vaca, 2014).

La dureza del suelo es un factor muy importante que permite conocer la situación del suelo, el cual influye en el buen desarrollo de las raíces de las especies ya que estas necesitan disponer de agua y oxígeno para poder desarrollarse y debe existir un espacio poroso adecuado entre las partículas del suelo por el que puedan ir creciendo de lo contrario estas se ven afectadas.

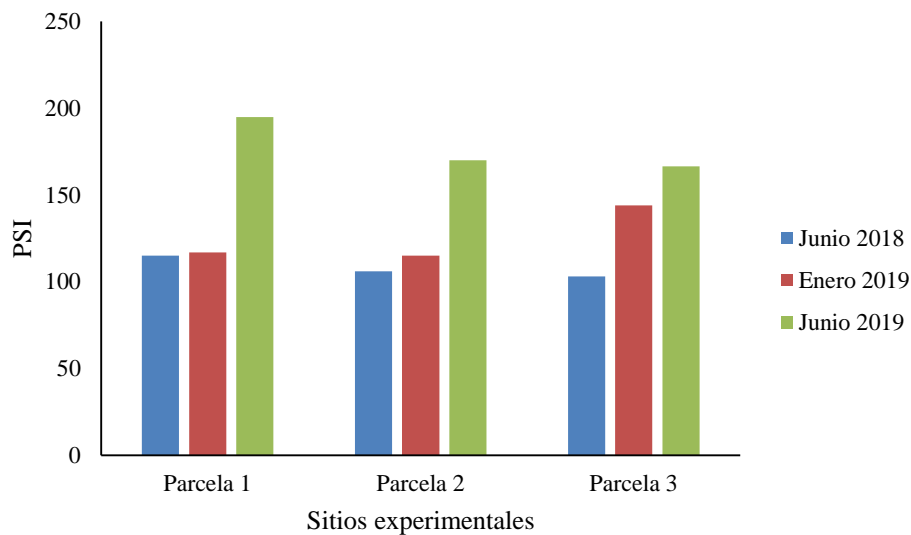


Figura 2. Comparación de dureza del suelo durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Erosión del suelo

Para el periodo Junio 2018 se tomó el primer registro preliminar de medición de la erosión del suelo, a partir de estos datos se comparó con los siguientes periodos, los valores fueron los siguientes: primera parcela 497 cm³, segunda parcela 637 cm³ y tercera parcela 270 cm³ (Ver Fig. 3).

Para el segundo periodo Enero 2019 se esperaba que con las prácticas aplicadas al manejo del suelo la erosión disminuyera. Sin embargo, la erosión incrementó en las tres parcelas los valores fueron los siguientes primera parcela 956 cm³, segunda parcela 518 cm³ y tercera parcela 356 cm³ (Ver Fig. 3).

En el periodo Junio 2019 las parcelas experimentaron distintas variaciones de erosión los valores arrojados son: primera parcela 707 cm³, segunda parcela 827 cm³ y tercera parcela 489 cm³ (Ver Fig. 3).

La erosión está siendo más elevada en las parcelas agrosilvícolas, es decir, 1 y 2 esto posiblemente fue debido a la ubicación de las parcelas ya que se encuentran en la parte más alta. En cambio, la parcela 3 (referencia) si hay una erosión, pero no tan alta, de igual manera esto se debe a su ubicación ya que se encuentra en la parte del predio donde la pendiente es menor, sin embargo, va incrementando de manera paulatina en las tres mediciones que se realizaron aquí resulta su importancia de conocer el grado de erosión de las parcelas para tratar de mitigar los efectos (Ver Fig. 3).

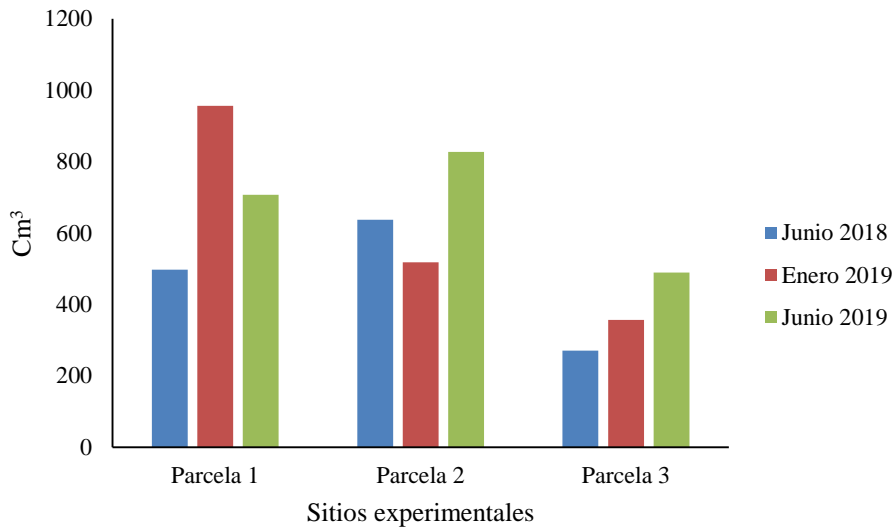


Figura 3. Comparación de la erosión del suelo durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019- Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Propiedades químicas del suelo

pH

En cuanto a los resultados de Potencial de Hidrogeno (pH) de las diferentes parcelas muestreadas, se observa que dichos valores definen al suelo como neutro, es decir que se encuentra entre un rango de 6.6 a 6.9 para las tres parcelas, lo cual indica que es la condición óptima para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, ya que el pH es muy importante en las propiedades del suelo porque regula las propiedades químicas del suelo y ejerce una gran influencia en la asimilación de elementos nutritivos (Ver Fig. 4).

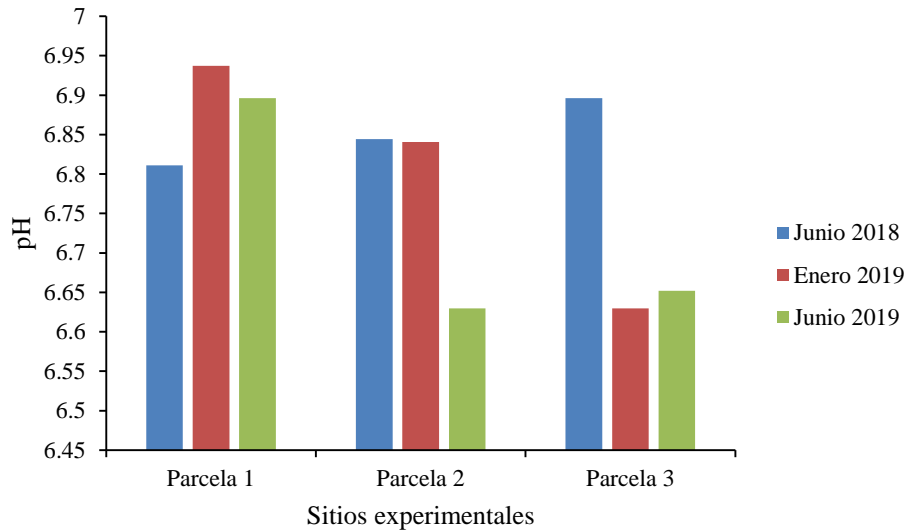


Figura 4. Comparación de pH durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Disponibilidad de nutrientes del suelo

Nitrógeno

Durante el periodo inicial Junio 2018 las concentraciones de nitrógeno (NO_3) se encuentran para la primera parcela 11 ppm, segunda parcela 16 ppm y tercera parcela 125 ppm, para las parcelas agrosilvícolas los valores considerados bajos, pueden ser debidos a la posición de las parcelas en el predio. Estas dos parcelas se encuentran en la parte alta de los predios formados por suelo de relleno, es de considerar que existan pocos nutrientes (Ver Fig. 5).

En cambio, la tercera parcela la concentración es 125 ppm y tomando en cuenta que esta se encuentra en la parte baja del predio y la forma un suelo natural tiene más probabilidades de mantener concentraciones altas de nutrientes por su origen (Ver Fig. 5).

Para el segundo periodo Enero 2019 las concentraciones de NO_3 incrementaron de manera significativa para las tres parcelas arrojando los siguientes resultados: primera parcela 64 ppm, segunda parcela 161 ppm y tercera parcela 223 ppm (Ver Fig. 5).

Para el último periodo que corresponde a Junio de 2019 incrementó el NO_3 para la primera parcela 125 ppm, segunda parcela 223 ppm y tercera parcela 110 ppm hay que recalcar que se registró un incendio en enero del 2019 que pudo influir en la disminución de NO_3 en el suelo (Ver Fig. 5).

Los datos que se presentan muestran para las tres parcelas analizadas revelan que hubo un aumento durante los tres periodos en los que se llevó a cabo los registros, se observa como los niveles de este macronutriente crecieron de manera significativa (Ver fig. 5).

Los niveles de NO_3 se encuentran altos para el periodo Enero 2019 en comparación con el periodo Junio 2018, sin embargo el hecho de que haya subido en cantidades elevadas no quiere decir que sea precisamente por las plantas que se establecieron, sino que puede ser por otro factor como el arrastre de suelo que trae consigo todos los nutrientes de las parcelas de papa que se encuentran alrededor del área de investigación (Ver Fig. 5).

El papel que juega este macronutriente es esencial para el crecimiento y desarrollo de las raíces de las especies cuando los niveles de NO_3 son bajos afecta en gran medida el crecimiento de la planta por lo que resulta indispensable en el suelo.

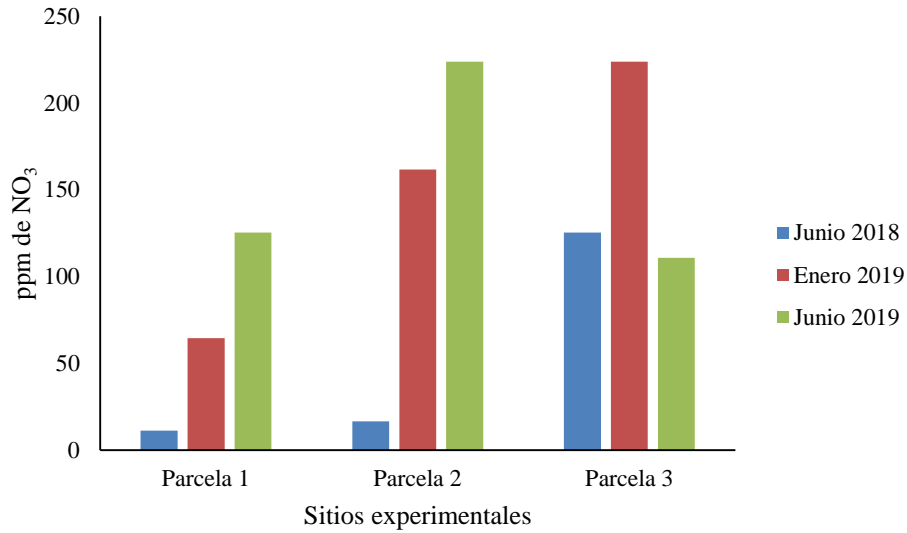


Figura 5. Comparación de nitrógeno durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Ion Calcio

En el primer periodo Junio 2018 los niveles de calcio (Ca^{2+}) son para la primera parcela 8 ppm, segunda parcela 3 ppm, mientras que en la tercera parcela los niveles de Ca^{+2} son de 15 ppm tomando en cuenta que las parcelas 1 y 2 están formadas con suelo de relleno y la parcela 3 está formada de suelo natural (Ver Fig. 6).

Para el segundo registro que corresponde a Enero de 2019 las concentraciones están muy elevadas para las 3 parcelas: primera parcela 15 ppm, segunda parcela 12 ppm y tercera parcela 18 ppm (Ver Fig. 6).

Para el tercer periodo Junio de 2019, los valores son los siguientes primera parcela 15 ppm, segunda parcela 18 ppm y tercera parcela 9 ppm (Ver Fig. 6).

De esta manera podemos analizar dos razones la primera es que la integración de los distintos componentes están dando resultados favorables al observar que las cantidades de calcio eran bajas cuando no existían los cultivos y al intégralos los niveles de Ca^{2+} aumentaron y la segunda se debe por el deslave de suelo de las parcelas de papa que se encuentran alrededor del área de investigación ocasionado el aumento de Ca^{2+} y no sea precisamente porque el suelo del lugar en asociación con las plantas influyan en los valores.

Este nutriente contribuye a la fertilidad del suelo ya que desplaza al hidrógeno (H^+). Además el Ca^{2+} mejora la absorción de otros nutrientes por las raíces, así como su translocación² en la planta por lo que es esencial en el crecimiento y desarrollo vegetal, especialmente en las hojas, donde se deposita.

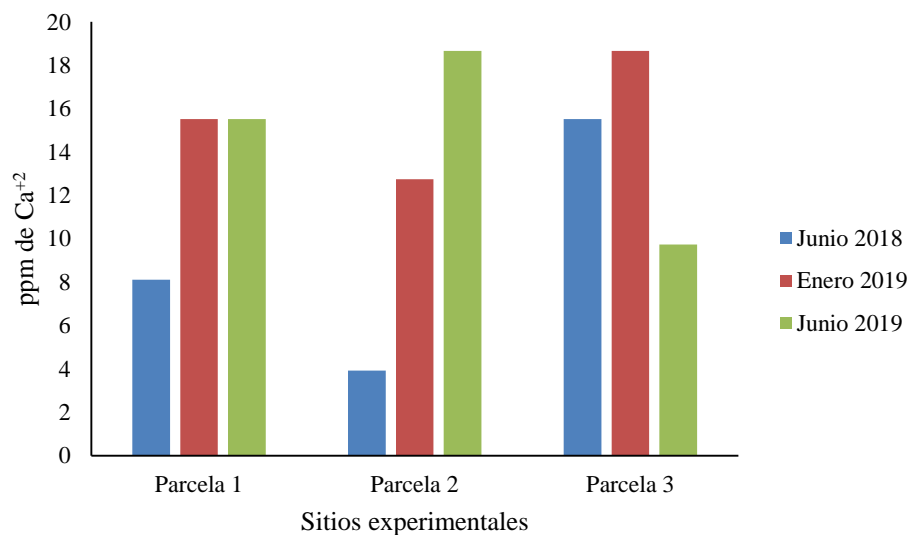


Figura 6. Comparación de calcio durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

² La translocación es un proceso dinámico continuo que ocurre durante los estadios de desarrollo de la planta, mediante el cual son transportados los nutrientes específicos como agua, sales minerales y productos de la fotosíntesis hacia los lugares donde serán utilizados o almacenados.

<https://prezi.com/qtky70cnlqq4/translocacion-en-las-plantas/>

Ion Potasio

Para el primer periodo Junio 2018 las concentraciones de potasio para la primera parcela es 7 ppm, segunda parcela 5 ppm, considerando que están formadas por un suelo de relleno y la tercera parcela tiene un valor de 6 ppm formada por un suelo natural (Ver Fig. 7).

Para el siguiente periodo enero 2019 los valores son de la primer parcela 6 ppm, segunda parcela 16 ppm y la tercera parcela 8 ppm (Ver Fig. 7).

Para el tercer periodo Junio 2019 las concentraciones de potasio se encontraron de la primer parcela 6 ppm, segunda parcela 8 ppm y tercera parcela 3 ppm (Ver Fig. 7).

Las tres parcelas estuvieron modificando sus resultados durante los registros, esto nos revela que los cultivos no están aportando suficiente potasio al suelo de manera adecuada lo cual impide ver un comportamiento favorable en las parcelas tomando en cuenta que es un macronutriente esencial para las plantas, las cuales necesitan cantidades elevadas de este nutriente, incluso semejantes a las necesidades del nitrógeno en algunos casos, este cumple un papel importante sobre el crecimiento vegetativo, fructificación, maduración y calidad de los frutos.

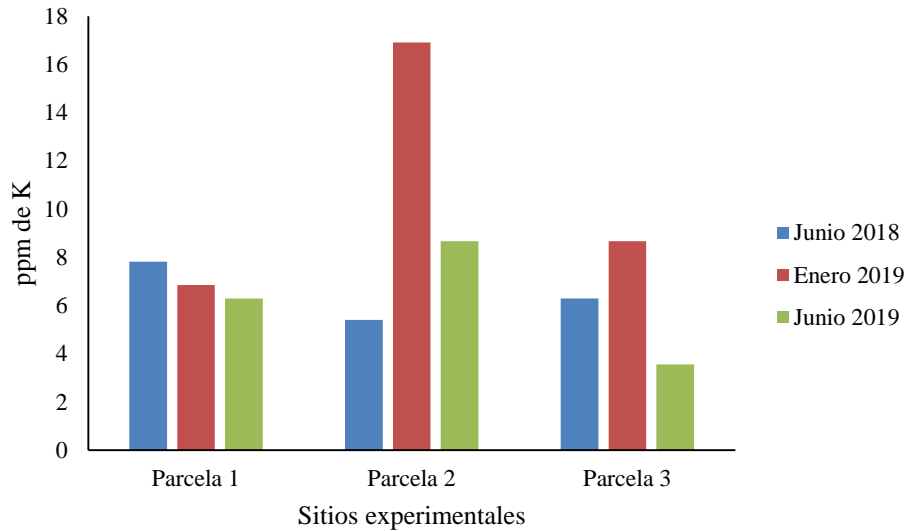


Figura 7. Comparación de potasio durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Conductividad eléctrica

En el primer periodo Junio 2018 los valores de la primera parcela 52 S/m, segunda parcela 25 S/m y tercera parcela 74 S/m, la conductividad eléctrica se encuentra en variación para los tres casos (Ver Fig. 8).

Mientras que para el segundo periodo correspondiente a Enero 2019 los valores son de la primer parcela 37 S/m, segunda parcela 70 S/m y tercera parcela 104 S/m los niveles de conductividad aumentaron significativamente para las tres parcelas tomando en cuenta que en la parcela 3 se registró un incendio provocado que acabo con la mitad de la plantación forestal esto probablemente ocasionó una modificación en el aumento de conductividad de la misma (Ver Fig. 8).

En el último periodo, Junio 2019 la primer parcela tiene un valor de 74 S/m y la segunda parcela tiene un valor de 104 S/m, ambas siguieron aumentado sin embargo en la tercera parcela se registró un valor de 53 S/m bajo debido al origen del suelo donde están establecidas (Ver Fig. 8).

Respecto al comportamiento que tuvieron las tres parcelas evaluadas se considera importante realizar este tipo de análisis el cual nos permite conocer el grado de conductividad presente en el suelo ya que entre más altos sean los valores mayor es la concentración de sales ocasionando que se reduzca la capacidad de absorción de agua de las raíces y con ella de nutrientes (Ver Fig. 8).

En el área de investigación las tres parcelas presentan un grado alto de conductividad eléctrica, sobrepasan los valores de un suelo normal, la presencia de salinidad en los suelos interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituye uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura. Este problema tiene efectos negativos sobre el suelo, como la disminución de la actividad biológica, la reducción en la disponibilidad de nutrientes, lo que es limitante para el desarrollo de los cultivos

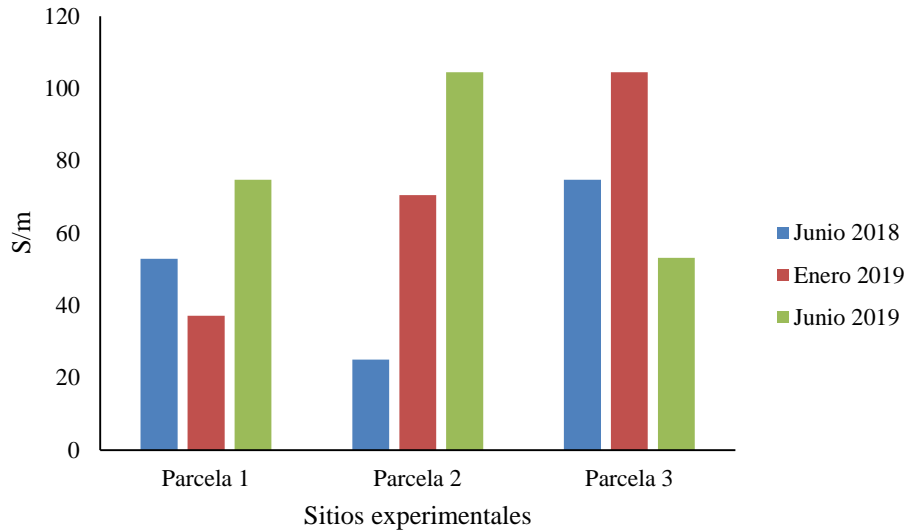


Figura 8. Comparación de conductividad eléctrica durante los periodos de Junio 2018-Enero 2019-Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Productividad de los sistemas

Altura de los pinos

Los resultados revelan que en el primer periodo Junio 2018 los valores promedio iniciales eran los siguientes de la primer parcela 33 cm, segunda parcela 38 cm y tercera parcela 39 cm. Estos datos iniciales permitieron ver el crecimiento en los siguientes periodos (Ver Fig. 9).

En el periodo Enero 2019 se observa que los pinos continuaron con un buen crecimiento, los valores promedio correspondientes son los siguientes de la primer parcela 46 cm, segunda parcela 46 cm y tercera parcela 45 cm indicando que donde existió mayor crecimiento de altura fue en la primera parcela con una diferencia de 13 cm de crecimiento, mientras que en la segunda y tercera parcela crecieron entre 6 y 8 cm (Ver Fig. 9).

En el último periodo que corresponde a Junio 2019 los pinos seguían creciendo de manera favorable los valores son de la primer parcela 80 cm, segunda parcela 54 cm y tercera parcela 54 cm, obteniendo nuevamente más crecimiento en la primera parcela con 34 cm de crecimiento muy elevado por su parte en las otras parcelas su crecimiento fue muy insuficiente (Ver Fig. 9).

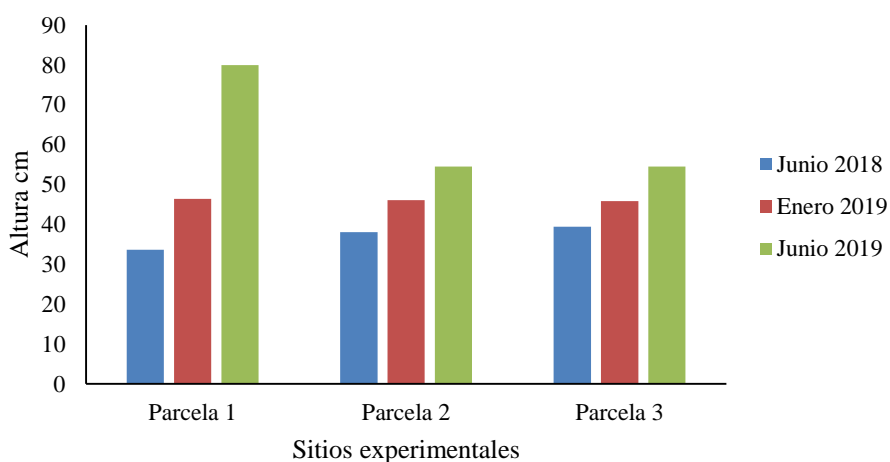


Figura 9. Comparación semestral Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 de altura promedio de los pinos en las tres parcelas evaluadas.

Diámetro de los pinos

En la Figura 10 se muestra el crecimiento promedio de diámetro de los individuos de *Pinus michoacana*, *P. moctezumae* y *P. pseudostrobus* para el primer periodo Junio 2018, los valores promedio son los siguientes primera parcela 7 mm, segunda parcela 8 mm y tercera parcela 6 mm estos datos permiten comparar el crecimiento dimétrico para los siguientes periodos.

En enero 2019 los pinos aumentaron su diámetro teniendo los siguientes valores promedio de la primer parcela 15 mm, segunda parcela 14 mm y tercera parcela 12 mm, donde se compara con el periodo anterior Junio 2018, revelando que los pinos de las tres especies agrandaron su diámetro al doble (Ver Fig. 10).

Durante el periodo Junio 2019 en la primer parcela los pinos tenían un diámetro promedio de 27 mm, mucho mayor que en la segunda y tercera parcela que tiene un valor de 18 mm, esto indica que los pinos van teniendo un buen grosor a medida que transcurre el tiempo y que la integración de los cultivos no ocasionó una competencia que implicara en su buen desarrollo (Ver Fig. 10).

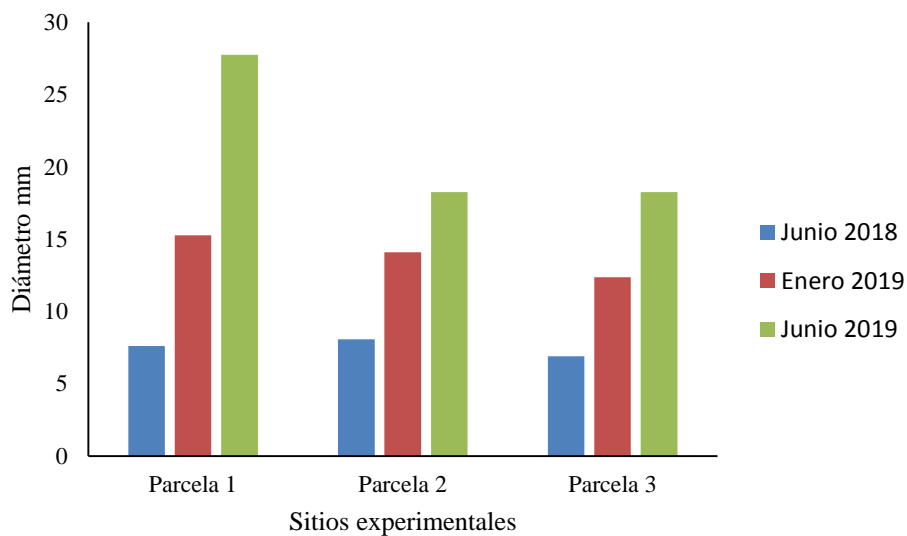


Figura 10. Comparación semestral Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 de diámetro promedio de los pinos en las tres parcelas evaluadas.

Sobrevivencia

Durante el primer periodo Junio 2018 el componente forestal se encontraba al 100 % de su plantación en las tres parcelas experimentales, esto fue porque se estableció por primera vez (Ver Fig. 11).

El periodo Enero 2019 el componente forestal disminuyo su plantación, los porcentajes son los siguientes primera parcela 38%, segunda parcela 49% y tercera parcela 49%, la sobrevivencia de los pinos se encontraba poco menos de la mitad para las tres parcelas experimentales (Ver Fig. 11).

En el último periodo Junio 2019 la plantación forestal de las tres parcelas prácticamente era inexistente, los valores de porcentaje de sobrevivencia eran demasiado bajos encontrándose en la primera parcela 10%, segunda parcela 14% y en la tercera parcela 23% (Ver Fig. 11).

La baja productividad de las tres parcelas experimentales se debió principalmente por la presencia de las tuzas además de las heladas y la falta de humedad también influyó en la baja sobrevivencia del componente forestal (Ver Fig. 11).

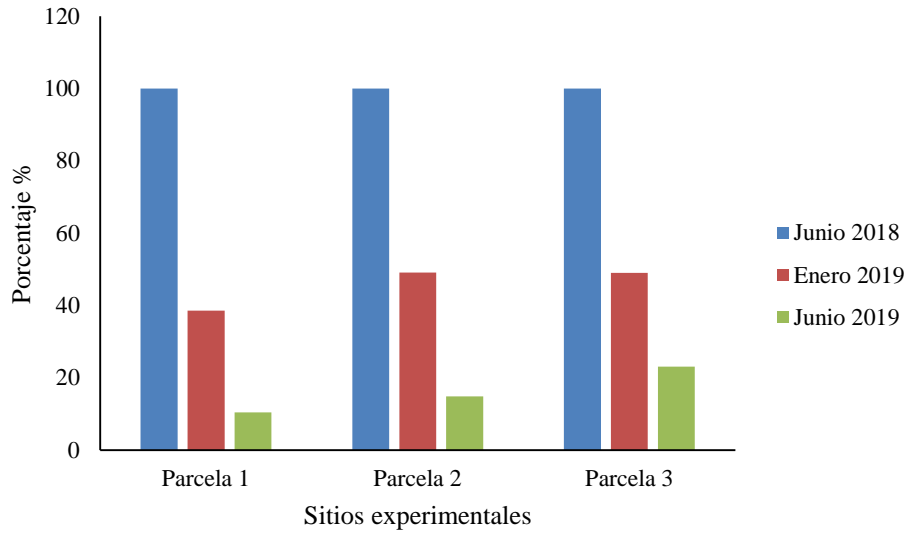


Figura 11. Supervivencia de pinos en los periodos Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Nopal

En la Figura 12 durante el primer periodo Junio 2018 el componente forestal no maderable de nopal, se encontraba al 100% para las dos parcelas agrosilvícolas debido a que se estableció por primera vez (Ver Fig. 12).

Para el periodo Enero 2019 la supervivencia de nopal para la primera parcela 60% y la segunda parcela 56% un poco más de la mitad sin embargo para el periodo Junio 2019 disminuyó, posicionándose con los siguientes valores la primera parcela 36% y la segunda parcela 38% (Ver Fig. 12).

La supervivencia del nopal se redujo por debajo de la mitad por factores naturales como las heladas y falta de humedad que limitaron su buen desarrollo en algunas plantas mientras que en otras se desarrollaron muy bien. Por otro lado se observó que las tuzas no intervinieron en

la sobrevivencia del nopal por su estructura, es decir las espinas que tienen no fue de agrado para los roedores.

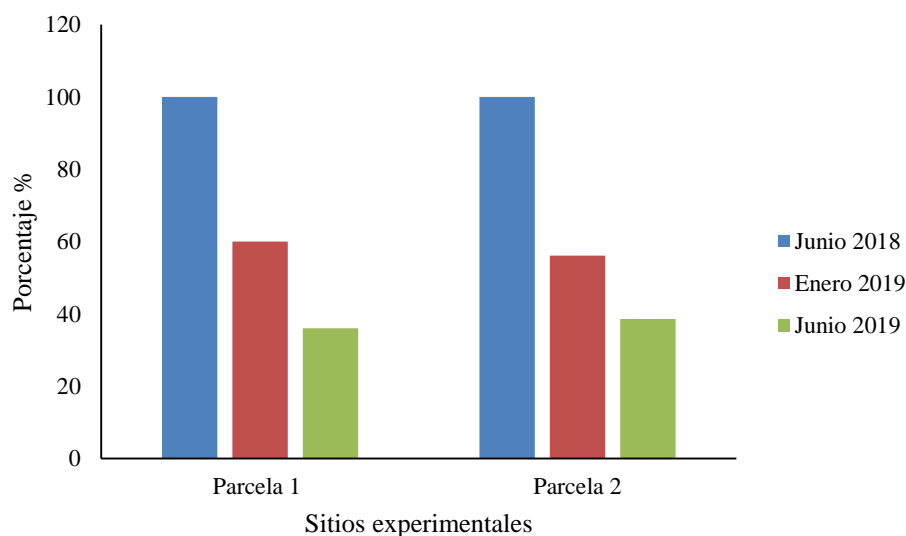


Figura 12. Sobrevivencia de nopal en los periodos Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Magüey

Para el primer periodo Junio 2018 el porcentaje de sobrevivencia de magüey era de 100 % por su establecimiento en las parcelas agrosilvícolas. Para el segundo periodo Enero 2019 los porcentajes eran en la primera parcela 61% y la segunda parcela 84%. Para el último periodo Junio 2019 los valores eran en la primera parcela 33% y la segunda parcela 56% lo cual indica que el magüey está disminuyendo por factores tales como las heladas y falta de humedad en el suelo que obstaculizan su desarrollo de crecimiento (Ver Fig. 13).

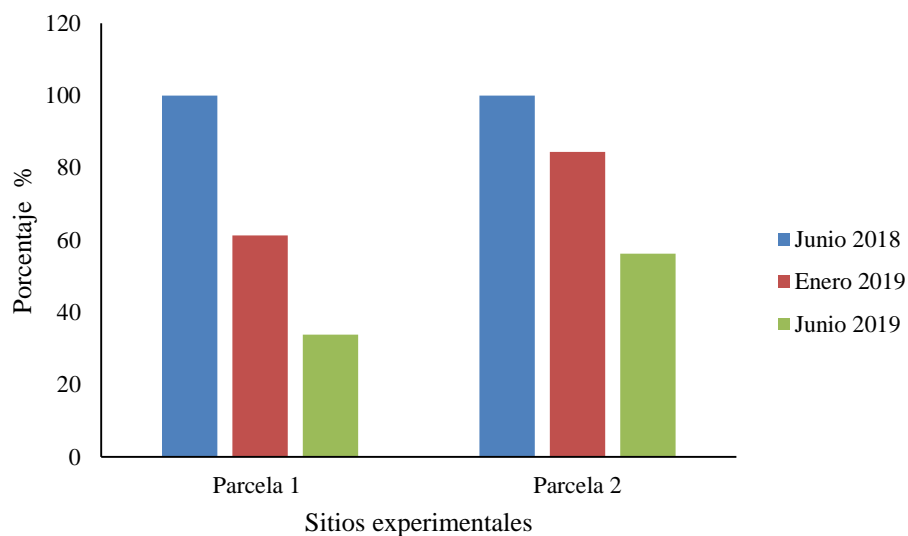


Figura 13. Supervivencia de maguey en los periodos Junio 2018- Enero 2019- Junio 2019 en las tres parcelas evaluadas.

Referente al componente agrícola no hay datos de los cultivos debido a que las tuzas se alimentaron de ellos. Estos roedores son los vertebrados que tienen mayor impacto sobre los cultivos. Es importante señalar que las parcelas de papa (*Solanum tuberosum*) que se encuentran alrededor del área de estudio ha contribuido en gran medida al conflicto que se tiene con esta plaga provocando que huya de los sembradíos y se mantenga segura en el predio de la UIIM y al no haber un enemigo natural ocasiona su multiplicación que conlleva desequilibrios ecológicos.

Identificación de indicadores de sustentabilidad

Los indicadores constituyen un componente fundamental de toda evaluación. Un indicador es una medida de la parte observable de un fenómeno que permite valorar otra porción no observable de dicho fenómeno, de acuerdo a esta investigación se considera que las variables que pueden ayudar a evaluar la sustentabilidad de los sistemas de manejo deben de tener indicadores de la dimensión social, económica y ambiental (Masera *et al.*, 2000). Por lo que se sugieren los siguientes indicadores del cuadro para realizar la evaluación de la sustentabilidad del sistema.

Cuadro 1. Identificación de indicadores de sustentabilidad para la evaluación del sistema agrosilvícola.

Dimensión	Atributo	Criterio de diagnostico	Indicador
Ambiental (Ecológica)	Conservación de recursos	Calidad del suelo	Propiedades químicas del suelo: Conductividad, Potasio, Calcio, Nitrógeno, pH
			Propiedades físicas del suelo: Erosión, Dureza, Humedad
	Estabilidad Resiliencia Confiabilidad	Diversidad en el espacio y tiempo	Diversidad en el sistema agrosilvícola
			Diversidad de productos cosechados
Económica	Eficiencia	Productividad del sistema	Eficiencia económica productiva
			Numero de cultivos
			Costo-beneficio
Autogestión	Energía	Aprovechamiento máximo de la energía del propio sistema	

Social	Equidad	Evaluación de empleos	Generación de puestos de trabajo
		Capacidad de cambio e innovación	Generación de conocimientos y prácticas
		Autosuficiencia	Insumos externos, Porcentaje del gasto interno de insumos cubiertos por el sistema

4. CONCLUSIÓN

La necesidad de entender y evaluar las condiciones del suelo en sistemas agroforestales ayuda para la determinación de los impactos de las distintas prácticas de manejo en la sostenibilidad del recurso suelo. Establecer un sistema agrosilvícola donde las condiciones son muy severas, no es tarea fácil, ya que existen factores que no están a nuestro alcance como por ejemplo las heladas, el viento, la lluvia y la presencia de tuzas que al estar en confinamiento y tener a su disponibilidad “alimento” provocan daños a las especies que están establecidas.

Los sistemas agrosilvícolas funcionan, solo que en lugares donde las condiciones son severas, los resultados positivos no se alcanzan a notar a corto plazo, pero si a largo plazo y arrojan una serie de resultados que se pueden aplicar en buenas prácticas de suelo en forma sostenible.

Los resultados de esta investigación ofrecen evidencias notables respecto al comportamiento del componente forestal integrado con el componente forestal no maderable y agrícola que a pesar de que no se logró en su totalidad los objetivos planteados estos resultados servirán de base para futuras investigaciones que se deseen realizar en el predio.

Recomendaciones

- Al momento de aplicar prácticas para el manejo del recurso suelo en forma sostenible se debe considerar las características ambientales que no están a nuestra disposición como la lluvia, heladas entre otros y por ende examinar los factores limitantes para conocer las implicaciones que puede acarrear de igual manera es importante conocer la ubicación del predio y sus alrededores para estar conscientes de lo que se puede controlar para alcanzar el éxito en nuestros sistemas agrosilvícolas.
- Se debe fomentar la participación por parte de toda la comunidad estudiantil, ya que todo lo que realice es en beneficio de ellos mismos.
- Realizar un diagnóstico de la fertilidad biológica de los suelos en el área de investigación.
- Se sugiere plantar cercos vivos de maguey (*Agave* spp.) y nopal (*Opuntia* spp.) en las hectáreas, en visto de que son las especies más resistentes a las heladas y las cuales no son tan afectadas por las tuzas.
- Establecer perchas suficientemente altas para las aves para controlar la población de roedores (tuzas).
- Retirar el basurero que está cerca de la plantación forestal para evitar posibles incendios que puedan dañar a las especies.
- Buscar alternativas de financiamiento para llevar a cabo el establecimiento de sistemas agrosilvícolas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, N. (1989).** *Tratados de edafología de México*. Tomo 1. México, D. F. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 222 p.
- Altieri M., y Nicholls C. (2006).** *Agroecológica: Teoría y práctica por una agricultura sustentable*. México D.F. Universidad Autónoma Chapingo. 310 p.
- Anónimo. (2013).** *Sistemas agroforestales maderables en México*. Comisión Nacional Forestal, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 146 p.
- ASAE. (1998).** *Standards Engineering Practices Data. Soil Cone Penetrometer*. 45th ed. SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE S313.2 Dec. 94. St Joseph, MI; 820-821 p.
- Beltrán, M. M. (2001).** *El mundo vivo I*. México, D.F: Fernández Editores. 229 p.
- Bravo, M., Sánchez, J., Vidales, J., Sáenz, T., Chávez, J., Madrigal, S., Muñoz, H., Tapia, L., Orozco, G., Alcántar, J., Vidales, I. y Venegas, E. (2009).** *Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso de suelo forestal a huertas de aguacate en Michoacán*. Uruapan, Michoacán. INIFAP. 76 p.
- Bueno, G. (2012).** *Sistemas Silvopastoriles, arreglos y usos*. Revista Sist Prod Agroecol. 3 (2):56-83 p.
- Calles, V., Smeltekop, H., y Villca, R. (2011).** *Sistemas agroforestales como alternativas ecológicas y productivas en áreas degradadas*. Journal of the Selva Andina Research Society, 2 (1), 71-72 p.

- Ceccon, E. y Pérez, D. (2016).** *Más allá de la ecología de la restauración: Perspectivas sociales en América Latina y el Caribe.* Buenos Aires. LARREA, SIACRE. 382 p.
- CONAFOR. (2007).** *Protección, restauración y conservación de suelos forestales: Manual de obras y prácticas.* Segunda edición. Comisión Nacional Forestal. . Zapopan, Jalisco de México. 70 p.
- CONAFOR. (2009).** *Inventario nacional forestal y de suelos en México 2004-2009: Una herramienta que da certeza a la planeación, evaluación y el desarrollo forestal en México.* Zapopan, Jalisco, México. Comisión Nacional Forestal. 22 p.
- CONAFOR-SEMARNAT. (2012).** *Estrategia Nacional de Agrosilvicultura.* Comisión Nacional Forestal- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Zapopan, Jalisco. 26 p.
- Díaz, C. G. (2012).** *El cambio climático. Ciencia y Sociedad.* XXXVII (2). 227-240 p.
- Edward, M. y Muñoz, C. (2000).** Métodos para medir la humedad del suelo para la propagación de riego. College of Agriculture, University of Arizona. 9 p.
- Escobar, C.J., Zuluaga, D. J. J., Gutiérrez, V.B.A. y Criollo, C.D. (2001).** *Simulación de análisis financiero a nivel de finca en sistemas agrosilvopastoriles versus sistemas ganaderos tradicionales en el Piedemonte del Caquetá.* CORPOICA, PRONATA. Caquetá, Florencia, Colombia. 20 p.
- Espinosa, M., Andrade, E., Rivera, P. y Romero, A. (2011).** *Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México.* Papeles de Geografía, (53-54), 77-88 p.

- FAO. S/F.** *Sistemas agroforestales en América Latina y el Caribe.* Santiago, Chile. 64p.
- Farrell, J.G. y Altieri, M. A. (1999).** *Sistemas Agroforestales.* in *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable.* Editorial Nordan- Comunidad. 230-243
- Fernández, D., Martínez, M. y Ramírez. M. (2009).** *Prácticas vegetativas y agronómicas complementarias al proyecto integral.* Colegio de Postgraduados. 48-72 p.
- Flores, L. y Alcalá, J. (2010).** *Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de física de suelos.* Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Departamento de edafología. México. 56 p.
- García, S. y Martínez, M. (S/F).** *Abonos verdes 4.* Colegio de Postgraduados. 8 p
- Hernández, C.E. (2013).** Tesis de maestría: *Evaluación de los sistemas agroforestales con leguminosas nativas en la restauración del suelo en la montaña de Guerrero, México.* Universidad Autónoma de México. México, D.F. 72 p
- Isaac, R. (2004).** *Explorando la perspectiva campesina de la agroforestería en la Reserva de la Biósfera de Calakmul.* Universidad y Ciencia. 40 (20): 39-54 p.
- Krishnamurthy, I., Krishnamurthy, K., Rajagopal, I. y Arroyo, A. (2003).** *Alternativas productivas: Introducción a la agroforestería para el desarrollo rural.* México: Grafica Publicitaria. 103 p.
- López, J. (2010).** *Manual de sistemas agroforestales para el desarrollo rural sostenible. Agroforestería-Silvopastoril-Agrosilvopastoril.* San Lorenzo, Paraguay. JIRCAS. 68 p.

- López, S. E. y Musálem, M. A. (2007).** *Sistemas agroforestales con cedro rojo, cedro nogal, y primavera, una alternativa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales en los Tuxtlas, Veracruz, México.* Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Enero- junio. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 13(1). 59-66 p.
- López, T. G. (2007).** *Sistemas agroforestales 8.* SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-graduados. Puebla. 8 p.
- Masera, O., Astier, M., y López-Ridaura, S. (2000).** *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS.* Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada. Pátzcuaro, Michoacán. 101 p.
- Martínez, R. (2003).** *Alternativas para un desarrollo sustentable.* InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, IV (7), 11-25 p.
- Mendieta, L.M. y Rocha, M.L. (2007).** *Sistemas agroforestales.* Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 115 p.
- Milera, A. (2013).** *Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. Estación experimental de pastos y forrajes “Indio Hatuey”.* Matanzas, Cuba. 17 (3). 7-24 p.
- Montagnini, F., Somarriba E., Murgueitio E., Fassola H., y Eibl, B. (2015).** *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales.* Cali, Colombia: CIPAV; Turrialba. 453 p.
- Morales, M. C. N. (2017).** Tesis de licenciatura: *Impacto socio-ambiental del cultivo convencional de papa en la comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán.*

Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. San Francisco Pichátaro, Michoacán. 155 p.

Musálem, M. Á. (2002). *Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano.* Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, julio-diciembre, 91-100 p.

Ortiz, T. J. (2011). *Tesis de maestría: Diseño de sistemas agroforestales con base en el manejo tradicional de la milpa y el solar en el municipio de Jesús Carranza, Veracruz.* Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 146 p.

Ospina, A. A. (2006). *Agroforestería; Aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el manejo agroforestal.* Colombia. El banco creativo. 209 p

Palomeque-Figueroa, E. (2009). *Sistemas Agroforestales.* Universidad Autónoma de Chiapas. México. 29 p.

Pereira, A., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Calle, A. y Esther, M. (2011). *Sistemas agroforestales.* Colombia: Espacio grafico S.A. 88 p.

Pérez-Nieto, J., Valdés -Velarde, E. y Ordaz-Chaparro, V. (2012). *Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra.* Terra Latinoamericana, 30 (3), 249-259 p.

Rivas, T.D. (2005). *Sistemas Agroforestales I.* Universidad Autónoma de Chapingo. 8 p.

Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales.* Proyecto de fin de carrera. Universidad Sevilla. 22 p.

- Sáenz, R. J. T., González T. J. A., Jiménez O. J., Larios G. A.; Gallardo V. M., Villaseñor R. F. J. e Ibáñez R. C. (2010).** *Alternativas agroforestales para reconversión de suelos forestales*. Folleto Técnico Núm. 18. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 52 p.
- Uribe, F., Zuluaga A.F., Valencia, L., Murgueitio, E., Zapata, A., Solarte L., Cuartas, C., Naranjo, J., Galindo, W., González, J., Sinisterra, J., Gómez, J., Molina, C., Molina, E., Galindo, A., Galindo, V. y Soto, R. (2011).** *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 78 p.
- USDA. (1999).** *Guía para la evaluación de la calidad y salud de suelos*. USDA. 81 p.
- Vaca, V. (2014).** Tesis de doctorado: *Compactación del suelo debido al tránsito de maquinaria agrícola: Respuesta de un vertisol a pruebas de compresión uniaxial en tres sistemas de labranza*. Universidad Autónoma del Estado de México. México. 73 p.
- Vázquez, C. R. (2008).** *Ecología*: México: Fernández editores. 225 p.
- Velázquez, Á. L., y Vargas-Hernández, J. (2012).** *La sustentabilidad como modelo de desarrollo responsable y competitivo*. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, (11), 97-107 p.