



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Servicios Ecosistémicos en cultivos de *Coffea arabica* L.:

*Almacenamiento de carbono en la
localidad de Arroyo de las Cañas
Veracruz*

Trabajo realizado por:

Jhair Sayago Ortega

Dirigido por:

Oscar Alfranca Burriel

Máster en:

Ingeniería Ambiental

Barcelona, 19 de septiembre 2016

Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

< *“Just because we are not seeing a collapse today doesn’t mean we are not subjecting humanity to a process that could lead to catastrophic outcomes over the next century” (Johan Rockstrom, 2015) >*

Agradecimientos

Al Consejo Nacional De Ciencia y tecnología (CONACyT) por la financiación de mis estudios de maestría.

A Oscar Alfranca y a todos aquellos que contribuyeron con información para la realización de este trabajo final de máster, en especial al biólogo Carlos Arzaba Villalba por su apoyo durante la caracterización botánica y durante la toma de caguamas con Doña One.

A Adaliz, mi hermana, por financiar mi última etapa de estancia en Barcelona

A Vianney Ortega Méndez, mi madre

A EPMV – ¡Somos Familia!

A Barcelona

Resumen

Los cultivos bajo sombra de *Coffea arabica* L. son sistemas agroforestales de gran importancia ecológica por los servicios ecosistémicos que proveen. En México, la crisis cafetalera que se vive desde principios de la década de los 90's y el reciente decremento en los rendimientos productivos de *Coffea* spp. ponen en riesgo la cafecultura en el país, ésta situación compromete la provisión de servicios ecosistémicos que estos sistemas proveen y genera un impacto socioeconómico directo en los productores de este cultivo. En la localidad de Arroyo de las Cañas en México, el cultivo de *Coffea arabica* L. se ha realizado desde hace décadas, donde éstos sistemas agroforestales son de gran importancia para los habitantes de la localidad por ser su principal fuente de ingresos económicos (US \$66.437,83 año⁻¹). Éstos cultivos tienen relevancia ecológica por conservar parte de la vegetación de Bosque Tropical Subcaducifolio, así como a individuos de una comunidad de *Cedrela odorata* L. presentes en el área de estudio. El presente trabajo parte de la hipótesis que, de continuar con las actuales condiciones de mercado y productividad de *Coffea* spp., se llevará a cabo la transformación de los sistemas agroforestales para dar paso a la ganadería. Por otra parte, la conservación de los sistemas agroforestales puede ser promovida mediante el pago a los usuarios del suelo por los servicios ecosistémicos que los cultivos de *Coffea* generan. El objetivo general del trabajo fue "Valorizar en términos económicos el servicio ecosistémico de captura de carbono en los cultivos de *Coffea arabica* L. en la localidad de Arroyo de las Cañas, México". Se realizó una caracterización botánica en la localidad para determinar el tipo de vegetación y usos de suelo en el área de estudio, así como obtener medidas dasométricas de los árboles de sombra presentes en los cultivos de *Coffea* spp. para estimar el carbono almacenado y la tasa de fijación de carbono en la biomasa aérea. La valoración económica se realizó de forma directa por los valores de mercado. En el área de estudio se encuentran almacenadas 14.912,11 tC en la biomasa aérea de los cultivos de *C. arabica*, con una tasa de fijación de carbono de 2,36 tC año⁻¹. Lo anterior representa un total de US\$149.121,16 por venta del carbono almacenado y un ingreso anual de US\$23,10año⁻¹ por la fijación anual de carbono en la biomasa de los árboles. Finalmente, se concluye que la valoración económica del carbono en el área de estudio no es suficientemente atractiva frente a la posible venta de madera y producción de ganado bovino que la transformación de los cultivos puede ofrecer.

Abstract

The *Coffea arabica* L. crops are agroforestry systems of high ecological importance due to the ecosystem services they provide. In Mexico, the coffee crisis that exists since the early 90s and the recent decrease in production yields of *Coffea* spp. are threatening coffee production in the country, compromising the ecosystem services provision by the agroforestry and generating a direct economic impact on the producers of this crop. In Arroyo de las Cañas Mexico, cultivation of *Coffea arabica* L. has been done for decades, where they agroforestry systems are of great importance for the locals to be their main source of income (US \$66 437.83 yr⁻¹). Furthermore, the coffee crops in the study area are ecologically important due to their contribution to preservation of Tropical semi-deciduous forest, as well as a community of *Cedrela odorata* L. This paper starts from the assumption that continuing with the current market conditions and productivity of *Coffea* spp., Will take place the transformation of agroforestry systems to make way for cattle ranching. Moreover, the conservation of agroforestry systems can be promoted by paying land users for ecosystem services that *Coffea* crops generate. The general objective of this study was “assess the value of carbon sequestration in *Coffea arabica* L. crops in Arroyo de las Cañas, in monetary terms”. A botanical characterization was carried out in order to determine the vegetation and land uses in the study area. Dasometric measures of shade trees in crops of *Coffea* spp were taken during the botanical characterization to estimate the carbon stock and the carbon sequestration rate in aboveground biomass. The economic evaluation was performed directly by market values. In the study area 14,912.11 tC are stored in aboveground biomass of *C. arabica* crops with a carbon fixation rate of 2.36 tC yr⁻¹. This represents a total of A \$ 149,121.16 by selling carbon stocks and an annual income of US \$ 23.10 yr⁻¹ by carbon fixation in tree biomass. Finally, it is concluded that carbon economic valuation in the study area is not enough attractive against the possible sale of timber and cattle production that the transformation of crops can offer.

CONTENIDO

Capítulo	Título	Página
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivos generales	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Estructura del documento	4
2	CONCEPTOS GENERALES	5
2.1	Sistemas agroforestales	5
2.1.1	Sistemas agroforestales para el cultivo de <i>Coffea arabica</i> L.	6
2.2	Servicios ecosistémicos	9
3	CASO DE ESTUDIO	16
3.1	Introducción	16
3.2	Área de estudio	18
3.2.1	Localización y descripción	18
3.2.2	Vegetación y uso de suelo	19
3.3.3	Sistemas de cultivo de <i>C. Arabica</i> L.	21
3.3.4	Aspectos económicos	22
3.3	Análisis de la problemática	24
4	METODOLOGÍA	27
4.1	Obtención de datos	27
4.1.1	Muestreo de vegetación	27
4.2	Estimación del volumen de madera	28
4.3	Cuantificación del carbono almacenado y estimación de la tasa de fijación	30
5	RESULTADOS	32
5.1	Producción de madera	32
5.2	Almacenamiento de carbono	33
5.3	Valoración económica de la captura y almacenamiento de carbono	35
6	DISCUSIÓN	36
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
8	BIBLIOGRAFÍA	40
9	APÉNDICES	50
I	Rol de la biodiversidad en la generación de servicios ecosistémicos	50
II	Agroecosistemas y servicios ecosistémicos	56
III	Servicios ecosistémicos en la planeación y toma de decisiones	61
IV	<i>Coffea arabica</i> L. Condiciones óptimas de cultivo y principales variedades cultivadas en México	66
V	Sistemas de cultivo de <i>Coffea</i> spp. En México	69
VI	Crisis cafetalera en México	74
VII	Importancia ecológica de los SAF de cultivo de <i>Coffea</i> spp.	78
VIII	Importancia de los cultivos de <i>C. arabica</i> de la localidad de las cañas en la conservación de la vegetación	82
IX	Delimitación del área de estudio	86
X	Muestreo de vegetación	93
XI	Medidas dasométricas y cálculo de madera presente en los cultivos	96
XII	Memoria de cálculo del almacenamiento de carbono	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Título	Página
1	Principales características de los sistemas de cultivo de <i>Coffea</i> spp. en México	15
2	Componentes del bienestar humano	16
3	Clasificación de los servicios ecosistémicos por función del ecosistema	17
4	Enfoques y utilidades de la valoración económica de los servicios ecosistémicos	19
5	Regiones cafetaleras en México	22
6	Superficies ocupadas por tipo de uso de suelo en el área de estudio	27
7	Especies arbóreas presentes en los cultivos de <i>C. arabica</i> de las cañas	27
8	Georreferenciación de las unidades de muestreo en coordenadas UTM	34
9	Densidades de la madera consideradas en los cálculos	36
10	Fuentes de información para la estimación de la edad del árbol por especie	37
11	Madera por especie presente en los cultivos de <i>c. arabica</i> del área de estudio	38
12	Carbono almacenado por unidad de muestreo y a nivel área de estudio	40
13	Tasa de fijación de carbono anual por unidad de muestreo y en el área de estudio	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Sistemas de cultivo de café en México	14
2	Marco conceptual sobre la generación de servicios ecosistémicos y bienestar humano	18
3	Componentes del valor económico total	19
4	Estados donde se produce <i>Coffea</i> en México	22
5	Regiones cafetaleras del Estado de Veracruz	23
6	Localización del área de estudio	24
7	Usos de suelo en el área de estudio	25
8	Vegetación original en el municipio de Yecuatla México	26
9	Ingresos económicos por venta de por la venta de ganado bovino y <i>C. arabica</i> en el área de estudio	30
10	Problemática en el área de estudio	32
11	Localización de las unidades de muestreo	34
12	Madera y especies arbóreas presentes por unidad de muestreo	39
13	Variación de las superficies de pastizal y cultivos considerando las actuales condiciones de producción y mercado	43
14	Ingresos acumulados para tres opciones de manejo de los cultivos de <i>C. arabica</i> en el área de estudio	44

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La sociedad, las economías y el bienestar humano en un marco de desarrollo sostenible, dependen de un mejor manejo de los ecosistemas para de esta forma garantizar la conservación y uso sostenible de los recursos naturales. El aumento en la demanda de servicios ecosistémicos, así como una mala gestión de los ecosistemas está llevando a un manejo no sostenible de los recursos, afectando la biodiversidad y alterando a los ecosistemas y a los servicios que proveen (Foley et al., 2016).

Los sistemas agroforestales son sistemas de producción agrícola y/o ganadera en los cuales se utilizan especies leñosas perennes de forma deliberada como parte fundamental del sistema de producción, sus principales atributos son una mayor productividad, sostenibilidad y adaptabilidad en comparación con sistemas más simples de producción (Nair, 1993). Actualmente la producción en sistemas agroforestales es apoyada no sólo por mejorar los rendimientos, también por su provisión de servicios ambientales (Albrecht y Kandji, 2003; Beer *et al.*, 2003; Neupane y Thapa, 2001; Tschardtke *et al.*, 2011).

Los cultivos de café (*Coffea* spp.) son sistemas agroforestales de importancia en la generación de diversos servicios ecosistémicos; entre los cuales se encuentran: el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la conservación del agua en cantidad y calidad, la captura y almacenamiento de carbono, la provisión de productos como leña, madera o frutos, etc. (Beer J. *et al.*, 2003; Moonen y Bàrberi, 2008). Si bien, la existencia de un cultivo de *Coffea* spp. parte de la transformación de un ecosistema natural, gran parte de los servicios ecosistémicos del ecosistema original prevalecen en los sistemas de cultivo de café tras el cambio de uso de suelo (Manson *et al.*, 2008).

En México el café (*Coffea arabica* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica, social y ambiental en el país, y su producción se extiende por 12 estados cafetaleros. Los principales estados productores de Café en México son Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla, donde se concentran más del 95% de las unidades de producción de *Coffea* spp. (Fonseca, 2006).

Desde el inicio de la década de los 90's la cafecultura en México se encuentra en crisis, debido principalmente a la desregulación del mercado internacional de café, ocasionando una bajada de precios en el mercado internacional. Si bien la cafecultura ha logrado

sobrevivir en México, actualmente la baja productividad de los cultivos y la creciente afectación de los cultivos por la roya de café (una plaga) amenazan seriamente la conservación de éstos sistemas agroforestales, puesto que los productores han mostrado poca adaptabilidad y optan cambiar de practica agrícola (monocultivos), o en otras ocasiones deforestar sus sistemas agroforestales para obtener ingresos por la venta de madera y emprender la ganadería (Fonseca, 2006; Nestel, 1995). Si bien, la poca de rentabilidad de los cultivos de café resulta en problemas sociales como desempleo y altas tasas de migración, el cambio de uso de suelo de estos sistemas agroforestales también tiene un efecto negativo en la generación de servicios ecosistémicos como lo es la captura y almacenamiento de carbono (Ávalos-Sartorio, 2002, 2005; Vázquez-Aragón, 2016).

En Nicaragua, Medina-Benavides *et al.* (2009) estimaron que el potencial de almacenamiento de carbono de cultivos de café en clima tropical de sabana puede oscilar entre los 4,7 a los 15,23 tC ha⁻¹. También en Nicaragua, Calderón y Solís (2012) determinaron que el almacenamiento de carbono en sistemas de cultivo de café-pino oscila entre las 11 y 58,5 tC ha⁻¹.

En México, Soto-Pinto *et al.* (2010) determinaron un rango de almacenamiento de carbono en diferentes sistemas de cultivo de café entre las 39,4 y 46,3 tC ha⁻¹ en un gradiente de alturas entre los 700-900 m.s.n.m. en el estado de Chiapas. Por otra parte, en el estado de Veracruz los estudios se han realizado en diversos sistemas de cultivo de café localizados en zonas con alturas mayores a 1000 m.s.n.m., donde Dávalos-Sotelo *et al.* (2008) determinaron una variación del almacenamiento de carbono entre las 4,5 a las 42,4 tC ha⁻¹, Masuara *et al.* (2015) entre 5,3 y 20,9 tC ha⁻¹ y finalmente, Espinoza-Domínguez *et al.* (2012) estimaron un potencial de almacenamiento que osciló entre las 27 y 114 tC ha⁻¹.

El pago por servicios ecosistémicos es un instrumento económico con el cual se otorgan incentivos económicos a los usuarios del suelo, de manera que sigan ofreciendo un servicio ecosistémico que beneficia a la sociedad. En diversos países; como Costa Rica y Panamá, se ha popularizado el pago por el servicio de almacenamiento de carbono como herramienta para incentivar el cultivo de *Coffea* spp. en sistemas agroforestales, propiciando una mayor producción de café, la conservación de la biodiversidad y mantener la provisión de diversos servicios ecosistémicos como la regulación hídrica (Ávalos- Sartorio, 2002; Fonseca, 2006; Soto-Pinto *et al.*, 2010).

En la localidad de Arroyo de las Cañas, el cultivo de *Coffea arabica* L. ha sido el principal motor económico desde hace décadas y la situación actual de la cafeticultura en México compromete el desarrollo sostenible de la localidad (Ramírez-Lavoignet D. 1985). El presente estudio realizó la valoración económica de la captura de carbono en los cafetales de la localidad de Arroyo de las Cañas, con el fin de determinar si el incentivo es suficientemente atractivo a los productores para conservar los cultivos de *Coffea arabica*. L. y por ende mantener los servicios ecosistémicos que estos proveen.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Valorizar en términos económicos el servicio ecosistémico de captura de carbono en los cultivos de *Coffea arabica* L. en la localidad de Arroyo de las Cañas, México.

1.2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar el carbono almacenado por la biomasa aérea en los cultivos de *Coffea arabica* L. en la localidad de Arroyo de las Cañas, México.
- Cuantificar el potencial de fijación de carbono por la biomasa aérea en los cultivos de *Coffea arabica* L. en la localidad de Arroyo de las Cañas, México.
- Valorizar económicamente el servicio ecosistémico por captura y almacenamiento de carbono de la biomasa aérea en los cultivos de *Coffea arabica* L. en la localidad de Arroyo de las Cañas, México.

1.3 Estructura del documento

El presente trabajo se compone de 8 capítulos y 12 apéndices, donde en el capítulo 1 se introduce al lector en la temática del trabajo y se presentan los objetivos. El capítulo 2 provee los conceptos generales y las bases teórica del presente trabajo.

El capítulo 3 comienza con una introducción sobre la organización geográfica de los cultivos de café en México, posteriormente se presenta el caso de estudio, donde se describe el área de estudio y se analiza la problemática relacionada con los cultivos de *Coffea arabica* y la provisión de servicios ecosistémicos en el área de estudio.

La metodología para la cuantificación del almacenamiento de carbono por la biomasa de los árboles se presenta en el capítulo 4 y los resultados de cuantificación y valoración del servicio de almacenamiento de carbono por los cultivos se presentan en el capítulo 5. La discusión de resultados se presenta en el capítulo 6, donde se analizan posibles escenarios de manejo de los cultivos, con el objeto de determinar si la valoración del servicio de almacenamiento de carbono es un incentivo suficientemente atractivo para que los productores decidan conservar los cultivos.

En el capítulo 7 se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo y finalmente en el capítulo 8 se presenta la bibliografía citada tanto en el documento como en los apéndices. Cabe señalar que como parte del trabajo se presentan apéndices con información de respaldo tanto al entendimiento de los servicios ecosistémicos y lo que involucra su análisis, así como información sobre la situación y datos del área de muestreo.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS GENERALES

2.1. Sistemas agroforestales

Una primera aproximación a la definición de la Agroforestería se realizó en la década de 1970, donde se definió como una serie de prácticas agropecuarias que implican la combinación del manejo forestal con la producción de cultivos alimenticios y/o ganado (Bene *et al.*, 1997; Combe y Budowski, 1979), que, aunque dichas prácticas agropecuarias se han realizado desde épocas medievales, fue hasta la década de los 70's donde se comenzó a emplear el término (Nair, 1993). dicha definición fue posteriormente refinada por Lundgren y Raintree (1982) donde expresa:

La Agroforestería es el nombre empleado para aquellos sistemas de uso de suelo y tecnologías donde son utilizadas especies leñosas perennes de forma deliberada en las mismas unidades de manejo de suelo que cultivos agrícolas y/o animales, en algún tipo de arreglo espacial y secuencia temporal. En los sistemas agroforestales existen interacciones ecológicas y económicas entre los diferentes componentes.

En esta definición implica lo siguiente:

- La existencia de al menos dos especies vegetales en la unidad productiva, de las cuales al menos una es una especie leñosa perenne;
- Un sistema agroforestal tiene siempre dos o más salidas o productos;
- El ciclo es siempre de más de un año; y
- Hasta el sistema agroforestal más simple es más complejo ecológica y estructuralmente que un monocultivo.

De acuerdo a Nair (1993) los principales atributos de la agroforestería son la productividad, la sostenibilidad y adaptabilidad. Aquellos sistemas empleados en la agroforestería son conocidos como sistemas agroforestales, y su objetivo es aumentar la producción y la productividad de manera sustentable principalmente mejorando los suelos, además de ser una práctica generalmente aceptada por los productores debido a que se refiere a prácticas que se han realizado desde hace mucho tiempo (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Actualmente la producción en sistemas agroforestales es apoyada no sólo por mejorar los rendimientos, también se han confirmado científicamente diferentes beneficios ambientales

entre los que se encuentran el mejoramiento y conservación de los suelos, el reciclaje de nutrientes, mejorar la infiltración y calidad del agua, la conservación de la biodiversidad, así como ser una estrategia ampliamente aceptada para el almacenamiento y captura de carbono (Albrecht y Kandji, 2003; Beer *et al.*, 2003; Neupane y Thapa, 2001; Tscharrntke *et al.*, 2011).

Finalmente, se puede concluir que los sistemas agroforestales, son formas de manejo de los recursos naturales y uso de suelo donde son utilizadas especies leñosas (árboles y arbustos), en asociación deliberada con cultivos agrícolas y con animales; existen interacciones ecológicas y económicas entre los árboles y los otros componentes y además estos sistemas son compatibles con las condiciones socioculturales para mejorar las condiciones de vida de una región.

2.2.1. Sistemas agroforestales para el cultivo de *Coffea arabica* L.

El género *Coffea* o cafeto como es conocido comúnmente, incluye al menos 70 especies de plantas de la familia de las rubiáceas, en México se cultivan principalmente *C. canephora* y *C. arabica* en mayor proporción debido a sus características organolépticas y ser considerado un grano de mejor calidad (Escamilla, 1993). *Coffea arabica*, L. no solo es la especie de cafeto más cultivada no sólo en México sino también en Centroamérica, esta especie es altamente intolerante a las heladas y a las altas temperaturas por lo cual su cultivo generalmente va relacionado a la utilización de árboles de sombra, sin embargo, también puede cultivarse a pleno sol con un manejo adecuado de la planta y el suelo (van Oijen *et al.*, 2010).

Los cultivos de café bajo sombra, como es el caso de *Coffea arabica* L., se realiza en sistemas agroforestales. En México, son cinco los principales sistemas de cultivo de *Coffea* spp., dos tradicionales donde el café se produce bajo la sombra de la vegetación original (rústico o de montaña y policultivo tradicional), uno intermedio donde la sombra la proveen árboles no nativos (policultivo comercial) y dos modernos (monocultivos con y sin sombra). Estos sistemas difieren principalmente por la sombra requerida en el cultivo, los rendimientos de en la producción de *Coffea*, así como el impacto al ambiente que esta actividad pueda ocasionar (Moguel y Toledo, 1999; Nolasco, 1985). En la figura 1 se muestran los diferentes sistemas de cultivo de *Coffea*, así como los perfiles de vegetación presentes en cada sistema, para mayor información sobre los cultivos de café véase apéndice V.

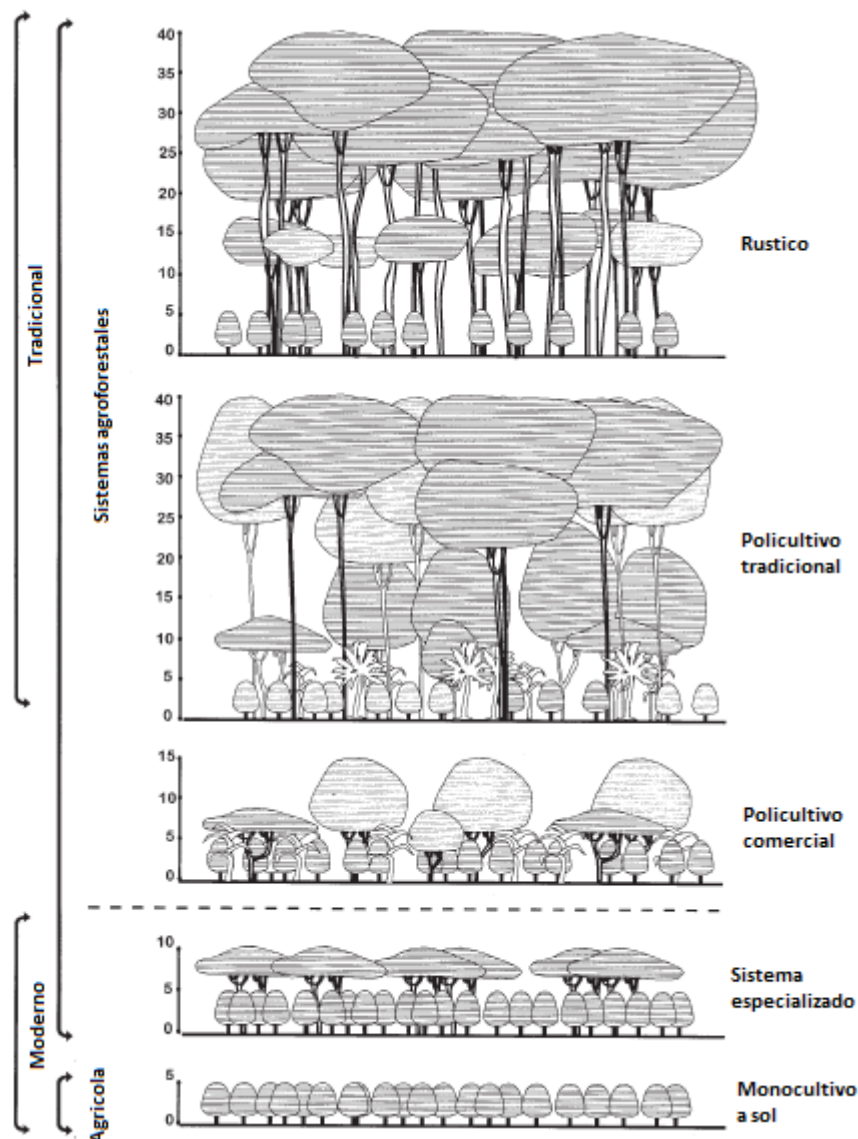


Figura 1 Sistemas de cultivo de café en México. **Fuente:** Moguel y Toledo, 1999.

La diferencia más clara entre los sistemas de cultivo es la presencia de vegetación leñosa, sin embargo, ésta no es la única característica que diferencia a los sistemas, también la composición y estructura de la diversidad juegan un rol en definir cada sistema, las diferencias más importantes entre cada sistema de cultivo se presentan de manera resumida en la tabla 1.

Tabla 1 Principales características de los sistemas de cultivo de *Coffea* spp. en México

Sistema	Sombra	Densidad	Rendimiento	Edad de cafetos	Tipo de productor	Objetivo	Variedades
Rústico	Vegetación original	800-1200	2-6	30 - 80	Grupos indígenas	Sustento	Typica
Policultivo tradicional	Vegetación original e introducida	800-1600	12-14 Orgánico: 8-10	20-40	Pequeños productores	Sustento/comercial	Typica, Bourbon
Policultivo comercial	Árboles comerciales	Altamente variable	Altamente variable	Altamente variable	Pequeños productores	Comercial	Altamente variable
Especializado	Arboles introducidos (inga)	1600-2000	15-30	<25	Grandes productores	Comercial	Caturra, garnica
Monocultivo a sol	Sin sombra	4000-15000	40-80	Variable	Grandes productores	Comercial	Caturra, Catuaí, Garnica

Fuente: Elaboración propia a partir de Moguel y Toledo, 1999.

2.2 Servicios ecosistémicos

El análisis del valor o importancia de los servicios ecosistémicos es una herramienta para la toma de decisiones relacionada con el manejo de los recursos naturales (*véase* apéndice III). En estudios recientes, el análisis de los servicios ecosistémicos muestra ser una herramienta de planeación enfocada en la sostenibilidad, integrando el bienestar social y la conservación ambiental con aspectos económicos. Esta herramienta ayuda para tener una visión clara de los beneficios y perjuicios de diversas opciones en el manejo de recursos naturales (Daily *et al.*, 2009; Farber *et al.*, 2006; TEEB, 2010).

El reporte de La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad o TEEB por sus siglas en inglés, es un estudio a nivel mundial realizado por Alemania y la comunidad europea con el objeto de analizar los aspectos económicos de la pérdida de biodiversidad. En dicho estudio, se definen los servicios ecosistémicos como aquellos aspectos del ecosistema utilizados (pasiva o activamente) para producir bienestar humano (TEEB, 2010).

El bienestar humano se puede definir como un multicomponente el cual incluye que una persona tenga acceso a bienes materiales básicos para una buena vida, la seguridad, las relaciones sociales y la libertad (EM, 2003), además, dicho multicomponente está fuertemente ligado a los servicios ecosistémicos que el hombre recibe. Los determinantes y componentes del bienestar humano desde un enfoque de los servicios ecosistémicos se presenta en la tabla 2.

Tabla 2 Componentes del bienestar humano

Seguridad	Bienes materiales básicos para una buena vida	Salud	Buenas relaciones sociales
<ul style="list-style-type: none"> • Vivir en una vivienda ambientalmente limpia y segura • Reducir la vulnerabilidad a los colapsos y tensiones ecológicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceder a los recursos y así obtener un ingreso que permita contar con medios de subsistencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Recibir una alimentación adecuada • Estar libre de enfermedades vitales • Contar con agua en cantidad y calidad adecuadas • Contar con un aire limpio • Contar con energía para el control de la temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • Oportunidad para expresar valores estéticos y recreacionales asociados a los ecosistemas • Oportunidad de expresar valores culturales y espirituales asociados a los ecosistemas • Oportunidad de observar, estudiar y aprender de los ecosistemas
Libertades y opciones			

Fuente: Modificado de Evaluación del Milenio, 2003.

La dependencia de los servicios ecosistémicos en el bienestar de las personas se presenta en diferentes magnitudes, así como en diferentes escalas temporales y espaciales. La dependencia de los servicios ecosistémicos es más clara en aquellas personas en comunidades rurales y generalmente las más pobres. Algunas comunidades; principalmente indígenas, continúan siendo total y directamente dependientes en los servicios ecosistémicos para su supervivencia, al igual que los ecosistemas son de gran importancia por proveer diferentes formas de vida (TEEB, 2010).

La generación de servicios ecosistémicos, depende del buen funcionamiento del ecosistema que se esté analizando y de los diversos procesos que se llevan a cabo de forma natural en el mismo, donde la diversidad juega un papel clave en el funcionamiento del sistema y es la base de la provisión de servicios (véase apéndice I). Considerando lo anterior, se entiende como función del ecosistema a la capacidad de los procesos y componentes naturales para proveer bienes y servicios ecosistémicos (De Groot, 2006).

Debido a la complejidad, diversidad, aspectos culturales y objetivos de evaluación, los servicios ecosistémicos han sido clasificados de diversas maneras, dicha clasificación puede depender de las funciones y procesos de los ecosistemas (Fisher *et al.*, 2009). En la tabla 3 se presenta la clasificación de los servicios ecosistémicos de acuerdo al TEEB (2010).

Tabla 3 Clasificación de los servicios ecosistémicos por función del ecosistema

Función	Servicio ecosistémico
Suministro	Alimento
	Agua
	Materias primas
	Recursos genéticos
	Recursos medicinales
	Recursos ornamentales
Regulación	Regulación de la calidad del aire
	Regulación del clima
	Moderación de eventos extremos
	Regulación de flujos de agua
	Depuración
	Prevención de la erosión
	Mantenimiento de la fertilidad del suelo
	Polinización
	Control biológico
Hábitat	Refugio
	Anidación
Culturales	Información estética
	Oportunidad de recreación y turismo
	Inspiración al arte, cultura y diseño
	Experiencia espiritual
	Información para el desarrollo cognitivo
	Identidad
	Herencia cultural

Fuente: TEEB,2010

Es importante mencionar que un servicio ecosistémico pueden suponer diversos beneficios, como ejemplo se puede mencionar que, el suministro de alimento por parte de los agroecosistemas (véase apéndice II), puede representar beneficios económicos para algunas personas por la venta de los productos cosechados, por otra parte, el mismo servicio ecosistémico puede significar la base de la alimentación para otro grupo de personas, traduciendo este servicio ecosistémico en beneficios nutricionales (De Groot, 2006).

Como se ha discutido en el presente apartado, los ecosistemas y su biodiversidad representan una serie de beneficios al ser humano que se traducen en bienestar, en la figura 2 se presenta un esquema general en el que se resume lo discutido acerca de los servicios ecosistémicos hasta el momento, en el esquema se parte del hecho que las funciones del ecosistema; producto de los diversos procesos llevados a cabo por los organismos y el entorno, proporcionan una serie de servicios ecosistémicos de importancia para el hombre, y éstos servicios a su vez se traducen beneficios de diferente

índole que son fundamentales para alcanzar el bienestar humano. Para mayor información sobre los servicios ecosistémicos véase apéndice I.

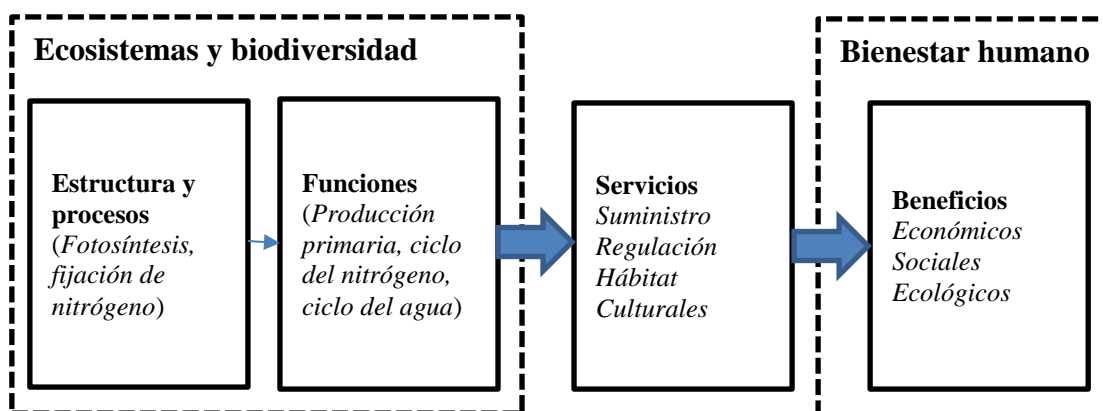


Figura 2 Marco conceptual sobre la generación de servicios ecosistémicos y bienestar humano. **Fuente:** modificado de TEEB,2010.

Como se mencionó al inicio de éste apartado, el análisis de los servicios ecosistémicos es una herramienta para la toma de decisiones en el manejo de recursos naturales, donde parte crucial en el proceso de toma de decisiones es la valoración de estos servicios (Daily, 1997). Si bien, parte de la comunidad científica manifiesta opiniones negativas hacia la valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos poniendo como argumento que la protección del medio ambiente es algo tan obvio y fundamental que no puede ser analizado en términos económicos (Carrquiry y Piaggio, 2015), la valoración económica de los servicios ecosistémicos puede presentar utilidades en el análisis de importancia de un ecosistema (tabla 4).

Tabla 4 Enfoques y utilidades de la valoración económica de los servicios ecosistémicos

Enfoque	Utilidad
Determinar el valor total del flujo de beneficios de un ecosistema	Entender la contribución que el ecosistema aporta a la sociedad
Determinar el beneficio neto de una intervención que altera las condiciones de un ecosistema	Evaluar cuando la intervención vale la pena (desde la perspectiva económica)
Analizar la distribución de los costos y beneficios de un ecosistema (o intervención)	Identificar ganadores y perdedores
Identificar posibles fuentes de financiamiento para la conservación	Ayudar a que la conservación sea sostenible financieramente

Fuente: Pagiola *et al.*,2005.

El concepto de valor o importancia viene dado por la contribución de un bien o servicio a cumplir una meta, objetivo, o deseo, por tanto, generalmente el valor de los bienes y servicios ecosistémicos viene dado por su uso o utilidad en la satisfacción de las necesidades humanas (valor de uso), sin embargo, el valor económico total es un término más amplio que incluye valores tanto de uso como de no uso (figura 3), esto debido a que los ecosistemas pueden tener valores múltiples para las personas (Farber *et al.*, 2002).



Figura 3 Componentes del valor económico total. **Fuente:** tomado de Carriquiry y Piaggio, 2015.

Las metodologías de valoración económica de servicios ambientales representan esencialmente la disposición a pagar por un bien o servicio, o la compensación por la pérdida de un servicio y son de gran utilidad cuando los servicios ecosistémicos carecen de mercado (Farber *et al.*, 2002), existen seis principales métodos de valoración económica que se explican a continuación.

Costos evitados: Este enfoque es empleado para inferir el valor de un servicio ecosistémico basado en el costo de mitigación o sustitución del servicio. Por ejemplo, si la fertilidad del suelo se reduce y los rendimientos de un cultivo son mantenidos mediante el uso de fertilizantes, entonces, el costo por el aumento de la fertilización provee información del valor de la reducción de la fertilidad del suelo, en algunas situaciones los costes evitados pueden considerarse como el límite inferior en el valor del cambio en un servicio ecosistémico (Swinton *et al.*, 2007).

Costos de remplazo: Este método se basa en el principio que los servicios ecosistémicos pueden ser reemplazados por sistemas creados por el hombre, éste método no es muy aceptado por que generalmente las personas no están dispuestas a reemplazar un servicio ecosistémico al coste que esto implica. Por tanto, la técnica de costo de remplazo solo revela el valor cuando se observa que un servicio está siendo reemplazado (Swinton *et al.*, 2007).

Función de producción: El valor de un servicio ecosistémico puede ser estimado mediante un enfoque basado en los ingresos, una variedad de enfoques de valoración que se enfoca en ligar los servicios ecosistémicos a los ingresos lo que es identificar su efecto en rendimientos sin alterar costos, los mayores rendimientos se traducen en mayores ingresos. Éste método es empleado principalmente en ecosistemas con mayor grado de manejo por parte del hombre un ejemplo son los agroecosistemas, donde, los servicios ecosistémicos hacia la agricultura tienen impacto sobre la producción o la necesidad de mayores insumos. Una función de producción relaciona la cantidad de salidas a varios niveles y combinaciones de insumos. Un enfoque para documentar el valor de un servicio ecosistémico a la agricultura es estimando una función de producción y luego utilizarla para modelar como el valor neto presente de las utilidades cambiará cuando cambie la provisión de dicho servicio (Farber *et al.*, 2002).

Costo de viaje: Es un método para valorar la recreación que un espacio ofrece por tanto se emplea para destinos con servicios recreacionales como avistamiento de vida silvestre, cacería, pesca. Costos de viaje revela información sobre la disposición a pagar por recreación al aire libre. La observación de la relación entre las actividades recreacionales de las personas y sus costos de viaje son empleadas para estimar funciones de demanda. Si la demanda puede ser relacionada al nivel de provisión de servicios ecosistémicos, entonces los cambios en los servicios pueden cambiar las funciones de demanda y de esta manera emplearse para valorarse cambios en la provisión de servicios ecosistémicos. Este enfoque se ha empleado para determinar valores asociados con programas de conservación agrícolas que afectan el agua (Baylis *et al.*, 2002) y cacería de Faisán (Hansen *et al.*, 1999)

Precios hedónicos: esta metodología emplea la relación entre precios de propiedades y características de la propiedad, para valorar cambios en las características. Puede medir el valor que se encuentran capitalizados en el valor de la propiedad. Si los servicios de un ecosistema pueden asociarse con los valores de la propiedad, entonces su valor puede estimar con este método. El efecto de los servicios ecosistémicos en el valor de las propiedades es de interés a dos escalas: el efecto directo en el precio de la propiedad y el efecto en las propiedades aledañas. Las propiedades en los alrededores pueden ser residencial y el efecto puede ser positivo o negativo (Farber *et al.*, 2002).

Valoración a contingente: Este método implica la encuesta a personas sobre su disposición a pagar o aceptar compensaciones por un cambio en la provisión de un servicio ecosistémico. Este método permite especificar un escenario exacto a ser valorado. A diferencia de otros métodos, la valoración a contingente es capaz de medir el uso pasivo que las personas pueden independientemente si utilizan o no directamente un servicio ecosistémico. Este método se ha empleado para valorar servicios ecosistémicos asociados a la agricultura, incluyendo calidad visual (Ready *et al.*, 1997), hábitat de vida salvaje (Brouwer y Slangen 1998), impactos en la calidad del agua (Colombo *et al.*, 2006), conservación de terrenos forestales (Brey *et al.*, 2007).

CAPÍTULO 3. CASO DE ESTUDIO

3.1. Introducción

En México, el cultivo de *Coffea* spp. se realiza en 12 de los 32 estados que lo componen, (figura 4) y los principales productores son los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla con más del 95% de las unidades de producción de café. En estos estados se emplea la agroforestería como método de producción, lo que le confiere relevancia ambiental por los servicios ecosistémicos que son provistos por esta técnica agrícola (Fonseca, 2006).

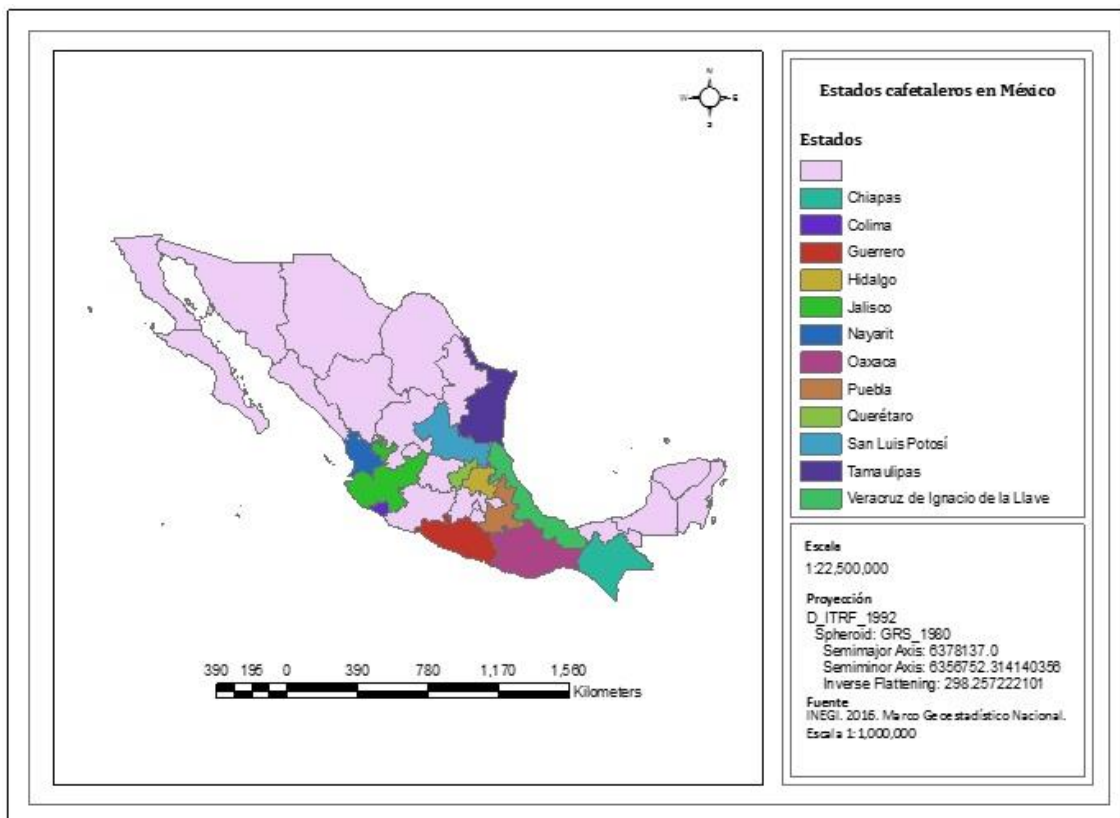


Figura 4 Estados donde se produce *Coffea* en México

La producción de *Coffea* spp. se distribuye en 4 grandes regiones cafetaleras: la región de la vertiente del Golfo de México, la región de la vertiente del océano pacífico, la región Soconusco y la región norte centro de Chiapas, los estados que componen cada región se precisan en la tabla 5. En México, alrededor del 95% del café producido es de la especie *C. arabica*, cabe mencionar que ésta especie la de mayor calidad en taza. Para mayor información sobre la situación de la cafecultura en México véase apéndice VI.

Tabla 5 Regiones cafetaleras en México

Región cafetalera	Estados
Vertiente del Golfo de México	San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Parte de Oaxaca y Tabasco.
Vertiente del Océano Pacífico	Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y parte de Oaxaca.
Región Soconusco	Chiapas
Región Centro norte de Chiapas	Chiapas

Fuente: SAGARPA, 2016.

En el estado de Veracruz se encuentran 10 subregiones cafetaleras y éstas son: los Tuxtlas, Atzálan, Chicontepec, Coatepec, Córdoba, Huatusco, Misantla, Papantla, Tezonapa, y Zongolica (Figura 5). El área de estudio se encuentra localizada en la subregión cafetalera de Misantla.

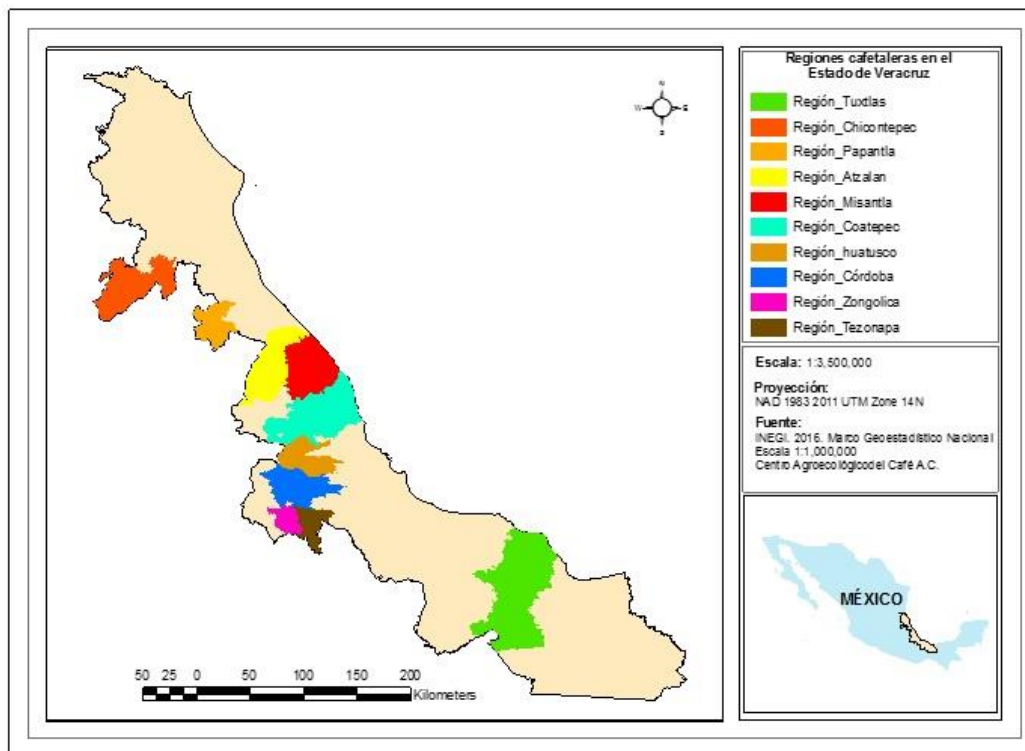


Figura 5 Regiones cafetaleras del Estado de Veracruz

Es menester mencionar, que la delimitación del área de estudio no se realizó de acuerdo a límites administrativos, puesto que a este nivel de análisis actualmente dichos límites son inexistentes en México. Considerando que el manejo y planeación del uso de suelo depende de factores económicos, ecológicos y socio-culturales del propietario o propietarios de la tierra y de las características propias del área de estudio (Lambin y Meyfrfroidt, 2010); la delimitación del área de estudio fue realizada a partir de información ecológica, socio-cultural y económica del municipio de Yecuatla con el objeto de tener una mayor representatividad en el estudio, además se empleó el software

de información geográfica ArcGis 10.3 de ESRI. Para mayor información sobre la delimitación del área de estudio véase anexo IX.

3.2 Área de estudio

3.2.1. Localización y descripción

La localidad de Arroyo de las Cañas (también conocida como las Cañas), se encuentra localizada en la planicie del municipio de Yecuatla en el estado de Veracruz México (19° 52' 38'' N, 96° 44' 35'' W), a una altitud de 298 m.s.n.m. y a 5 km de la cabecera municipal Yecuatla (figura 6). El clima de acuerdo a la clasificación de Köppen es semi-cálido húmedo (A)C(fm) con una temperatura promedio anual de 23°C y una precipitación media de 1578 mm anuales (la temperatura y precipitación promedio se obtuvieron al extrapolar la información de estaciones meteorológicas aledañas).

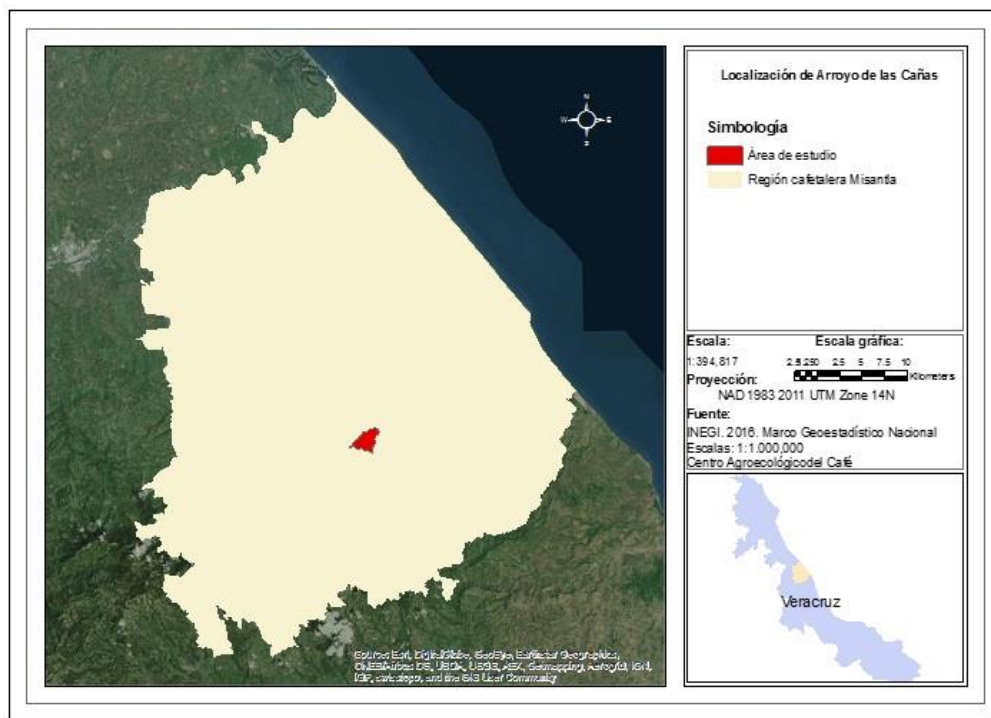


Figura 6 Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra en la región hidrológica Tuxpan-Nautla, en la cuenca del Río Nautla y subcuenca del río Colipa, al norte el área de estudio colinda con la corriente de agua del río Colipa y dentro del área de estudio se encuentran corrientes intermitentes las cañas y arroyo el capulín.

De acuerdo al conjunto de datos vectoriales de perfiles de suelo proporcionados por el INEGI en su carta edafológica escala 1:1 000 000, el tipo de suelo en el área de estudio corresponde a Luvisol órtico y Luvisol crómico, con una textura fina de color pardo y con alta capacidad para proporcionar nutrientes a las plantas, además de contar con una

acumulación de arcilla importante, este tipo de suelo está representado por el símbolo $Lo+Lc/3$; en México 4 de cada 100 hectáreas de suelo corresponden a Luvisoles.

3.2.2. Vegetación y uso de suelo

De acuerdo a Zamora-Crescencio y Avendaño-Reyes (1998) gran parte de la superficie del municipio de Yecuatla se encontraba cubierta por vegetación de bosque tropical subcaducifolio y, a pesar de la disminución de la cobertura en la región, en el área de estudio se pueden observar remanentes de bosque tropical subcaducifolio al observarse especies vegetales características tales como *Cymbopetalum baillonii* R.E.Fr., *Perrottetia longistylis* Rose, *Licaria capitata* (Cham. & Schltdl.) Kosterm, *Quararibea funebris* (Llave) Vischer, *Sapindus saponaria* L. y *Urera caracasana* (Jacq.) Griseb identificadas al sur del Arroyo de las Cañas, especialmente en zonas cercanas a cuerpos de agua y que son de difícil acceso a los habitantes, uno de los posibles motivos de su conservación (figura 7).

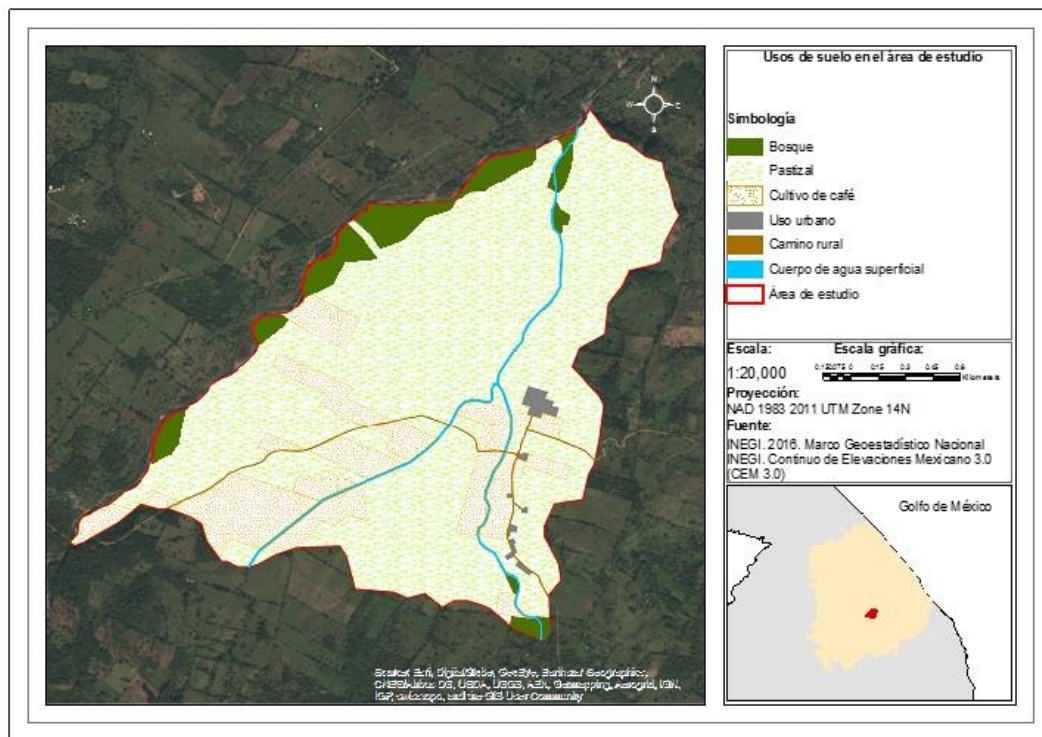


Figura 7 Usos de suelo en el área de estudio

Además, lo anterior concuerda con lo descrito por Gómez-Pompa (1966) en un estudio florístico de la región de Misantla, en el cuál se determinó que en el municipio de Yecuatla se encuentran remanentes de bosque tropical subcaducifolio distribuyéndose entre los 400-850 msnm. Gómez-Pompa (1966) denominó a esta comunidad vegetal como “selva de lauraceas” debido a el predominio de los elementos florísticos de la familia *Lauraceae*

como *Cinnamomu effusum* (meisn.), *Persea schiedeana* Nees y *Licaria capitata* (Cham. & Schltdl.) Kosterm., las cuales también fueron identificadas en el área de estudio. Por otra parte, Gutiérrez-Báez (1994) describe que el área de estudio se encuentra inmersa en una comunidad de *Cedrela odorata* (cedro) como lo muestra la figura 8. Es importante mencionar que esta comunidad se distribuye principalmente en los sistemas agroforestales de cultivo de café en el área de estudio.

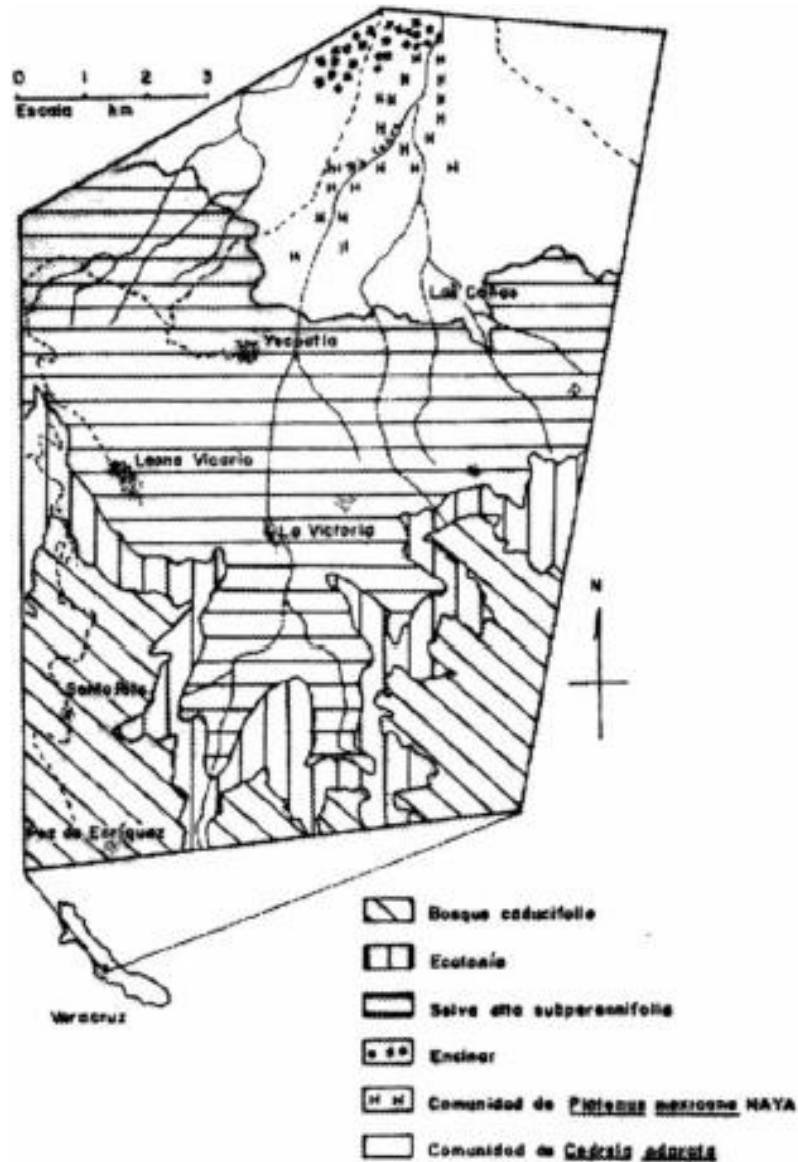


Figura 8 Vegetación original en el municipio de Yecuatla México. **Fuente:** Gutiérrez-Báez, 1994.

A lo largo del tiempo la vegetación ha sido removida casi en su totalidad para dar paso a actividades agrícolas y pecuarias; principalmente el cultivo de café y el pastoreo de ganado bovino (Anaya-Correa, 1983; Gutiérrez-Báez, 1994), lo que se observa en las grandes superficies ocupadas por pastizales en el área de estudio, las superficies ocupadas

por cada tipo de uso de suelo se presentan en la tabla 6, donde se observa que el segundo uso de suelo predominante es el cultivo de *C. arabica*.

Tabla 6 Superficies ocupadas por tipo de uso de suelo en el área de estudio

Uso de suelo	Superficie ocupada [ha]
Pastizal	335,11
Cultivo de <i>Coffea arabica</i> L.	78,08
Bosque	27,09
Uso urbano	3,25
Cuerpo de agua superficial	7,04
Caminos rurales	2,98
Total	454,55

Fuente: Elaboración propia a partir de información de uso de suelos en SIG.

3.3.3. Sistemas de cultivo de *C. arabica* L.

Los sistemas de cultivo en el área de estudio corresponden a sistemas de policultivo tradicional, donde tienen diversidad de especies leñosas para proporcionar sombra a los cultivos, parte de estas especies corresponde a especies de la vegetación original de bosque tropical subcaducifolio y otras son introducidas. Encontrar especies del género *Inga spp.* en los sistemas de cultivo hace denotar la influencia de INMECAFE en los sistemas de producción en la región (véase apéndice VI), sin embargo, no se realizó una transición total al sistema especializado conservando en gran parte la vegetación leñosa original.

En la tabla 7 se presentan las diferentes especies presentes en los sistemas agroforestales, las cuales corresponden a 12 familias diferentes representadas por 14 especies, con diferentes usos además de su proporcionar sombra a los cultivos de *C. arabica*. Entre las especies de la vegetación original que se conservan para sombra, la más frecuente en los sistemas es *Cedrela odorata* L., la cual es descrita por Gómez-Pompa (1966) como una comunidad característica del área de estudio. También es posible observar especies introducidas como *Citrus reticulata*, *Citrus sinensis*, y *Pimenta dioica* (L.) Merrill.

Tabla 7 Especies arbóreas presentes en los cultivos de *C. arabica* de las cañas

Nombre científico	Nombre común	Uso
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	mamey	Frutal
<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	Maderable
<i>Inga vera</i> Willd	Chalahuite	Construcción rural
<i>Citrus reticulata</i>	Mandarina	Frutal
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg	Mulato	Combustible
<i>Persea schiedeana</i> Nees	Chinini, pagua	Frutal
<i>Inga Paterno</i> Harms	Jinicuil	Frutal
<i>Cupania dentata</i> Moc. & Sessé ex DC.	Agua de ojo blanco, guacamayo	Construcción rural
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merril	Pimienta	Condimento
<i>Cymbopetalum baillonii</i> R.E.Fr.		
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja	Frutal
<i>Lippia aff. umbellata</i> Cav	Hierba de mula, nacare, salvia, tabaquillo, topozana	Medicinal
<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lambert	Limonaria, zorrillo	Medicinal
<i>Tapiriria mexicana</i> Marchand	Bienvenido, cacao	Comestible

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del muestreo de vegetación.

Los productores de las Cañas emplean las mismas técnicas de manejo de los cafetos, el control de arvenses se realiza generalmente de manera manual, aunque también se sabe que ocasionalmente se emplean químicos para el control de la maleza, por otra parte, la fertilización es mínima o nula en la mayoría de los predios debido a los precios del fertilizante y la falta de credibilidad que se tiene a los fertilizantes orgánicos. En cuanto al control de plagas se cuentan con trampas rústicas para controlar la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari).

3.3.4. Aspectos económicos

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la localidad de Arroyo de las Cañas registró una población de 198 habitantes en 2010; aproximadamente el 3,6% de la población total del municipio de Yecuatla (INEGI, 2010), Es importante mencionar que en el municipio de Yecuatla alrededor del 73% de la población se encuentra dispersa en comunidades de menos de 1.000 habitantes.

Esta localidad, como las demás pertenecientes al municipio de Yecuatla, es de características rurales y las actividades agropecuarias representan las principales fuentes de ingresos para los habitantes, en las Cañas se registraron en 2010 un total de 62 personas

económicamente activas, siendo las principales actividades económicas la producción de *C. arabica* y la producción de ganado bovino en pie (INEGI, 2010).

La producción de ganado se realiza a una intensidad regular registrando una densidad de 2.6 cabezas de ganado por hectárea de acuerdo a la información recabada durante las entrevistas a los productores y que fue corroborada posteriormente en campo, además, los productores afirmaron que la venta de ganado se realiza cuando el animal logra un peso de alrededor de 500 kg. En base a lo anterior, se estimó una tasa de venta de 120 kg ha⁻¹año⁻¹ para el área de estudio en base a la información relacionada a la venta anual de ganado en pie proporcionada por los productores. Para determinar el ingreso generado por la venta de ganado en pie se consideró un precio de US\$ 1,73 por kg de ganado bovino en pie de acuerdo a la información de ACERCA (2016) y un tipo de cambio de US\$ 1=\$ 18,74 MXN (2/09/2016). De lo anterior se obtiene que para una hectárea de pastizal en el área de estudio se estima un valor de producción de ganado de US \$208,03 anual.

Para el cuantificar los ingresos por la producción de *Coffea* spp. se fijó el precio de venta del *C. arabica* en US\$ 0,37 por kilogramo, siendo éste un valor medio considerando en la última década los precios oscilaron entre los US\$ 0,21 y los US\$ 0,48 (información de los productores). Antes de que los rendimientos por hectárea de cultivo de *Coffea* los ingresos que representaban los sistemas agroforestales por la venta de *C. arábica*, se estiman en US\$ 840,13 considerando un rendimiento de café por hectárea de aproximadamente 9 quintales de café (2250 kg) siendo éste un rendimiento medio que reportaron los productores antes de ser afectados por la roya, cabe mencionar, que éste valor de rendimiento es alto en el estado de Veracruz para este tipo de sistemas de cultivo de acuerdo a lo reportado por Escamilla *et al.* (1993).

Actualmente los ingresos anuales por venta de *C. arabica* se estiman en US\$186,70. La infestación de los cultivos con la roya en el área de estudio ha ocasionado un decremento de la productividad de grano llegando a cosechar en la campaña 2015 un promedio de 2 quintales por hectárea (500 kg ha⁻¹). En la figura 9 se muestran los ingresos económicos estimados para el área de estudio por la venta de ganado bovino y *C. arabica*, e la cual se observa que los ingresos actuales han disminuido en un 37% en relación a los ingresos que se percibían antes de la infestación de los cultivos con *Hemileia vastatrix*.

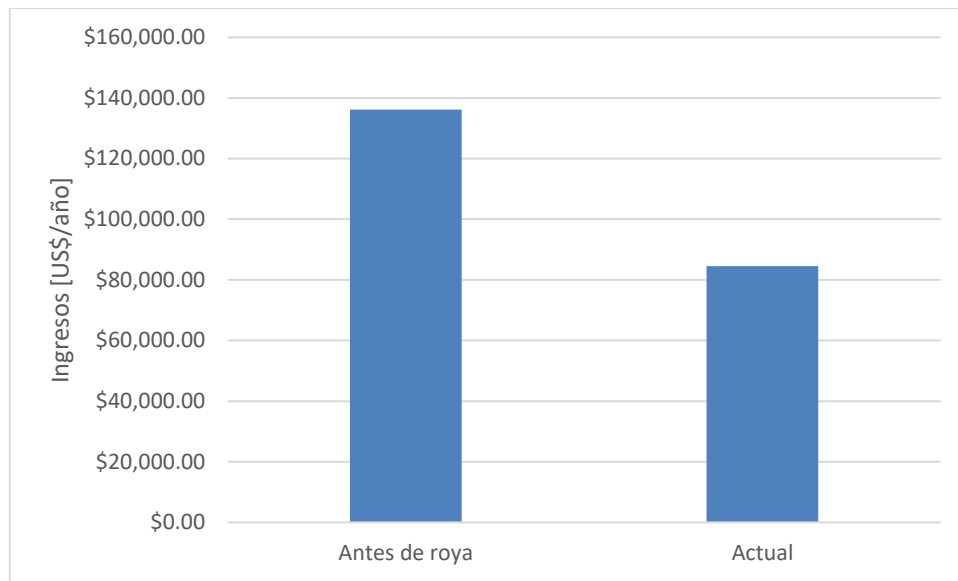


Figura 9 Ingresos económicos anuales por venta de por la venta de ganado bovino y *C. arabica* en el área de estudio

3.3 Análisis de la problemática

A pesar de no cumplir con una altura óptima para el cultivo de *C. arabica*, el área de estudio guarda una larga tradición cafetalera, siendo desde la década de 1940 una de las principales actividades económicas, sin embargo, debido a la crisis cafetalera que se vive en México desde principios de la década de los 90's, la ganadería ha ido ganando terreno frente al cultivo de café (MacKay, 1999; Ramírez-Lavoignet, 1985).

Además, la economía del café tiene un gran efecto en la migración en las cañas, en la década de 1990 la población comienza a migrar a Estados Unidos motivados por la difícil situación económica que se vive en aquel entonces; situación provocada principalmente por la caída en el precio del café (Vázquez-Aragón, 2016).

De acuerdo a datos del Censo de Población y vivienda en el año 2000 se alcanzó el máximo porcentaje de hogares con migrantes en Estados Unidos en Yecuatla (22.16%), siendo el Arroyo de las cañas una de las principales localidades dentro del municipio que presenciaron este fenómeno. Años más tarde debido a la disminución de oportunidades de trabajo y las políticas anti-inmigración, entre otros motivos, la tasa de retorno de migrantes ha aumentado y los migrantes tienen dificultades para su reinserción laboral al retorno a sus hogares (Vázquez-Aragón, 2016).

La roya del café o *Hemileia vastatrix* por su nombre científico, es una plaga que se aloja en las hojas de del café y es un hongo exclusivo del café. Esta plaga llega a américa en 1970 y en 1981 llega a México ingresando a través de Chiapas, desde la entrada de la

roya al continente americano ha sido un verdadero reto para su control (Hernández-Martínez y Velázquez-Premio, 2016). En el área de estudio los cultivos de *C. arabica* han tenido presencia de esta plaga en los últimos años y por tanto es una amenaza a los ingresos de los productores de café en las cañas, puesto que esta plaga ha disminuido la productividad de los cultivos. De acuerdo a la información proporcionada por los productores, debido a esta plaga el rendimiento medio de los cultivos ha pasado de 9 quintales (2.250 kg) por hectárea a 2 quintales (500 kg) por hectárea.

Los ingresos económicos han sido el principal impulsor de cambio en la transformación del paisaje en el área de estudio, donde en la década de los 80's los cultivos de café aumentaron la superficie ocupada por el alza de precios del café en aquel momento, sin embargo, para comienzos de 1990 con la desregulación del mercado del café, la superficie ocupada por los cultivos de café fue disminuyendo para dar paso a la ganadería. Actualmente con la baja productividad cultivos es muy probable que se observe una nueva transformación del paisaje afectando de los servicios ecosistémicos que estos agroecosistemas proveen.

Los sistemas agroforestales de cultivo de *Coffea* spp. tienen gran relevancia ecológica en el área de estudio, puesto que la planicie de Yecuatla es una zona que ha presentado una alta tasa de deforestación y los cultivos son parte de los remanentes de bosque que se conservan. De acuerdo a un análisis de similitud de especies arbóreas entre las especies leñosas de los cultivos y los fragmentos de bosque en el área de estudio existe una similitud del 80%. También es importante mencionar que la comunidad de *Cedrela odorata* L. reportada por Gutiérrez-Báez (1996) se encuentra presente en los cultivos y es la especie más representativa de los mismos, cabe señalar que ésta especie es de gran valor comercial lo que significa ingresos económicos a los habitantes. Para mayor información sobre la importancia de los cultivos de *Coffea arabica* del área de estudio en la conservación de la biodiversidad vegetal el véase apéndice VIII.

Los cultivos además de funcionar como relictos de vegetación proveen diversos servicios ecosistémicos que pueden verse afectados en caso de presentarse el cambio de uso de suelo de los sistemas agroforestales en el área de estudio. Entre los servicios ecosistémicos que los cultivos de *C. arabica* proveen se encuentran la regulación de la calidad y cantidad de los flujos de agua a nivel cuenca, prevención de la erosión y pérdida del suelo, mejora de la fertilidad del suelo y además son reservorios de carbono (Ávalos-

Sartorio, 2002; Moguel y Toledo, 1999; Perfecto *et al.*, 2005). Para mayor información sobre la importancia ecológica de los cultivos de *Coffea* spp. véase apéndice VII.

Partiendo de la premisa que a nivel local los cultivos son valorados por los beneficios económicos que representan, y por tanto su conservación y provisión de los demás servicios ecosistémicos relacionados al cultivo de café dependen de los mismos, en la figura 10 se presenta un diagrama en el que se relacionan los factores que afectan la cafeticultura (impulsores de cambio indirectos) y por ende propician el cambio de uso de suelo de los sistemas agroforestales (impulsores de cambio directos). En este diagrama se han considerado aquellos servicios ecosistémicos de influencia a nivel local a excepción de la regulación de gases de efecto invernadero (beneficios globales), esto debido a que al realizar la valoración económica de dicho servicio pasa a ser un beneficio económico para los productores del área de estudio.

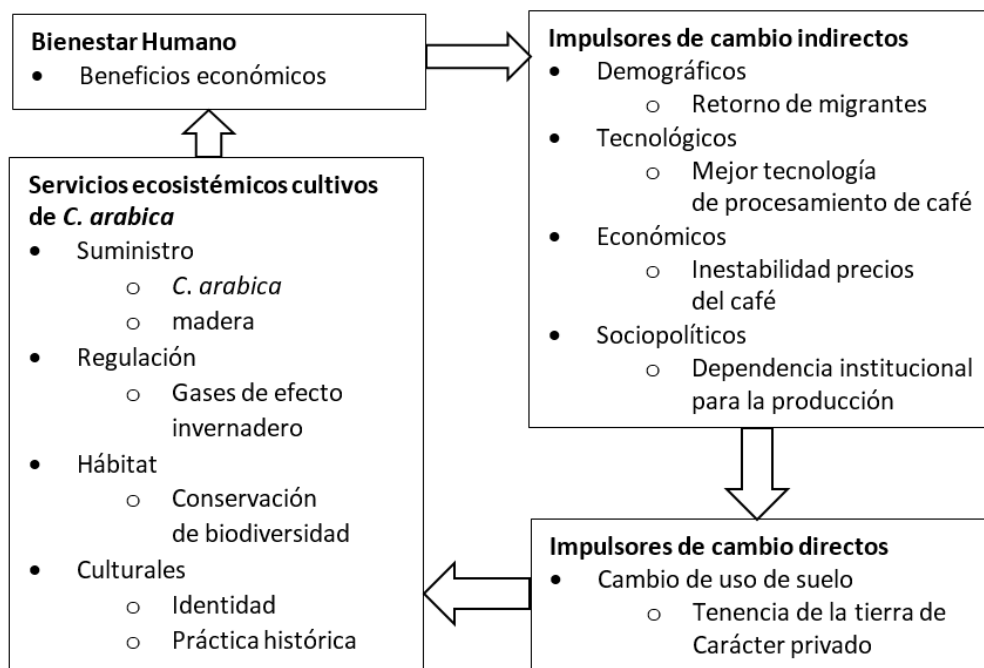


Figura 10 Problemática en el área de estudio

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

4.1. Obtención de datos

Los datos se obtuvieron mediante entrevistas directas a los productores, así como pláticas espontáneas con los habitantes, por otra parte, se diseñó un muestreo de vegetación a fin de recabar mediciones dasométricas, así como de establecer los tipos de vegetación presente en el área de estudio y conocer la diversidad de especies arbóreas presente en los cultivos de *Coffea arabica* L. los datos recabados durante el muestreo de vegetación se presentan en el apéndice X.

4.1.1. Muestreo de vegetación

La caracterización botánica se realizó mediante la identificación en campo de las especies arbóreas con la ayuda de manuales de campo y la colecta botánica para su posterior identificación ya sea por los habitantes de la zona o en el herbario XAL (Instituto de Ecología A.C., Xalapa Ver.) y XALU (Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver.). Se realizaron dos metodologías, una basada en transectos para identificar la vegetación fuera de los cultivos de café y una mediante parcelas de muestreo en los cultivos de café.

Se realizó un muestreo de vegetación analizando la composición y frecuencia del estrato arbóreo de cuatro cultivos de café en la congregación de arroyo de las cañas de acuerdo a las metodologías propuestas por Rocha-Loredo *et. al.*, (2010) y una modificación de la propuesta por Pérez-Ferrara *et al.* (2011). El muestreo se llevó a cabo del 16 al 18 de febrero del 2016 en la temporada de secas en cuatro parcelas cultivadas con café de sombra. Para cada cultivo se estableció una unidad de muestreo circular de 17 metros de radio (0.1 ha) dentro de la cual se registró toda especie arbórea, su diámetro a la altura de pecho y altura del tronco (sólo para aquellos individuos con DAP \geq 10 cm de diámetro), las unidades de muestreo se pueden observar en la figura 10 y su georreferenciación se presenta en la tabla 8. Se procuró situar la unidad de muestreo en la porción del cultivo donde tuviese mayor representatividad de las características totales del cultivo. Los datos recabados durante el muestro de vegetación se presentan en el apéndice X.

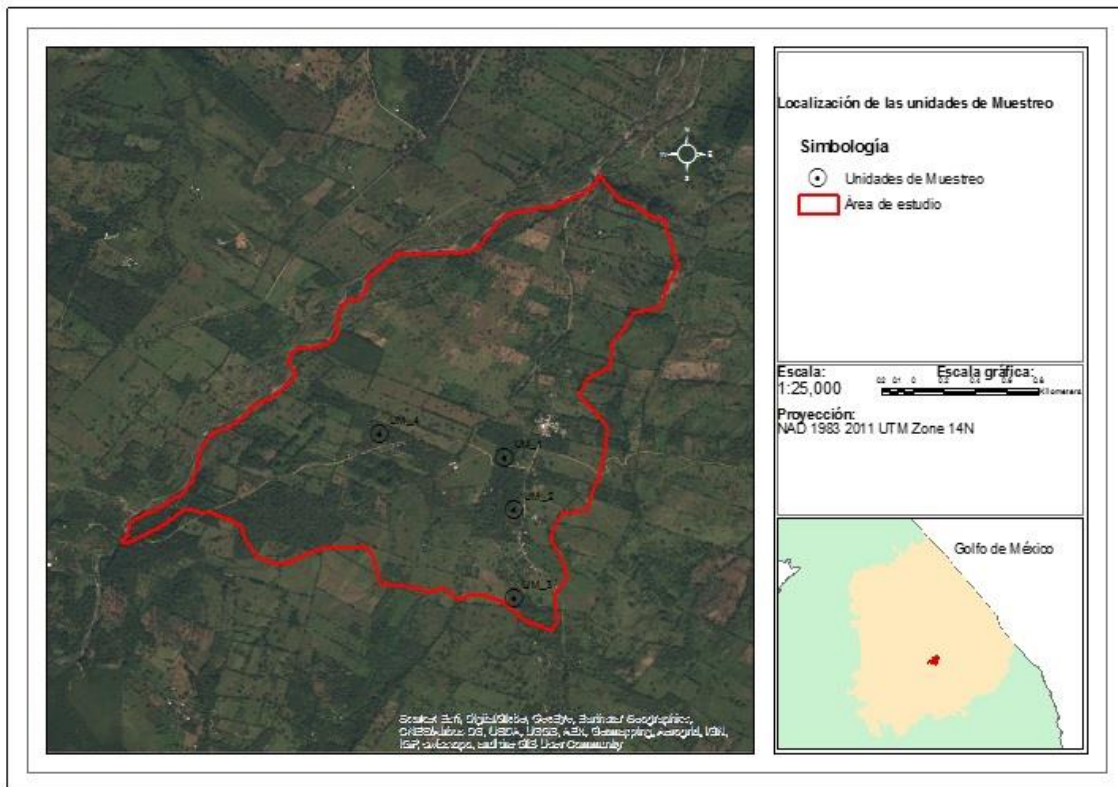


Figura 11 Localización de las unidades de muestreo

Tabla 8 Georreferenciación de las unidades de muestreo en coordenadas UTM

	Zona	X	Y
UM 1	14Q	736040,0	2199260,7
UM 2	14Q	736107,4	2198933,0
UM 3	14Q	736107,1	2198933,0
UM 4	14Q	735293,0	2199401,0

Fuente: Datos obtenidos en campo mediante GPS - Garmin

4.2. Estimación del volumen de madera

La información para la estimación del volumen de madera se obtuvo a partir del muestreo de vegetación (apéndice XI), donde se recopilaron mediciones de variables dasométricas de las especies presentes en los cultivos de *C. arabica*, creando una primera matriz relacionando las especies forestales con su respectivo diámetro a 1.30m y altura total, toda ésta información fue capturada en un formato diseño para la toma de datos en campo.

Diversos autores emplean un modelo para calcular el volumen de madera de una especie forestal considerando sólo el área basal y altura total de la especie forestal (Arteaga-Martínez e Izaguirre-Rangel, 2004; Mostacedo y Fredericksen, 2000), en este trabajo se considerará además el factor de forma de acuerdo a las recomendaciones de García-Valencia (2011).

Una vez obtenidos los datos en campo se estimó el volumen de madera por especie forestal mediante un modelo que contempla el área basal y el coeficiente de forma del árbol. Para determinar el área basal se empleó la siguiente fórmula:

$$AB = (\pi * D^2) / 4$$

Donde:

AB = Área Basal

$$\pi = 3.1416$$

D = Diámetro Normal

Obtenidas las variables altura total y diámetro normal, se procedió a estimar el volumen de cada uno de los árboles inventariados, mediante la siguiente ecuación:

$$V = (\pi * D^2) / 4 * H * CF$$

Donde:

V = Volumen

$$\pi = 3.1416$$

D = Diámetro Normal

H = Altura

C.F. = Coeficiente de Forma

El coeficiente de forma es un factor de reducción empleado en la cubicación de la madera de un árbol, se emplea debido a que el árbol no tiene la forma de un cilindro y por tanto su volumen siempre es menor al de un cilindro, cada especie tiene su propio valor de factor de forma característico. En este trabajo los factores de forma empleados para la estimación del volumen de madera fueron obtenidos de datos bibliográficos estableciendo un coeficiente de forma de 0.28 para el género *Inga* spp. (Arteaga-Martínez, 2008), 0.3601 para *Cedrela odorata* L. (Tlaxcala-Méndez, 2015), 0.35 para *Bursera simaruba* (L.) Sarg (Arteaga- Martínez, 2008) y para el resto de las especies se empleó un coeficiente de 0.5 de acuerdo a la recomendación de García-Valencia (2011).

4.3. Cuantificación del carbono almacenado y estimación de la tasa de fijación

Se realizó una estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea presente en los cultivos de *Coffea arabica* L. de acuerdo a la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 1994) a un nivel 2, empleando información específica del área de estudio (medidas dasométricas) e información bibliográfica para la realización de la estimación de carbono.

El análisis se realizó a nivel unidad de muestreo para posteriormente realizar un resultado ponderado empleado para el análisis de resultados a nivel área de estudio, es importante mencionar que en el análisis se deja de lado el carbono almacenado en el suelo, considerando los resultados de Maximiliano-Cordova (2013), en los cuales se reportó que no hay una diferencia significativa en los reservorios de carbón en el suelo al comparar cultivos de *Coffea arabica*, fragmentos de Bosque Mesófilo de Montaña y terrenos destinados al pastoreo de ganado bovino.

Para el cálculo se parte de los resultados de la estimación de madera disponible por hectárea y las densidades de la madera por especie (tabla 9) para tener una primera aproximación de la biomasa presente, además, se consideró un factor de expansión de 1.3 para obtener la biomasa del árbol considerando las raíces del mismo. Finalmente se empleó un valor de 0.45 como fracción de carbono para todas las especies de acuerdo a lo recomendado por el IPCC (1994).

$$C_{\text{almacenado}} = V \times \rho \times Bs \times F.C.$$

Donde:

V = Volumen de madera [m³/Ha]

P = Densidad de la madera por especie [t/m³]

Bs = Factor de expansión

F.C. = Fracción de carbono [tC/t]

Tabla 9 Densidades de la madera consideradas en los cálculos

Especie forestal	Densidad	Fuente
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg	0.32	Ficha técnica CONABIO
<i>Cedrela odorata</i> L.	0.34	Gutiérrez-Vázquez <i>et al.</i> , 2012
<i>Citrus reticulata</i>	0.60	Ordoñez-Díaz, 2015
<i>Cymbopetalum baillonii</i> R.E.Fr.	0.60	Ordoñez-Díaz, 2015
<i>Cupania dentata</i> Moc. & Sessé ex DC.	0.38	Sotomayor-Castellanos, 2008
<i>Inga Paterno</i> Harms	0.49	Medina-Benavides <i>et al.</i> , 2009
<i>Inga vera</i> Willd	0.49	Medina-Benavides <i>et al.</i> , 2009
<i>Lippia aff. umbellata</i> Cav	0.60	Ordoñez-Díaz, 2015
<i>Persea schiedeana</i> Nees	0.60	Ordoñez-Díaz, 2015
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill	0.60	Ordoñez-Díaz, 2015
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	0.81	Sotomayor-Castellanos, 2008
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill	0.60	Ordoñez-Díaz, 2015
<i>Tapiriria mexicana</i> Marchand	0.60	Ordoñez-Díaz, 2015
<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lambert	0.97	Sotomayor-Castellanos, 2008

La estimación de la tasa de fijación o secuestro de carbono anual, se realizó considerando las edades de las especies forestales (Ávila *et al.*, 2001; Frago, 2003). Esta información fue obtenida en base a las pláticas con los productores y datos bibliográficos donde se relaciona la edad de la especie forestal con sus medidas dasométricas, las fuentes bibliográficas consultadas se presentan en la tabla 10.

Tabla 10 Fuentes de información para la estimación de la edad del árbol por especie

Especie forestal	Fuente
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg	Noguera, 2002
<i>Cedrela odorata</i> L. (dap>50cm)	Escalante y Aroche, 2000
<i>Cedrela odorata</i> L. (dap<50cm)	Brienen y Zuidema, 2003
<i>Citrus reticulata</i>	Lugareños
<i>Cymbopetalum baillonii</i> R.E.Fr.	Ficha técnica CONABIO
<i>Cupania dentata</i> Moc. & Sessé ex DC.	Ficha técnica CONABIO
<i>Inga Paterno</i> Harms	Ficha técnica CONABIO
<i>Inga vera</i> Willd	Ficha técnica CONABIO
<i>Lippia aff. umbellata</i> Cav	Ficha técnica CONABIO
<i>Persea schiedeana</i> Nees	Ficha técnica CONABIO
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill	Lugareños
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	Escalante y Aroche, 2000
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill	Lugareños
<i>Tapiriria mexicana</i> Marchand	Escalante y Aroche, 2000
<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lambert	Escalante y Aroche, 2000

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1 Producción de madera

Los resultados de la estimación de volumen de madera presentes por hectárea de cultivo de *C. arabica* L. en el área de estudio se muestran en la tabla 11, donde, *Cedrela odorata* L. (única especie de valor comercial) es la especie forestal que cuantifica un mayor volumen de madera con 533,21 m³ ha⁻¹, seguido de *Bursera simaruba* (L.) Sarg, (120,86 m³ ha⁻¹) e *Inga vera* Willd (94,76 m³ ha⁻¹). El estrato arbóreo en los cultivos de *C. arabica* L. representa un total de 844,24 m³ ha⁻¹ de madera, de los cuales alrededor del 88% se concentra en las especies antes mencionadas.

Tabla 11 Madera por especie presente en los cultivos de *c. arabica* del área de estudio

Especie	Volumen [m ³ ha ⁻¹]	Uso
<i>Cedrela odorata</i> L.	533,21	Maderable
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg	120,86	Combustible, construcción rural
<i>Inga vera</i> Willd	94,76	Combustible, construcción rural
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	21,25	Comestible
<i>Inga Paterno</i> Harms	19,21	Combustible
<i>Persea schiedeana</i> Nees	17,42	Comestible
<i>Tapiriria mexicana</i> Marchand	11,26	Comestible
<i>Cupania dentata</i> Moc. & Sessé ex DC.	7,91	Construcción rural
<i>Citrus sinesis</i>	5,46	Comestible
<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lambert	4,60	Medicinal
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merril	3,95	Comestible
<i>Citrus reticulata</i>	1,80	Comestible
<i>Cymbopetalum baillonii</i> R.E.Fr.	1,74	Comestible
<i>Lippia aff. umbellata</i> Cav	0,74	Medicinal

En la figura 12, se muestra una representación de los resultados de la madera contenida en el estrato arbóreo por unidad de muestreo. El mayor almacenamiento de biomasa aérea se encuentra en la UM 1 (1376,80 m³ ha⁻¹), seguido de UM 4 (832,46 m³ ha⁻¹), UM2 (684,77 m³ ha⁻¹) y finalmente UM 3 (482,94 m³ ha⁻¹). También es importante mencionar que se observó una relación proporcional entre la riqueza de especies arbóreas y la cantidad de madera presente por unidad de muestreo.

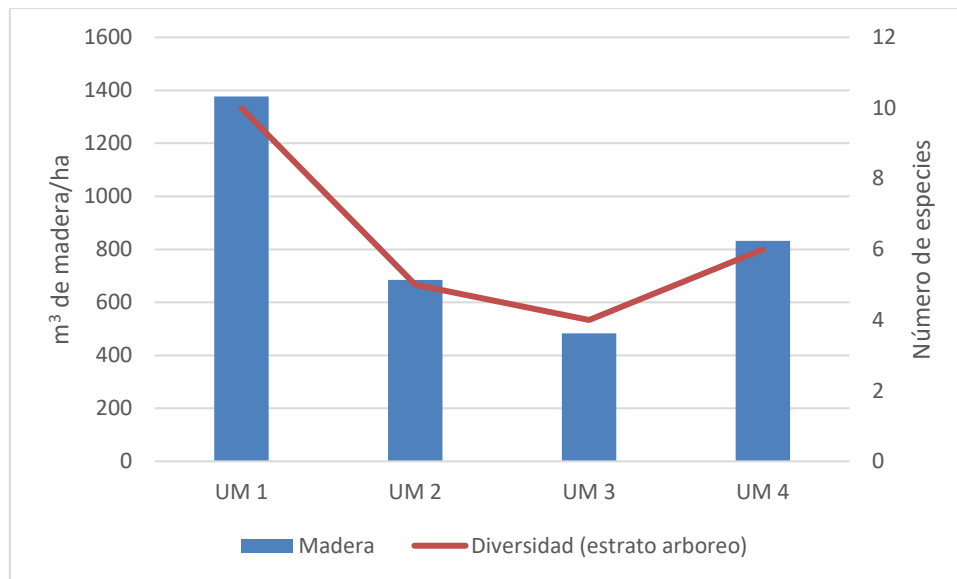


Figura 12 Madera y especies arbóreas presentes por unidad de muestreo

Otro aspecto a mencionar es la utilidad que se da a la madera en la localidad (tabla 11), de acuerdo a los dueños de los terrenos forestales los principales usos de la biomasa forestal es la obtención de “leña” y madera para construcción rural, además destacaron que la madera de *Cedrela odorata* L. es muy apreciada en la región y su valor de acuerdo a los pobladores se estima en US\$64,00 aproximadamente. La venta de Cedro no es considerada una práctica comercial recurrente y se realiza generalmente en momentos de necesidad económica, puesto que la principal función de esta especie forestal es la provisión de sombra a los cultivos de *Coffea*.

5.2 Almacenamiento de carbono

La unidad de muestreo que almacenó más carbono fue UM 1 con un total de 299,88 tC ha⁻¹, la de menor almacenamiento fue UM 3 con 122,79 tC ha⁻¹. El carbono almacenado por hectárea en los cultivos de *C. arabica* en el área de estudio corresponde a 188,57 tC ha⁻¹ (tabla 12). Los cultivos de *C. arabica* presentan un alto almacenamiento de carbono en la biomasa aérea comparando con otros estudios realizados en la región central de Veracruz, por una parte, Soto-Pinto *et al.* (2010) reportaron un almacenamiento de 39,4 tC ha⁻¹ para un policultivo tradicional, por otra parte, para el mismo sistema de cultivo Masuara *et al.* (2015) reportaron un total de 20,9 tC ha⁻¹ mientras que Dávalos-Sotelo *et al.* (2008) reportó 42,4 tC ha⁻¹ también para la zona central de Veracruz. Un resultado similar al encontrado en el presente trabajo, es el de Espinoza-Domínguez *et al.* (2012) que establecen un almacenamiento de carbono para los sistemas de policultivo comercial en asociación *Coffea arabica* L. – *Cedrela odorata* L de 114 tC ha⁻¹. Es importante mencionar que los estudios anteriormente citados se han realizado en sistemas cultivos

de café en sistemas de policultivo tradicional donde la vegetación original era Bosque Mesófilo de Montaña, no existen estudios en el estado de Veracruz donde se hable del almacenamiento de carbono en cultivos de Café donde la vegetación original es Bosque Tropical Subcaducifolio.

Tabla 12 Carbono almacenado por unidad de muestreo y a nivel área de estudio

	C almacenado [tC ha ⁻¹]
UM 1	299,88
UM 2	150,55
UM 3	122,79
UM 4	181,06
Área de estudio	188,57

El hecho de que los cultivos de *Coffea arabica* en el área de estudio sean un gran stock de carbono se explica por las edades de las especies forestales presentes, puesto que las medidas dasométricas (volumen) reflejan la longevidad de las especies arbóreas. Como se ha mencionado con anterioridad, el sistema de cultivo empleado en la localidad corresponde a policultivo tradicional, en el cual se conservan en medida de los posible las especies forestales del ecosistema original, donde se encontró que la edad promedio de los árboles en el área de estudio es de 72 años, variando en un rango entre los 10 a los 300 años (véase apéndice XII). La diferencia en los resultados con otros estudios, puede deberse a que generalmente los estudios de almacenamiento de carbono en cultivos de café se realizan en sistemas donde las edades de las especies forestales oscilan entre los 10 a los 25 años (Ávila *et al.*, 2001; Medina-Benavides *et al.*, 2009 Suarez, 2000).

Al comparar con sistemas naturales, Puc-Kauil (2014) reportó que en los bosques tropicales en Quintana Roo México; con una edad de las especies leñosas de 80 años, se encuentra almacenado un promedio de 89,57 tC ha⁻¹, cifra aún por debajo de lo que se encuentra almacenado en los cultivos del área de estudio. Para la región central del Estado de Veracruz sólo se encontró el reporte de Masuara *et al.* (2015) en el cual se estima un almacenamiento de carbono de 293,9 tC ha⁻¹ para vegetación de Bosque Mesófilo de Montaña. Es importante mencionar, que el bosque Mesófilo de montaña es un ecosistema natural es uno de los ecosistemas naturales con mayor diversidad en México, por ser un ecotono que marca la transición entre los bosques tropicales y los bosques templados.

La tasa de fijación de carbono en los cultivos en Arroyo de las Cañas se estimó en 2,36 tC ha⁻¹año⁻¹ (tabla 13), valor que se encuentra ligeramente por encima de lo reportado por

Ávila *et al.* (2001) para un sistema agroforestal de características similares (0,4-2,2 tC ha⁻¹ año⁻¹). Por otra parte, el potencial de captura de carbono en el área de estudio se asemeja a lo reportado por Puc-Kauil (2014), que estima una tasa de almacenamiento de carbono en un rango entre 1,12 y 3,37 tC ha⁻¹ año⁻¹ para vegetación de Bosque tropical en el sur de México.

Tabla 13 Tasa de fijación de carbono anual por unidad de muestreo y en el área de estudio

Tasa de fijación de C [tC ha ⁻¹ /año]	
UM 1	3,77
UM 2	1,98
UM 3	1,56
UM 4	2,14
Área de estudio	2,36

5.3 Valoración económica de la captura y almacenamiento de carbono

Actualmente, el servicio por almacenamiento de carbono no es de importancia a nivel local, puesto que los productores no muestran interés es cuestiones relacionadas con el cambio climático y sus impactos y no se obtienen beneficios económicos por el carbono almacenado, sin embargo, a nivel global existe un consenso científico y concientización en parte importante de la población relacionada a la necesidad de aplicación de medidas relacionadas a mitigar los efectos adversos del cambio climático, a lo cual se ha creado un mercado para el secuestro de carbono (Ramírez-Gómez, 1999).

Medina-Benavides (2009) menciona que el valor económico del carbón almacenado oscila entre los US\$ 1,53 hasta US\$ 31 por tonelada de carbono. La valoración económica del carbono almacenado en el área de estudio se realizó de manera directa mediante calores de mercado, se consideró un valor medio de US\$ 10 tC utilizado en proyectos internacionales (Ávila *et al.*, 2001). El contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea en los sistemas agroforestales del área de estudio representa 188,57 tC ha⁻¹ por tanto el valor del servicio de almacenamiento de carbono se cuantifica en US\$ 1.885,70 ha⁻¹. En la totalidad del área de estudio (79,08 ha de SAF) el valor del servicio de almacenamiento de carbono se cuantifica en US\$ 149.121,75. Por otra parte se encuentra la fijación anual de carbono, la cual para el área de estudio se cuantifico en 2,36 tC año⁻¹, a lo cual el servicio de fijación de carbono se estima en US\$ 23,66 ha⁻¹ año⁻¹.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

El objeto del presente capítulo es determinar si la valoración económica del servicio ecosistémicos por captura y almacenamiento de carbono en los cultivos de *Coffea arabica* del área de estudio ofrecen una compensación económica suficientemente atractiva para que los productores conserven los cultivos de *C. arabica* y por ende se mantenga el flujo de servicios ecosistémicos que éstos generan. La memoria de cálculo se presenta en el apéndice XII.

La matriz del paisaje en la cual se encuentran los cultivos han proporcionado durante años protección de forma natural ante las plagas (véase apéndice II), sin embargo, la falta de regulación de plagas en los últimos años ha ocasionado pérdidas económicas que de acuerdo a lo descrito en el apartado 3.3.4., para la campaña 2015 dichas pérdidas se cuantifican en US\$ 51.673,87 respecto a los ingresos promedio del área de estudio.

Debido a la reducción de ingresos económicos en el área de estudio, se espera que los habitantes de la localidad de Arroyo de las Cañas realicen una transformación gradual de los sistemas agroforestales a sistemas de producción de ganado. Conforme a las prácticas de manejo observadas en los productores, se espera que el cambio de uso de suelo se realice de forma gradual, desmontando sólo la superficie necesaria para compensar las pérdidas ocasionadas por *H. vastatrix* Bereley & Broome (roya del café). Por tanto, la deforestación se encuentra en función de las ganancias que representa la venta de *C. odorata*.

En las 79,08 hectáreas de cultivo de *C. arabica* presentes en el área de estudio, se encuentra un total de 42.166,24 m³ de madera de *Cedrela odorata* L. lo que representa un valor de US\$ 2.699.071,65. Como se mencionó anteriormente, se espera que el cambio de uso de suelo sea gradual y por tanto la venta de madera de cedro. Considerando que los productores tienen un potencial ingreso por venta de cedro de US\$ 34.130,90 por hectárea de cultivo de café, se espera una tasa anual de deforestación de aproximadamente 1,5 ha de cultivo de *C. arabica*. Como se observa en la figura 13, de continuar bajo las mismas condiciones de mercado y producción de café, se espera que los cultivos desaparezcan en alrededor de 50 años.

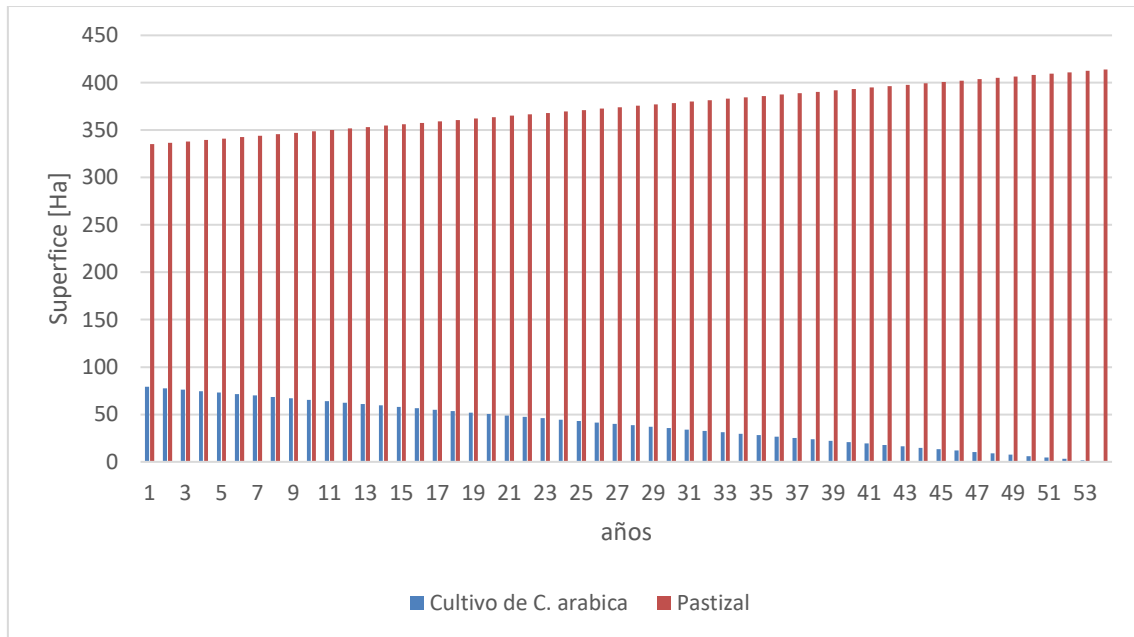


Figura 13 Variación de las superficies de pastizal y cultivos considerando las actuales condiciones de producción y mercado.

Actualmente, el pago de servicios ambientales como mecanismo de conservación es aplicado en sistemas de cultivo de café en países como Colombia y Costa Rica. En México, el programa de pago de servicios ambientales no se encuentra en operación para sistemas agroforestales. Durante los años de operación del programa de PSA en sistemas agroforestales se otorgaron incentivos económicos promedio de US\$ 23,09 por hectárea al año, valor similar al del servicio de fijación de carbono en el área de estudio (US\$ 23,66).

En la figura 14 se muestran los ingresos esperados en tres posibles escenarios bajo las condiciones actuales de mercado y producción de café, uno en el cual se lleva a cabo la deforestación gradual de los sistemas agroforestales, otro en el cual se otorgan incentivos a los productores por el almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales y finalmente el escenario de la inacción; cabe mencionar que en estos escenarios no se consideró la volatilidad del precio de café. Se observa que la valorización del carbono como incentivo para la conservación de los cultivos muestra ser una opción de manejo que mejora los ingresos percibidos ante las condiciones actuales de producción y por tanto es un escenario más probable que la inacción. Sin embargo, al considerar los ingresos acumulados a través del tiempo a partir del año 3 la deforestación muestra ser una opción de manejo que brinda mayores ingresos económicos en el área de estudio, esto es debido

a que en los primeros dos años las pérdidas se amortizan por la venta del carbono almacenado cuyo valor asciende a los US \$149.121,16.

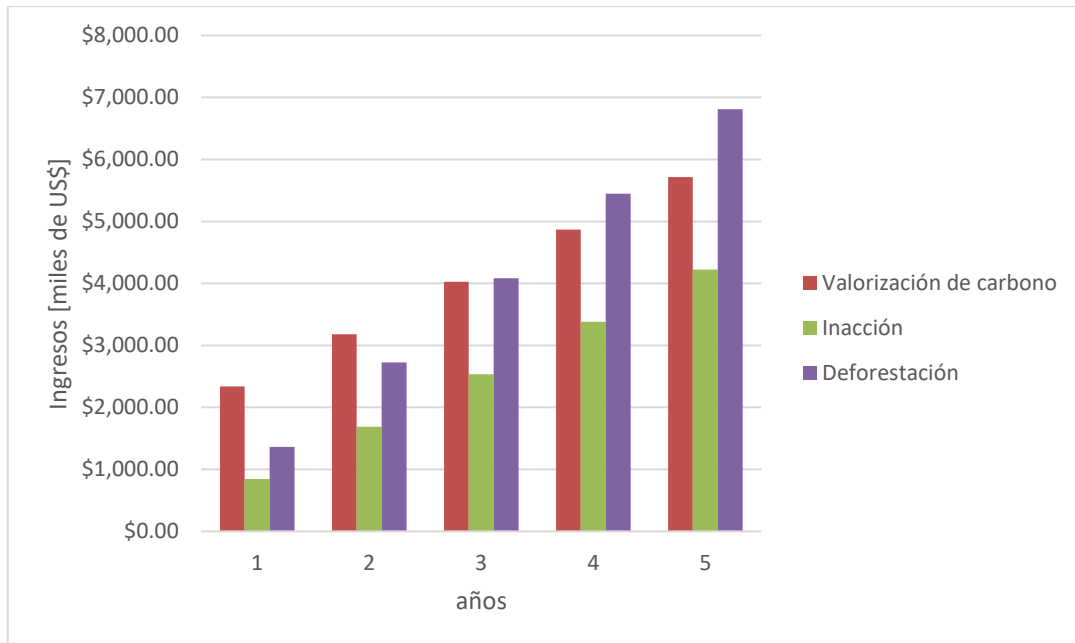


Figura 14 Ingresos acumulados para tres opciones de manejo de los cultivos de *C. arabica* en el área de estudio

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas agroforestales de cultivo de *Coffea arabica* en la localidad de Arroyo de las Cañas, tienen importancia en la conservación la vegetación original de bosque tropical caducifolio a nivel paisaje, además, de conservar gran número de individuos de una comunidad de *Cedrela odorata* que predominó en la región.

El valor del servicio de regulación de plagas que proporcionan los ecosistemas aledaños a los cultivos de *Coffea arabica* en el área de estudio tiene un valor de US\$ 51.673,87 anuales, esto considerando las pérdidas económicas cuantificadas para la campaña de cosecha de *C. arabica* en 2015.

De continuar con las condiciones actuales de productividad y precio del café, el escenario más probable es el cambio de uso de suelo para dar paso a la ganadería, siendo ésta una transformación gradual a una tasa de deforestación aproximada de 1,5 hectáreas por año.

Los estímulos económicos por captura de carbono no son suficientes para compensar las pérdidas económicas por bajos rendimiento de producción. Y por tanto si se quieren preservar los servicios ecosistémicos que los sistemas agroforestales proveen se deben aumentar el valor de los incentivos económicos para que los productores no opten por la deforestación de sus terrenos.

Éste estudio se realizó de forma muy puntual para analizar el efecto de la valorización del almacenamiento de carbono en los cultivos de café a nivel localidad, sin embargo, valdría la pena analizar a una escala mayor (nivel cuenca) el impacto de la valorización económica del carbono y de igual manera se podrían integrar la cuantificación de más servicios ecosistémicos; como la capacidad de infiltración o la pérdida de suelo por erosión hídrica, de esta forma obtener un escenario más claro de los costes que puede representar la pérdida de los sistemas agroforestales.

Se recomienda emplear el análisis de los servicios ecosistémicos por parte de las autoridades mexicanas como una herramienta para el diseño de las políticas encaminadas a fomentar la producción de café.

CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht A. & Kandji S.T. (2003) Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99:15-27.
- Altamirano B., J.L. 1998 Evaluación integral del sistema policultivo café-plátano-macadamia en el Municipio de Chocamán, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. México.136 p.
- Altieri M.A. (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74:19-31.
- Anaya-Correa A. 1983. Situación agropecuaria del municipio de Yecuatla, Veracruz. Tesis de licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana. Veracruz, 60 pp.
- Arteaga-Martínez B., Izaguirre-Rangel C. (2004). Comportamiento de especies tropicales bajo tres sistemas de plantación. *Foresta Veracruzana*, 45-51.
- Ávalos-Sartorio B. (2002) Los cafetales de sombra como proveedores de servicios ambientales. *Ciencias y Mar*, 6(17):17-22.
- Ávila G., Jimenez F., Beer J., Gómez M., Ibrahim M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 8:32-35.
- Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D. and Schmid, B. 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9(10): 1146–1156.
- Beaucage, P., Cruz-Ramírez, S., López-Cruz, C. (1999) “Sistemas de producción, clases sociales, indígenas y medio ambiente en la cafecultura de México” en: Rodríguez, Hipólito y José María Gutiérrez (Coords.), 1999, El Jarocho Verde. Red de información y acción ambiental de Veracruz. Verano. No. 11.
- Baylis, K., Feather, P., Padgitt, M., Sandretto, C., 2002. Water-based recreational benefits of conservation programs: the case of conservation tillage on U.S. cropland. *Review of Agricultural Economics* 24, 384–393.
- Beer J., Harvey C., Ibrahim M., Harmand J.M., Somarriba E. & Jiménez F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10:80-87.
- Bene, J.G., Beall, H.W., and Cote, A. 1977. *Trees, Food and People*. IDRC, Ottawa, Canada.
- Brey, R., Riera, P., Mogas, J., 2007. Estimation of forest values using choice modeling: An application to Spanish forests, *Ecological Economics* 64, 305-312

- Briener R.J., Zuidema P.A. (2003). Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. PROMAB / IGEMA, Informe Técnico N° 7, Riberalta, Bolivia. 33 pag
- Brouwer, R., Slangen, L., 1998. Contingent valuation of the public benefits of agricultural wildlife management: the case of Dutch peat meadow land. *European Review of Agricultural Economics* 25, 53–72.
- Boyd, J., Banzhaf, S., 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics* 63 (2–3), 616–626.
- Cannavo P., Sansoulet J., Harmand J.M., Siles P., Dreyer E., Vaast P. (2011) Agroforestry associating coffee and Inga densiflora results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140:1–13.
- Carraquiry M., Piaggio M. (2014). Valoración económica de los servicios ecosistémicos. Algunas consideraciones básicas. Caballero N., Bolaño M.T. (editores), Memoria de los foros técnicos sobre servicios ecosistémicos en Uruguay (1st ed., pp 42-47). Uruguay: Instituto Latinoamericano de Cooperación para la Agricultura (ICA).
- Colombo, S., Calatrava-Requena, J., Hanley, N., 2006. Analysing the social benefits of soil conservation measures using stated preference methods. *Ecological Economics* 58 (4), 850–861.
- Combe J., Budowski G. 1979. Classification of agroforestry techniques. En De las Salas G. Ed. *Agroforestry Systems in Latin America*. Turrialba, Costa Rica, UNU/CATIE. pp. 17-47.
- Constanza, R. et al. 1997. “The value of the world’s ecosystem services and natural capital”, *Nature*, Vol 387, pp. 253-260.
- Dale V.H., Polasky S. (2007) Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics*, 64:286-296.
- Daily, G., (ed.). 1997. *Nature’s Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington: Island Press.
- Daily G., Polasky S., Goldstein J., Kareiva P.M., Mooney H.A., Pejchar L., Ricketts T.H., Salzman J., Shallenberger. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Front Ecol Environ* 7(1): 21-28.
- De Groot, R.S., 1992. *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision-making*. Wolters Noordhoff BV, Groningen, The Netherlands.

- De Groot R. (2006). Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflict in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning* 75:175-186.
- De Jong, B., Masera, O., & Hernández, T. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. En: *Cambio Climático: Una Visión desde México*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. 1a Edición. México. 369-380pp.
- Eakin H., Tucker C., Castellanos E. (2006) Responding to the coffee crisis: a pilot study of farmers' adaptations in Mexico, Guatemala and Honduras. *The Geographical Journal*, 172, (2):156–171.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B. et al. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Front. Ecol. Environ.*, 1, 488–494.
- Escalante S. R., Aroche R. F. (2000) El sector forestal mexicano: paradojas de la explotación de un recurso natural. UNAM, Facultad de Economía, México.
- Escamilla P., E. 1993. El café cereza en México: tecnología de la producción. CIESTAAM. DCRU. CRUO. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. México 116 p.
- Escamilla P., E.; A.L. Licona, V.; S. Díaz, C.; V.H. Santoyo, C.; R. Sosa y L. Rodríguez 1994. Los sistemas de producción de café en el centro de Veracruz, México. Un análisis tecnológico. *Revista de Historia. Centro de Investigaciones Históricas. Universidad de Costa Rica, Costa Rica* 30:41-67.
- FAO. 2009 Statistics from www.faostat.fao.org, updated April 2009. Rome, Italy: FAO.
- Farber S.C., Constanza R., Wilson M.A. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics* 41:375-392.
- Farber S.C., Constanza R., Childers D.L., Erickson J., Gross K., Grove M., Hopkinson C.S., Kahn J., Pincetl S., Troy A., Warren P., Wilson M. (2006). Linking Ecology and Economics for Ecosystem Management. *BioScience* 56(2): 121-133.
- Fisher B., Turner R. K., Morling P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68:643-653.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309:570-574.

- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. and Holling, C.S. 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 557–581.
- Fonseca S.A. (2006) El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica* 80:19-31.
- Fragoso L., P. I. 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 47 p.
- Gallina S., González-Romero A., Manson R.H. (2008) Mamíferos pequeños y medianos. R.H. Manson, V. Hernández-Ortíz, S. Gallina & K. Mehlreter (editores), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (1st ed., pp161-180). México: Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- García-Franco J.G. y Toledo-Aceves T. (2008) Epífitas vasculares: bromelias y orquídeas. R.H. Manson, V. Hernández-Ortíz, S. Gallina & K. Mehlreter (editores), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (1st ed., pp 69-82). México: Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- García Valencia 2011, Estudio Técnico Justificativo para el Cambio de Uso del Suelo en Terrenos Forestales por la Construcción de la línea de Transmisión Eléctrica Lacanjá-Benemerito de las Américas, Chiapas. Universidad Autónoma Chapingo, México, 72 pp.
- Gómez-Delgado, F., Roupsard, O., le Maire, G., Taugourdeau, S., Pérez, A., van Oijen M., Vaast P., Rapidel, B., Harmand, J.M., Voltz, M., Bonnefond J.M., Imbach, P., Moussa, R. (2011). Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15:369–392.
- Gómez-Pompa A. 1966. Estudios botánicos en la región de Misantla, Veracruz. *Pub. Inst. Méx. Rec. Nat. Renov. México, D.F.*, 173pp.
- González-Romero A., Murrieta-Galindo R. (2008) Anfibios y reptiles. R.H. Manson, V. Hernández-Ortíz, S. Gallina & K. Mehlreter (editores), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (1st ed., pp135-148). México: Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Greenberg R., Bichier P., Sterling J. (1997). Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29:501-514.

- Gunderson, L. H. and Holling, C. S. 2002, *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*, Island Press, Washington, DC.
- Gutiérrez-Báez C. 1994. Plantas útiles de Yecuatla, Ver. *La ciencia y el hombre* 16: 59-75.
- Gutiérrez-Vázquez B.N, Cornejo-Oviedo E.H., Gutiérrez-Vázquez M.H, Gómez-Cárdenas M. (2012). VARIACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA DE *Cedrela odorata* L. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35:87-90.
- Hansen, L., Feather, P., Shank, D., 1999. Valuation of agriculture's multisite environmental impacts: an application to pheasant hunting. *Agricultural and Resource Economics Review* 28 (2), 199–207.
- Hernández-Castillo R.A., Nigh R. (1998). Global Processes and Local Identity among Mayan Coffee Growers in Chiapas, Mexico. *American Anthropologist* 100(1): 136-147.
- Hernández-Martínez G. y Velázquez-Premio T. (2016). Análisis integral sobre la roya del café y su control. *RINDERESU*, 1:92-99.
- Hernández-Ortiz V., Dzul-Cauich J.F. (2008) Moscas (Insecta: Diptera). R.H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina & K. Mehlreter (editores), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (1st ed., pp95-106). México: Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Hooper, D.U., Chapin, F.S., et al., 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75 (1), 3–35.
- INEGI. Balanza Comercial de Mercancías 2015.
- INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2010. Tabulados básicos
- IPCC. 1994. *The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge. 205 p.
- Jerneck A. & Olsson L. (2013) More than trees! Understanding the agroforestry adoption gap in subsistence agriculture: Insights from narrative walks in Kenia. *Journal of rural studies* 32:114-125.
- Kareiva, P; Tallis, H; Ricketts, T.H; Daily, G.C; Polasky, S. 2011. *Natural Capital Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*, Oxford University Press, USA.
- Krippner G. (1997) The politics of privatization in rural Mexico *Politics and Society* 25 4–34
- Lambin E.F. y Meyfroidt P. 2010. Land Use Transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy* 27: 108-118.
- Levin, S.A. (ed.) 2000. *Encyclopedia of Biodiversity, Five-Volume Set*, 2nd edition. Academic Press. 4666 pp.

- Licona V., A.; Escamilla P., S. Díaz C. Y J. R. Pérez P. 1995. Diversificación productiva en regiones cafetaleras de México. In: III Simposio Internacional del Café. Confederación Mexicana de Productores de Café. Xicotepec de Juárez, Pue. México. pp: 101-102.
- Lundgren, B.O. (1982) What is Agroforestry? *Agroforestry Systems* 1: 7-12.
- Lundgren, B.O. & Raintree, J.B (1982) Sustained agroforestry. In: Nestel, B. (ed.). *Agricultural Research for Development: Potentials and Challenges in Asia*, pp. 37-49. ISNAR, The Hague, The Netherlands.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment). (2003). *Ecosystem and Human Well-being; a framework for assessment*. Island press, 245 pp.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystem and Human Well-being; Synthesis*. Island Press, Washington D.C.
- MacKay, C. (1999). Dos casos de mantenimiento lingüístico en México: en totonaco y el véneto. In A. Herzfeld & Y. Lastra de Suárez, *Las Causas sociales de la desaparición y del mantenimiento de las lenguas en las naciones de América* (1st ed., pp. 77-98). Hermosillo, Sonora, México: Universidad de Sonora.
- Manson R.H., Hernández-Ortiz V., Gallina S. y Mehlreter K. (editores). 2008. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, 348 p.
- Martínez Ramos, M. 2008. Grupos funcionales, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 365-412.
- Maximiliano-Cordova C. 2013. Almacenamiento de carbono en suelos del Bosque Mesófilo de Montaña, cultivos y potreros en el centro del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Tesis de Licenciatura.
- Medina-Benavides C., Calero-González C., Hurtado H., Vivas-Soto E. (2009). CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA AEREA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) CON SOMBRA, EN LA COMARCA PALO DE SOMBRERO, JINOTEGA, NICARAGUA. *La calera*, 9:12.
- Mehlreter K. (2008) Helechos. R.H. Manson, V. Hernández-Ortíz, S. Gallina & K. Mehlreter (editores), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (1st ed., pp 83-94). México: Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Mendieta-López M. y Rocha-Molina L.R. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Universidad Nacional Agraria, 1ª Ed. Managua, Nicaragua. 115 pp.

- Mittermeier, R., Mayers, N., Thomsen, J.B., de Fonseca, G.A.B., Olivieri, S., 1998. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conserv. Biol.* 12, 516– 520.
- Moctezuma Pérez, Sergio (2008). Ambiente, cafeticultura y migración: los indígenas totonacos de Naranjales, Mecatlán, Veracruz (Tesis de Maestría). Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, México.
- Moguel, P., Toledo, V.M., 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems in Mexico. *Conserv. Biol.* 12-1, 1 – 11.
- Moonen A.C., Bàrberi P. (2008). Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127 7–21.
- Moreno-Calles A.I., Toledo V.M., Casas A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación bocultural. *Botanical Sciences* 91 (4): 375-398.
- Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.
- Nair P. K. Ramachandran (1993) An Introduction to Agroforestry. Springer; Edición: Softcover reprint of the original 1st ed. 520 pp.
- Nestel, D. (1995). Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology. *Ecological Economics* 15:165-179.
- Neupane R.P. & Thapa G.B. (2001) Impact of agroforestry intervention on soil fertility and farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84:157-167.
- Nolasco M. 1985. Café y Sociedad en México. Centro de Ecodesarrollo. México, D. F. 454 p.
- Noguera F.A. (2002) Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología UNAM. Primera Ed. 568 pp.
- Nojonen R.A., Healey J.R., Soto G., Haggard J.P. (2013). Sink or source—The potential of coffee agroforestry systems to sequester atmospheric CO₂ into soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 175:60– 68.
- Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015. Diario Oficial de la Federación, 27 de Marzo de 2015. Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- Ordóñez-Díaz J.A., Galicia-Naranjo A., Venegas-Mancera H.J., Hernández—Tejeda T., Ordoñez-Díaz M.J., Dávalos-Sotelo R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas por

- tipo de vegetación en base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques*, 21:77-126.
- Pagiola, S; von Ritter, K; and Bishop, J. 2005. “Assessing the economic value of ecosystem conservation”, Environment Department Paper N° 101, The World Bank Environment Department.
- Pérez-Ferrara M.A., Tejeda-Cruz C., Martínez-Camilo R., Martínez-Meléndez N., López S., Espinoza-Medinilla E. y Rioja-Paradela T. 2011. Structure and Floristic Composition in a Successional Gradient IN A Cloud Forest in Chiapas, Southern México. O. Grillo & G. Venora (editors), *The Dynamical Processes of Biodiversity – Case Studies of Evolution and Spacial Distribution* (1st ed., pp. 135-146). Rijeka Croatia: InTech.
- Perfecto I., Vandermeer J., Mas A., Soto-Pinto L. (2005) Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics*, 54:435– 446.
- Pineda E., Moreno C., Escobar F., Halffter G. (2005) Frog, Bat, and Dung Beetle Diversity in the Cloud Forest and Coffee Agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology*, 9:400-410.
- Power A.G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 365: 2959–2971.
- Prato T. (2000). Multiple attribute evaluation of landscape management. *Journal of environmental Management* 60:325-337
- Ramírez-Lavoignet D. 1985. Yecuatla. *Cronos – Revista de Divulgación Cultural*. Año 6. No. 35. Xalapa, Veracruz.
- Ramírez-Lozano M. (2002). Diversidad de roedores en cafetales de la Reserva de la Biosfera “El Triunfo” Chiapas, México. Tesis Licenciatura (Biología). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. México: BUAP 60 p.
- Ready, R., Berger, M.C., Blomquist, G.C., 1997. Measuring amenity benefits from farmland: hedonic pricing vs. contingent valuation. *Growth and Change* 28 (4), 438–458.
- Renard, M.C. (2002). *La comercialización del café*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Robles-Berlanga H.M. (2011). Los productores de café en México problemática y ejercicio del presupuesto. Woodrow Wilson International Center for Scholars, reporte 14 62 pp.
- Rocha-Loredo A.G., Ramírez-Marcial N. y González-Espinosa M. 2010. Riqueza y diversidad de árboles del bosque tropical caducifolio en la depresión central de Chiapas. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 87:89-103.

- Rodríguez R., L. 1994. Sistema de policultivo Comercial de café en la zona centro de Veracruz. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. México. 218 p.
- Roose, E., Ndayizigiye, F., 1997. Agroforestry, water and soil fertility management to fight erosion in tropical mountains of Rwanda. *Soil Technol.* 11, 109–119.
- Sánchez-Clavijo L.M., Botero-Echeverri J.E., Vélez J.G. Estructura, diversidad y potencial para conservación de los sombríos en cafetales de tres localidades de Colombia. *Cenicafé* 58(4): 304-323.2007.
- Schleusner, D. P. (1994). Resource management perspective: practical considerations for using GIS and remote sensing at the field level. In *Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management* (V. A. Sample, ed.), pp. 140–156. Washington, DC: Island Press.
- Segrove L. (2003) “Tomando café en Coatepec. Implicaciones ambientales, económicas y sociales en una comunidad dedicada al cultivo”. Tesis de maestría en Antropología Social. México: Universidad Iberoamericana AC.
- Sepúlveda R.B., Aguilar-Carrillo A. (2015) Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 210:25–35.
- Servin R. 1997. Análisis de costos en tres sistemas de policultivo comercial en café en la zona Córdoba- Huatusco, Veracruz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México. 113 p.
- Sidle, R.C., Ziegler, A.D., Negishi, J.N., Nik, A.R., Siew, R., Turkelboom, F., 2006. Erosion processes in steep terrain-Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *For. Ecol. Manage.* 224, 199–225.
- Sotomayor-Castellanos J.R. (2008). Tabla FITECMA de Clasificación de Características Mecánicas de Maderas Mexicanas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Stiling P (1999) *Ecology; theories and applications*. 3rd edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 840 pp.
- Swift, M.J., Izac, A.M.N. & van Noordwijk, M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes – are we asking the right questions? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 104, 113–134.
- Swinton S.M., Lupi F., Robertson G.P., Hamilton S.K. (2007). Ecosystem service and agriculture: cultivating agricultural ecosystem for diverse benefits.
- Tejeda-Cruz C., Gordon E.C. (2008) Aves. R.H. Manson, V. Hernández-Ortíz, S. Gallina & K. Mehlreter (editores), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y*

- conservación (1st ed., pp 149-160). México: Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Tilman, D., 1999. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology* 80, 1455–1474.
- Tlaxcala-Méndez R.M., de los Santos-Posada H.M., Hernández-de la Rosa P., López-Ayala J.L. 2016. Variación del factor de forma y el ahusamiento en procedencias de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). *Agrociencia*, 50:89-105.
- Torres-Rojo J.M. y Guevara-Sanginés A. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta ecológica*, 63:40-59.
- Tscharntke A., Klein A.M., Kruess A., Steffan-Dewenter I., Thies C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8: 857–874
- Tscharntke T., Clough Y., Bhagwat S.A., Buchori D., Faust H., Hertel D., Hölscher D., Juhrendt J., Kessler M., Perfecto I., Scherber C., Schroth G., Veldkamp E. & Wanger T.C. (2011) Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *Journal of Applied Ecology* 48:619-629.
- Van Oijen M., Dauzat J., Harmand J.M., Lawson G., Vaast P. (2010) Coffee agroforestry systems in Central America: I. A review of quantitative information on physiological and ecological processes. *Agroforest Syst* 80:341-359.
- Vázquez-Aragón. S. 2016.Reinserción laboral de los migrantes retorno en Yecuatla, Veracruz. *Clivajes. Revista de ciencias sociales* 5: 199-219.
- Verbist B., Dinata-Putra A.E., Budidarsono S. (2005). Factors driving land use change: Effects on watershed functions in a coffee agroforestry system in Lampung, Sumatra. *Agricultural Systems* 85:254–270.
- Williams-Linera G., López-Gómez A. (2008) Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. R.H. Manson, V. Hernández-Ortíz, S. Gallina & K. Mehlreter (editores), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (1st ed., pp 55-68). México: Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Winfrey, R. and Kremen, C. 2009. Are ecosystem services stabilized by differences among species? A test using crop pollination. *Proceedings of the Royal Society B - Biological sciences* 276(1655): 229–237.

- Zamora-Crescencio P., y Avendaño-Reyes S.1998. La vegetación del municipio de Yecuatla, Veracruz, México. *La ciencia y el hombre* 28: 27-65.
- Zarco-Espinosa V.M., Valdez-Hernández J.I., Ángeles-Pérez G., Castillo-Acosta O. (2010). ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA DEL PARQUE. *Universidad y ciencia*, 26: 1-17.
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K. & Swinton, S. M. 2007 Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecol. Econ.* 64, 253–260.