

EFFECTO DEL CULTIVO DE ÁRNICA SOBRE EL SUELO Y LA
SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
TRADICIONALES DE LA MICROCUENCA LA JOYA.

Cindy Atenea Torres Poot

2023



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Título del tema de trabajo registrado

EFFECTO DEL CULTIVO DE ÁRNICA SOBRE EL SUELO Y LA
SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
TRADICIONALES DE LA MICROCUENCA LA JOYA.

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Cindy Atenea Torres Poot

Dirigido por:

Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez

Querétaro, Qro. a Febrero de 2024



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



EFFECTO DEL CULTIVO DE ÁRNICA SOBRE EL SUELO Y
LA SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN TRADICIONALES DE LA
MICROCENSA LA JOYA.

por

Cindy Atenea Torres Poot

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

Clave RI: CNMAC-309438



Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de
Ciencias Naturales
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Título del tema de trabajo registrado

**EFFECTO DEL CULTIVO DE ÁRNICA SOBRE EL SUELO Y LA SUSTENTABILIDAD EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TRADICIONALES DE LA MICROCUENCA LA JOYA.**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Cindy Atenea Torres Poot

Dirigido por:

Doctora Tamara Guadalupe Osorno Sánchez

Tamara Guadalupe Osorno
Sánchez
Presidente

Elizabeth Fuentes Romero
Secretario

Juan Alfredo Hernández Guerrero
Vocal

María Janet Arteaga Ordaz
Suplente

Diana Patricia García Tello
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Fecha de aprobación por el Consejo Universitario (mes y año) México

Agradecimientos

A mi familia por apoyarme y motivarme siempre para alcanzar todas y cada una de mis metas. Los amo.

A Juan Carlos, por estar presente, saber escuchar y darme ánimos cuando no podía.

A Karla y Esmeralda por su amistad y apoyo incondicional dentro y fuera de la maestría.

A la Doctora Tamara por darme la oportunidad de trabajar con ella y ser una maestra de vida, sus enseñanzas trascienden el ámbito académico.

Al Doctor Juan Alfredo Hernández por su paciencia, dedicación y consejos.

A la M. en C. Elizabeth Fuentes Romero, responsable del Laboratorio de conservación y degradación del recurso edáfico de la UMDI-Facultad de Ciencias, UNAM Juriquilla que supervisó y asesoró el levantamiento de muestras de suelo y los respectivos análisis que en esta tesis se presentan.

A la MGIC Janet Arteaga por su tiempo y disposición para acompañarme siempre a las salidas a campo.

A la Doctora Diana por su apoyo con los trámites, su paciencia, compromiso y dedicación.

A los productores de árnica de La Joya-Charape por permitirme trabajar en sus espacios, esto es por y para ustedes.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría y a la Universidad Autónoma de Querétaro que a través de la Facultad de Ciencias Naturales hizo posible mi formación.

Y en general a mis compañeros de la maestría y a mis profesores por los conocimientos y herramientas aportadas en estos dos años.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	8
2	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	13
2.1	Manejo integral de cuencas.....	13
2.2	Importancia del manejo del suelo dentro de la cuenca y su relación con la vegetación	16
2.3	Los sistemas de cultivo tradicionales.....	19
2.4	Importancia de la evaluación de la sustentabilidad en la gestión integrada de cuencas.....	24
3	ANTECEDENTES.....	26
4	CONTEXTO ACTUAL.....	30
4.1	El cultivo de Plantas Aromáticas y Medicinales (PAM) en México	30
4.2	Árnica, una planta nativa mexicana.....	33
5	ÁREA DE ESTUDIO	35
5.1	Características biofísicas	36
5.2	Suelo.....	36
5.3	Caracterización socio económica.....	38
5.3.1	Sistema agrícola de producción	39
6.	MÉTODOS Y HERRAMIENTAS.....	40
6.1	Estimación de la pérdida de suelo con el método de varillas.....	41
6.2.	Determinación de la calidad del suelo en los sistemas productivos tradicionales de árnica.....	44
6.2.1.	Caracterización física y química del suelo de los sistemas productivos de árnica.	44
6.2.2	Determinación de variaciones en las propiedades físicas y químicas del suelo	44
6.3	Evaluar la sustentabilidad del cultivo de árnica mediante la “Herramienta de verificación de principios y criterios de sustentabilidad en proyectos productivos”	44
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
7.1.	Calidad y variaciones de las propiedades físicas y químicas de los sitios de estudio	50
7.2	Tasa de erosión del suelo dentro de los sistemas de cultivo tradicional.....	55
7.3	Evaluar la sustentabilidad de la producción de árnica.	68
7.3.1	Perfil de la organización.....	68
7.3.2	Aplicación de la Herramienta para la evaluación de la Sustentabilidad.....	70
8.	Conclusiones	84
9	Referencias bibliográficas	86
	ANEXOS	100

Índice de tablas

Tabla 1 Principales hierbas aromáticas y medicinales cultivadas en México	31
Tabla 2 Estacas por sitio	42
Tabla 3 Sistema de puntuación de la Herramienta para la evaluación de la sustentabilidad	46
Tabla 4 Indicadores críticos para la evaluación de la sustentabilidad	47
Tabla 5 Propiedades biofísicas y edáficas de los sitios estudio	52
Tabla 6 Comparativa de los resultados obtenidos en la replicación de los análisis de laboratorio	54
Tabla 7 Precipitación promedio mensual	56
Tabla 8 Pérdida de suelo mensual en cada sitio	58
Tabla 9 Pérdida de suelo expresada en volumen	59
Tabla 10 Criterios e indicadores del principio de Gobernanza	71
Tabla 11 Criterios e indicadores del principio Sostenibilidad económica y administrativa.....	75
Tabla 12 Criterios e indicadores del principio Conservación de la Biodiversidad	77
Tabla 13 Criterios e indicadores del principio "Uso sustentable de los componentes de la Biodiversidad"	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la cuenca La Joya. Fuente: Elaboración con base en la información del INEGI (2014).....	35
Figura 2 Diagrama metodológico.....	41
Figura 3 Mediciones realizadas en cada estaca	43
Figura 4 Ubicación de los sistemas de cultivo tradicionales. Fuente: elaboración con base a georreferenciación en Google Earth.....	51
Figura 5 Indicadores de calidad físicos en los suelos bajo manejo tradicional a) Textura, b) proporción de agregados del suelo y c) proporción de arenas componentes de los agregados del suelo. Fuente: elaboración propia	54
Figura 6 Precipitación promedio mensual. Fuente: elaboración con base a los datos de la RUOA (2023) 57	
Figura 7 Contenido de humedad mensual por sitio. Fuente: elaboración con base en las mediciones realizadas	57
Figura 8 Patrón mensual de la pérdida y acumulación del suelo dentro de los sistemas productivos tradicionales.....	62
Figura 9 Pérdida de suelo promedio por zona y sitio.	63
Figura 10 Relación de la pérdida de suelo con la pendiente. Fuente: Elaboración con base a los cálculos y mediciones realizadas.....	65
Figura 11 Taller participativo al inicio de la investigación.	71
Figura 12 Cultivo de árnica en uno de los sistemas productivos.....	74

RESUMEN

El cultivo y aprovechamiento del árnica (*Heterotheca inuloides*) puede tener un papel importante en la gestión de suelos erosionados y como actividad económica, ya que únicamente se aprovecha la flor que tiene propiedades medicinales con valor económico, por lo que la biomasa residual que se mantiene sobre el suelo contribuye a disminuir la pérdida del suelo por erosión hídrica. La microcuenca La Joya presenta procesos geomorfológicos y productivos que ejercen presión sobre el suelo, dejando más del 50 % de su superficie con problemas de erosión y limitaciones económicas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del cultivo de *Heterotheca inuloides* sobre la erosión, la calidad del suelo y su relación con la sustentabilidad en sistemas de producción tradicionales. La pérdida de suelo se determinó mediante el método de varillas, mientras que la calidad del suelo consideró los cambios en el pH, carbono y nitrógeno, la estabilidad estructural y características morfométricas de relieve. La sustentabilidad de cultivo se evaluó con la "Herramienta de verificación de principios y criterios de sustentabilidad en proyectos productivos" de CONABIO. Al finalizar el estudio los sitios que presentaron pérdida de suelo fueron aquellos con una pendiente pronunciada ($>10^\circ$) y los cambios en el pH, el contenido de carbono y nitrógeno se asociaron con el manejo de cada sitio, específicamente la adición de mejoradores de suelo. Además, es un proyecto orientado hacia la sustentabilidad, del que los productores se han apropiado y que conlleva beneficios directos e indirectos como la disminución de la erosión, mantenimiento de la calidad del suelo y ganancias económicas. En conclusión, el manejo de los sistemas productivos tradicionales podría ser una alternativa para mejorar las condiciones edáficas por lo que esta investigación se podría replicar y profundizar en otros sistemas de la microcuenca.

Palabras clave: erosión, árnica, suelo, sustentabilidad.

ABSTRACT

The cultivation and use of arnica (*Heterotheca inuloides*) can play an important role in the management of eroded soils and as an economic activity, since only the flower that has medicinal properties with economic value is used, so the residual biomass that remains on the soil contributes to reducing soil loss due to water erosion. The La Joya micro-watershed presents geomorphological and productive processes that exert pressure on the soil, leaving more than 50% of its surface with erosion problems and economic limitations. The objective of this research was to evaluate the effect of *Heterotheca inuloides* cultivation on erosion, soil quality and its relationship with sustainability in traditional production systems. Soil loss was determined using the rod method, while soil quality considered changes in pH, carbon and nitrogen, structural stability and morphometric relief characteristics. Crop sustainability was evaluated using CONABIO's "Tool for verification of sustainability principles and criteria in productive projects". At the end of the study, the sites that presented soil loss were those with a steep slope ($>10^\circ$) and the changes in pH, carbon and nitrogen content were associated with the management of each site, specifically the addition of soil improvers. In addition, it is a project oriented towards sustainability, which the producers have appropriated and which has direct and indirect benefits such as the reduction of erosion, maintenance of soil quality and economic gains. In conclusion, the management of traditional production systems could be an alternative to improve soil conditions and this research could be replicated and deepened in other systems of the micro-watershed.

Key words: erosion, arnica, soil, sustainability

1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial uno de los problemas de mayor incidencia ambiental y económica es la degradación química y física del suelo, que incrementan los procesos de erosión y, que representan una amenaza para los ecosistemas terrestres y la producción de alimentos. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO), se estima que, por degradación de la capa superficial del suelo, cada año se pierden entre 20 a 30 Gt (billón de toneladas) por la acción del agua; 5 Gt por laboreo y 2Gt por viento por lo que de seguir esta tendencia el potencial de producción total anual se reduciría en un 10 % para 2050 (FAO, 2016). En ese sentido, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en su meta 15.3 plantea rehabilitar las tierras y los suelos degradados, así como y procurar un mundo con efecto neutro en la degradación del suelo (UNCCD-UNESCO, 2016).

Esto representa un reto para los sitios que muestran altas tasas de erosión (50 – 200 ton/ha/año), especialmente los destinados a la producción agrícola, en los que desde la revolución verde (década de los cuarenta) a la fecha se han fomentado prácticas de manejo inadecuadas, entre cuyas consecuencias destaca la reducción de la capacidad de producción del suelo, así como el desplazamiento de las personas que dependen directamente de este, al ser su medio de subsistencia (FAO, 2019).

La erosión, es un proceso que tiene implicaciones ambientales y sociales que en conjunto amenazan el bienestar humano (FAO, 2019); y debido a que el desarrollo económico y social de una región está directamente relacionado con la disponibilidad de sus recursos naturales, es importante su gestión, conservación o restauración, así como la orientación del cambio tecnológico para mantenerlos. En el caso del suelo resulta importante mantener la seguridad edáfica y capacidad productiva en un marco de estabilidad ambiental y social para satisfacer las necesidades humanas de las generaciones presentes y futuras, es decir, fomentar el aprovechamiento y desarrollo sustentable del suelo.

La pérdida de los servicios de suelo depende de su vulnerabilidad asociada a las propiedades biológicas y geoquímicas (Montaño *et al.*, 2017), la degradación refleja la disminución de sus capas superficiales, de los componentes estructurales, transporte y

deposición de partículas orgánicas y minerales debido a la baja conductividad hidráulica que influyen de manera directa sobre las partículas del suelo (Siebe *et al.*, 2016; FAO, s.f.), lo que conlleva a que se establezca el proceso de erosión.

A lo largo de los años se han realizado investigaciones en las que se hace patente la estrecha relación entre la cobertura vegetal con las condiciones y funciones del suelo; en países como Chile, Colombia, Perú y España se ha evaluado el potencial de ciertas especies de flora en la reducción de la erosión y se ha encontrado que algunas tienen mayor potencial que otras (Castellano *et al.*, 2016; Morales, 2018; Yauri, 2019; Ovalle *et al.*, 2020). Otros estudios señalan que la alta diversidad de plantas proporciona una mayor estabilidad al suelo por sus sistemas radiculares, o que las formaciones vegetales derivadas de la regeneración natural (pastizal seco y matorral) reducen la escorrentía superficial y la erosión en igual magnitud que las formaciones resultantes de la reforestación (Chirino *et al.*, 2003).

A pesar de la existencia de estos trabajos, resalta el hecho de que, aunque las implicaciones de la erosión son sociales y ambientales, los esfuerzos se han abocado a mitigar las últimas, por lo que las propuestas que se han generado descansan sobre la importancia de la cobertura vegetal en la recuperación de suelos erosionados (Andrade *et al.*, 2012; Bienes *et al.*, 2012; García, 2012; Flores *et al.*, 2013; Duran *et al.*, 2014; Castellano *et al.*, 2016; Chirino *et al.*, 2016; Geissert *et al.*, 2016., Huerta *et al.*, 2018; Capurro y Montico, 2020). Ante esta disyuntiva han surgido proyectos como Divefarming en Europa que, entre sus objetivos, incluye desarrollar y probar diversos sistemas de cultivo con prácticas de bajos insumos para incrementar la productividad de la tierra y la calidad de los cultivos todo desde una perspectiva social, cultural y económica (Divefarming, 2021).

En México se han hecho trabajos que incluyen especies de importancia económica como el agave, el frijol y el maíz, pero el parámetro que se ha tomado en cuenta es su capacidad de retención del suelo, dejando de lado los beneficios económicos y sociales que puede traer consigo el fomento de coberturas vegetales (Osuna y Esquivel, 1996; Molgora, 2013; Flores *et al.*, 2013; Huerta *et al.*, 2018). Y en algunos casos se propone el uso de ciertas especies de flora nativa por su importancia social y ecológica como una

alternativa para el manejo de las áreas degradadas y la recuperación de suelos (Sánchez, 2013) y el cultivo de plantas aromáticas y medicinales por su potencial para reducir la presión sobre los recursos de la zona, entre ellos los suelos erosionados (Arteaga, 2015).

La microcuenca La Joya (Querétaro), es una zona en la que los factores geomorfológicos y la actividad productiva ejercen presión sobre el suelo, dejando más de la 50 % de su superficie con problemas de erosión, aunado a esto la oferta de actividades productivas representa una limitante económica por lo que los habitantes deben migrar hacia otras ciudades en busca de mejores oportunidades (Universidad Autónoma de Querétaro [UAQ], 2009).

Dada la susceptibilidad de la microcuenca a los procesos erosivos (Hubp, 1989; UAQ, 2009,) que se han agravado por el uso irracional de los recursos naturales, se han ejecutado varias acciones (barreras vivas, presas, barreras con geo costales, fajinas) asociadas a proyectos de conservación y restauración. Aunado a esto, la zona presenta grados de marginación que oscilan entre el medio y bajo (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI], 2020) y procesos migratorios relacionados indirectamente a la degradación dentro de la microcuenca debido a la falta de oportunidades productivas (PRPC, 2009).

Dentro de la microcuenca se está realizando la producción de árnica mexicana (*Heterotheca inuloides*) en sistemas de cultivo tradicionales (huerto de traspatio y milpa), que por su sistema de manejo que no requiere labranza ni la extracción completa de la planta, podría tener un papel importante en la recuperación de suelos erosionados y puede contribuir a mejorar las condiciones de vida de los productores al poseer propiedades con potencial económico y por lo tanto podría ser un elemento importante para el desarrollo sustentable de la microcuenca.

Con los argumentos anteriores, los problemas de la microcuenca La Joya se resumen en que es una zona que tiene más del 50 % de su superficie con problemas de erosión, aunado a esto presenta problemas de migración y marginación, asociados a la falta de oportunidades productivas en la zona.

Tomando en cuenta que los estudios que se han hecho en México y otros países sobre la recuperación de suelos, se han enfocado en el efecto de la cobertura vegetal sobre el suelo erosionado (Andrade *et al.*, 2012; Bienes *et al.*, 2012; García, 2012; Flores *et al.*, 2013; Duran *et al.*, 2014; Castellano *et al.*, 2016; Chirino *et al.*, 2016; Geissert *et al.*, 2016; Huerta *et al.*, 2018; Capurro y Montico, 2020), es importante generar evidencia de los efectos sociales que podrían traer consigo. En ese sentido resulta importante proponer la evaluación de la producción de árnica mexicana (*Heterotheca inuloides*), la cual es llevada a cabo por cinco productores, cuyos sistemas de cultivo se encuentran distribuidos en la zona funcional media de la microcuenca, que se caracteriza por ser de mayor arrastre y de la que se desconocen los efectos que podría tener sobre el suelo y sus características físicas y químicas.

A nivel social esta actividad se puede orientar hacia la sustentabilidad; esto requiere un análisis integral, en el que las variables biofísica y social se analicen, y se pueda identificar el efecto del cultivo de árnica, pero sobre todo generar una propuesta que contribuya a la conservación del suelo y la sostenibilidad de la producción.

Considerando los argumentos hasta el momento, surge la pregunta ¿Cuál es el efecto del cultivo de árnica en los sistemas productivos tradicionales sobre el suelo y su sustentabilidad?, siendo así que el objetivo general de este trabajo es evaluar el efecto del cultivo de árnica en sistema de producción tradicionales respecto a las características físicas y químicas del suelo.

Para llevar a cabo esta investigación se realizó el análisis de los indicadores de vulnerabilidad del suelo ante la erosión en diferentes sistemas de cultivo, para saber si este favorece la estabilización y la modificación de sus características físicas (estructura, textura, agregados) y químicas (pH, carbono y nitrógeno) asociadas a su capacidad de producción. Adicionalmente; se evaluó si el cultivo considera los cinco principios de la sustentabilidad (Gobernanza, sostenibilidad administrativa y económica, conservación de la biodiversidad, uso sustentable de esta y distribución de beneficios) a través de los 59 indicadores de la “Herramienta de verificación de principios y criterios de sustentabilidad en proyectos productivos” del Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

JUSTIFICACIÓN

Desde la gestión de los sistemas de cultivo locales de la microcuenca La Joya, se busca una alternativa de conservación del suelo y económica orientada hacia la sustentabilidad ambiental en el contexto de producción local, siendo el suelo y los productores los principales sujetos de interés, que en conjunto representan los elementos del desarrollo sustentable, por lo que se busca mejorar sus condiciones mediante prácticas que abonen a las condiciones del suelo y por ende a su capacidad productiva.

La microcuenca La Joya tiene más del 50 % de su superficie erosionada debido a las condiciones ambientales, como el relieve, y la presión derivada de las actividades productivas como la ganadería extensiva. Esto supone una limitante en la capacidad productiva del suelo, sin embargo, a través de los sistemas de cultivo locales, se podría contribuir a recuperar y mejorar las condiciones del suelo de la microcuenca.

Esta propuesta puede incorporarse a la gestión conjunta del territorio con el objetivo de mantener y recuperar la cubierta vegetal como una alternativa que fomente áreas con vegetación y al mismo tiempo puedan servir para la seguridad alimentaria, así como una oportunidad de actividad económica para los productores de árnica de la microcuenca La Joya a mediano plazo. De tal forma que el cultivo, a través de la cobertura vegetal que proporciona, pueda retener el suelo dentro de los sistemas de cultivo y además de contribuir al desarrollo sustentable al fomentar una actividad productiva que aporte beneficios ambientales, sociales y económicos para los productores de árnica.

Así mismo, se pretende generar procesos de participación dentro de la microcuenca e incluso fomentar la coordinación institucional para que a través de ella se puedan gestionar programas de apoyo a los productores de árnica.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto del cultivo de árnica en los sistemas productivos tradicionales sobre el suelo y la sustentabilidad?

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del cultivo de árnica en sistemas de producción tradicionales respecto a las características físicas y químicas del suelo de la microcuenca La Joya.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar la pérdida de suelo ante la erosión en los sistemas productivos tradicionales de árnica con el método de varillas.
2. Determinar la calidad del suelo en los sistemas productivos tradicionales de árnica.
3. Evaluar la sustentabilidad del cultivo de árnica mediante indicadores sociales, ambientales y económicos.

2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Manejo integral de cuencas

Para poder comprender el funcionamiento de una cuenca desde un punto de vista geomorfológico, hay que reconocer que existe un gradiente de ladera que provoca el movimiento de las partículas, por lo que su dinámica se puede explicar a través de la identificación de las zonas funcionales que están relacionadas directamente con el relieve, esto origina una dinámica que varía a lo largo de la extensión de la cuenca (Cotler *et al.*, 2010:7), en ese sentido, se reconocen tres zonas funcionales:

1. Zona de captación o cuenca alta: es el área cercana al parteaguas, es decir es la parte más elevada y abarca sistemas de montaña y lomeríos. Se caracteriza por un relieve de mayor inclinación, por lo que en esta zona se forman los primeros escurrimientos, luego de que los suelos han absorbido y retenido el agua según su capacidad. En esta zona, especialmente en las áreas con fuertes inclinaciones, el suelo está sometido a procesos erosivos más fuertes por lo que la posición se considera residual.
2. Zona de almacenamiento o cuenca media: Corresponde a sistemas de lomeríos, valles, colinas y planicies, en el que se da el transporte de sedimentos; y donde los escurrimientos forman caudales que se unen a una corriente o río principal. Es una zona de funciones mixtas, ya que se almacena agua pues la red de drenaje se hace más robusta y además se desaloja cuenca abajo al ser una zona de transición y transporte

de sedimentos entre la cuenca alta y la baja. Aquí los suelos están sometidos a un continuo transporte de materiales sólidos y de solutos en el agua del suelo, por lo que suelen presentar pequeños o moderados espesores.

3. Zona de descarga o cuenca baja: es la zona altimétricamente más baja, con poco o nula pendiente. Incluye áreas aledañas al cauce principal antes de su salida, se caracteriza por ser una zona de deposición de los materiales arrastrados (compuestos solubles y partículas sólidas) por lo que en las posiciones de pie de ladera se forman suelos acumulativos que continuamente se están sobre engrosando, formándose suelos muy espesos y de texturas (granulometrías) muy finas.

Considerando las zonas funcionales se puede reconocer tres posiciones con comportamiento muy diferente, la primera, zona alta o relieve residual (o erosional), relieve transporsional y relieve deposicional (Dorrnsoro, 2019). Reconocer estas zonas dentro de la cuenca es necesario para mantener su funcionamiento eco hidrológico y reconocer que las acciones de perturbación en la zona alta se transferirán hacia las zonas media y baja (Cotler, 2010). Siendo así, la parte más alta una zona clave para el manejo integrado de todo el sistema, pues allí es donde se infiltra la mayor cantidad de agua proveniente de la precipitación y que alimenta los flujos subterráneos (Black, 1997).

Cuando se concibe el territorio desde el enfoque de cuenca, queda clara la interrelación entre la actividad humana, el medio biofísico, los modos de apropiación y las instituciones (Cotler *et al.*, 2013). Esta conexión, compleja y multidimensional, se da a partir de las diferencias de altitud del territorio, por lo que las decisiones que se tomen en la parte baja o alta de la cuenca, tendrán efectos en diferentes escalas temporales y espaciales que podrían reducir o mejorar la calidad de vida de los habitantes de la cuenca (Rivera *et al.*, 2017). En ese sentido, el manejo (conservación, restauración o aprovechamiento) de los recursos naturales, debe estar enfocado a mantener la funcionalidad de la cuenca, los servicios ecosistémicos que provee y al bienestar de las comunidades que la habitan. Y si bien el agua es el elemento central, la vegetación cumple varias funciones dentro de la cuenca, por su estrecha relación con las condiciones del suelo y del agua, por lo que el conocimiento de esta es vital para la planeación del manejo que se hará, el cual inicia

con el ordenamiento territorial de las partes altas, donde se debe establecer una cobertura vegetal densa que favorezca la intercepción e infiltración del agua de lluvia y la recarga de los acuíferos (Cotler *et al.*, 2013).

En el sentido estricto y de acuerdo con González (2000), el manejo de cuencas se puede entender como:

“el proceso complejo que le da orden a un conjunto de acciones dentro de la Cuenca Hidrológica Superficial (Hidrográfica) o Cuenca Hidrológica Subterránea, encaminado a lograr un desarrollo social y económico sostenibles en el tiempo, además de la protección del medioambiente” (p. 32).

Para Dourojeanni (1992), es un arte y ciencia en el que los recursos naturales son manejados con el objetivo de controlar la descarga de agua de la misma calidad, cantidad y tiempo de ocurrencia, es un conjunto de técnicas para el análisis, protección, rehabilitación, conservación y uso de la tierra de las cuencas hidrográficas con fines de controlar y conservar el recurso agua que proviene de las mismas, cuyo objetivo final es el desarrollo integral para aprovechar, proteger y conservar los recursos naturales de una cuenca, para conservar y mejorar la calidad medioambiental y los sistemas ecológicos.

En un sentido empresarial-social, es la gestión de la cuenca para aprovechar y proteger los recursos naturales que le ofrece con el fin de obtener una producción óptima y sostenible (Ministerio de desarrollo sostenible de Bolivia, 1997).

En síntesis, el manejo integral de cuencas es un proceso adaptativo que alinea, coordina y construye programas hacia objetivos comunes, para lo cual requiere la cooperación de diversas instituciones bajo una visión común (Cotler y Caire, 2009). Esta visión, requiere de una base sólida de conocimientos ambientales sobre la estructura y funcionamiento de la cuenca; la estructura incluye las bases para entender el origen y evolución de la cuenca basado en las características de sus componentes aire, suelo, agua, biodiversidad (principalmente las características de la vegetación) y geomorfología; mientras que el funcionamiento se refiere a la inclusión del efecto y uso por el hombre, donde el funcionamiento natural de una cuenca es una relación entre la cantidad de agua

que recibe y su efecto sobre el suelo y vegetación, y que este tiende a variar de acuerdo a la zona funcional (Sánchez *et al*, 2003).

2.2 Importancia del manejo del suelo dentro de la cuenca y su relación con la vegetación

El suelo se puede definir desde el enfoque agrícola como la capa fértil que recubre la superficie del planeta y a partir de la cual las plantas obtienen sostén, nutrimentos y agua; desde una perspectiva ambiental es un elemento fundamental en los procesos ecosistémicos, que brinda servicios como la regulación y distribución del agua y la amortiguación de los efectos de los contaminantes (Astier *et al.*, 2002). De acuerdo con la Soil Science Society of America (SSSA, s.f.), es una mezcla de minerales, materia orgánica, aire y agua, cuya tasa de desarrollo puede ser de un cm de espesor por cada uno a cuatro siglos (Cotler y Garrido, 2010); mientras que para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2009) es el producto final de la influencia del tiempo que combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), y el material parental (rocas y minerales originarios), dan como resultado suelos con textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas diferentes.

Las características físicas y químicas de los suelos están asociadas a las funciones biológicas y geoquímicas que cumplen dentro de un ecosistema y que se traducen en servicios ambientales para el ser humano. Si bien estas características difieren para cada tipo de suelo, están interrelacionadas entre sí y en conjunto determinan la capacidad productiva y la susceptibilidad a ciertos fenómenos como la erosión, entendida esta como “el desgaste de la superficie que se origina por la acción de agentes externos como el viento y el agua y que son acelerados por la acción del hombre” (INEGI, 2011, p.3), en el que se da la desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo (FAO, s.f.), en si es un proceso que actúa de manera selectiva, ya que arrastra las partículas más finas y reactivas del suelo (arcilla y materia orgánica), dejando las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas, produciendo así, una disminución en la concentración de nutrientes en el suelo degradado (Stocking, 1984).

Con base en el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), una de las propiedades físicas del suelo, considerada como un indicador de

susceptibilidad de erosión, es la estabilidad de los agregados, ya que expresa la capacidad para resistir la fractura por fuerzas externas, generalmente asociadas al agua (USDA, 1996). Para su análisis es importante considerar que los agregados son partículas de suelo (minerales y orgánicas) (Le Bissonnais, 1996), que se unen entre sí, dejando espacios, denominados poros, a través de los cuales se da el crecimiento de las raíces de las plantas y el intercambio y retención de agua y aire (FAO, s.f.), por lo que agregación es el resultado de la reordenación, floculación y cementación de las partículas, y los agregados se presentan en una variedad de formas y tamaños, que a menudo se agrupan en macro agregados ($>250 \mu\text{m}$) y micro agregados ($< 250 \mu\text{m}$) (Bonick y Lal, 2004). La estabilidad de los agregados se ve afectada por la textura del suelo, el tipo de arcilla predominante, el hierro y los cationes extraíbles, la cantidad y el tipo de materia orgánica presente y el tipo y el tamaño de la población microbiana y el manejo del suelo. Los suelos que tienen un alto contenido de materia orgánica tienen una mayor estabilidad, ya que la adición de esta la aumenta, principalmente después de que comience la descomposición (USDA, 1996).

Además, la estabilidad de agregados es un indicador de la estructura del suelo, la cual es un factor clave en la capacidad para soportar vida animal y vegetal, así como para la regulación de la calidad ambiental, especialmente la captura de carbono (C) y la calidad del agua (Bonick y Lal, 2004). Por lo tanto, es un indicador de la calidad de suelo, ya que influye sobre los factores que determinan el rendimiento de los cultivos (físicos, químicos, actividad biológica); así como en las prácticas de manejo destinadas a mantener o crear condiciones para el crecimiento de las plantas y la absorción de agua y nutrientes (FAO, 2010).

Las propiedades físicas que regulan la estructura del suelo son la textura, que indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla (Siebe *et al.*, 2016) y que está relacionada con la facilidad con que se puede trabajar, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (FAO, 2009). La porosidad es otra propiedad física, en los suelos bien agregados existe una amplia gama de tamaños de poros, tanto entre los agregados como dentro de ellos, que de acuerdo con su tamaño influyen en mejorar la difusión de gases

y agua que influyen en la descomposición y protegen el carbono orgánico del suelo (COS) de la descomposición limitando el acceso microbiano (Dalal y Bridge, 1996; Kay, 1998; Thomsen *et al.*, 1999; Thomsen *et al.*, 2003).

Entre las propiedades químicas destacan el carbono, cuya fuente, orgánica o inorgánica, influye en la composición y concentración del suelo. Su contribución en la eficacia en la agregación a través de asociaciones con cationes y partículas del suelo; y el pH, que influye en el crecimiento de las plantas, la solubilidad de iones metales y la dispersión de arcillas (Bronick y Lal, 2004).

El impacto de la estructura del suelo va desde una escala global hasta una muy localizada, ya que está implicada en la mejora del secuestro de C y esto puede reducir la tasa de aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera y el calentamiento global asociado, aumenta el reciclaje de nutrientes, la disponibilidad de agua y la biodiversidad, reduciendo la erosión hídrica y eólica y mejorando la calidad de las aguas superficiales y subterráneas (USDA, 1996). Los procesos y mecanismos que intervienen en la agregación del suelo son complejos, con intrincados mecanismos de retroalimentación.

Dentro de las cuencas las condiciones del suelo están influenciadas por la geomorfología, ya que el relieve es un agente formador de este recurso, siendo la inclinación, la orientación, la posición fisiográfica y la longitud de las laderas, los elementos del relieve más importantes desde el punto edáfico (Jenny, 1994). El relieve ejerce tres acciones fundamentales para la evolución del suelo: influye en el transporte ya que, por gravedad, se produce el traslado de todo tipo de materiales pendiente abajo y dependiendo de su posición el suelo se ve sometido a la acción de erosión o la acumulación de material. También condiciona la cantidad de agua que accede y pasa a través del suelo y por último modifica las características del clima edáfico, al influir en la temperatura y en la humedad en función de la inclinación (influirá en la intensidad calorífica de las radiaciones recibidas), orientación (que regulará el tiempo de incidencia de las radiaciones solares) y altitud (que influirá en los elementos climáticos generales) (Jenny, 1994).

Dado que el relieve influye en el transporte de material edáfico dentro de las cuencas, los procesos erosivos se vuelven un fenómeno natural dentro de estos espacios que se

agrava con las prácticas de manejo que se empleen, originando así cambios en las propiedades del suelo, como la agregación y estructura, que resultan en una disminución de la capacidad actual y futura del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para el hombre (FAO, s.f., Cotler y Garrido, 2010). Esto deja en evidencia que al interior de las cuencas existe una interrelación entre la actividad humana, el medio biofísico, los modos de apropiación y las instituciones (Cotler *et al.*, 2013), por lo que es necesario proponer estrategias de manejo y recuperación, entendida esta última como hallar o proponer un estado alternativo mejor al inicial (Fernández, 2020), para hacer frente a la presión y que estén dirigidas a mantener las propiedades del suelo, vinculadas a la producción sostenible de alimentos, y por ende al bienestar social, pero que reduzcan al mismo tiempo los impactos ambientales adversos de las prácticas agrícolas.

Esto puede lograrse mediante prácticas de gestión, como las coberturas vegetales, que reduzcan las perturbaciones del agroecosistema, mejoren la fertilidad del suelo, aumenten los compuestos orgánicos, y reduzcan la tasa de descomposición del COS, pero sobre todo que promuevan la conservación y mejoramiento de sus propiedades como la agregación y estructura del suelo (Bronick y Lal, 2004).

La cobertura vegetal brinda protección al suelo, ya que las hojas y tallos absorben la energía cinética del agua y del viento, reduciendo así la erosión. Además, el sistema de raíces determina la resistencia mecánica del suelo, ya que estas poseen propiedades de adhesión y una resistencia relativamente alta, que enriquece su resistencia y en el caso del sistema radicular de los árboles, contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo, además de que proporcionan hábitat y alimento a la fauna silvestre (Benítez *et al.*, 2004).

2.3. Los sistemas de cultivo tradicionales

La agricultura es la actividad en la que el hombre, en un ambiente dado, maneja los recursos naturales, la calidad y cantidad de energía disponible y los medios de información para producir y reproducir los vegetales que satisfacen sus necesidades (Coll, 2021).

En México es una de las actividades más importantes para las comunidades rurales, sin embargo, se enfrenta a varios retos como la temporalidad de las lluvias y las condiciones

geográficas (SEMARNAT, 2021), además con la revolución verde, los campesinos se han enfrentado a diferentes situaciones como la modernización del sector agropecuario y el crecimiento de las zonas urbanas sobre las rurales (FAO, s.f.). Aunado a este la agricultura “moderna”, es uno de los principales contribuyentes al cambio climático, alrededor del 30 % de los gases de efecto invernadero provienen de ese sector, pues es la actividad que emite mayor cantidad de gases nocivos, además de que contribuye a la pérdida de la biodiversidad y debido a las prácticas convencionales degrada el suelo, siendo así que un 23 % de la superficie de la tierra ha reducido su productividad (Lombeyda, 2020).

Ante esta situación resulta importante reconsiderar los sistemas agrícolas tradicionales que se practican, ya que implementan estrategias acordes a las condiciones locales como el clima, disponibilidad de agua, pendiente, tipo de suelo y se relacionan con la identidad cultural. Además, son sistemas diversos que incluyen leguminosas, cereales, legumbres, hortalizas, entre otros y se alterna con la crianza de ganado (Altieri, 2011).

Estudios realizados ha puesto en evidencia los beneficios de la agricultura tradicional, como el control del agua, su relación con el control de procesos erosivos del suelo, el manejo del suelo, la biodiversidad, el conocimiento ecológico tradicional, así como las estrategias y manejo de agua de riego y de humedales (González 1992; Maimone *et al.*, 2006; Ocampo y Escobedo 2006; Miranda *et al.*, 2009; Pérez, 2014).

Algunos ejemplos de esto es la construcción de canales para desviar el curso del agua fuera de las zonas de siembra, debido a que durante la época lluviosa el tepetate puede ablandarse o fracturarse fácilmente y la protección de camellones y terrazas para atenuar los efectos erosivos del agua y del viento con el uso de la coa, o bastón plantador, ya que esto permite que los suelos estén cubiertos de maleza y sólo queda el agujero por donde entra el bastón (González, 1992).

Algunos investigadores sostienen que los agroecosistemas tradicionales pueden aportar soluciones a muchas incertidumbres asociadas al cambio climático (Denevan 1995, Altieri 2004), ya que una de sus características es su grado de diversidad vegetal, es decir son policultivos, que reducen el riesgo de plagas mediante la siembra de diversas especies y variedades de cultivos, estabilizan los rendimientos a largo plazo, fomenta la

diversidad alimentaria y logra la máxima rentabilidad incluso con niveles tecnológicos bajos y recursos limitados (Altieri, 1991). Además, a medida que aumenta la diversidad, también lo hacen las oportunidades de interacción benéfica entre las especies que lo componen, por lo que mejorar la relación entre el diseño de cultivo, el potencial productivo y las limitantes ambientales de clima y el paisaje, puede contribuir a asegurar la sustentabilidad en el largo plazo de la productividad de los sistemas (Altieri, 1994).

Otra característica de los sistemas de cultivo tradicionales es su relación con el conocimiento tradicional, el cual está íntimamente ligado a los aspectos ecológicos, biológicos y socioculturales (Pérez *et al.*, 2014), como el manejo de plantas que enriquecen el suelo en nutrientes, fijan nitrógeno, así como la atracción de polinizadores, bacterias fijadoras de nitrógeno y descomponedores, y muchos otros organismos que realizan diversas funciones ecológicas; por lo que tienen un aporte significativo al desarrollo sustentable, debido a que la mayoría de las comunidades indígenas se ubican en zonas con alta diversidad de recursos genéticos, que durante años han cultivado y utilizado de manera sostenible. Por lo que una función de este conocimiento es que las comunidades indígenas administran, conservan e influyen en la sostenibilidad de la diversidad biológica (Pérez *et al.*, 2014).

Una de las alternativas en las que ha influido el conocimiento tradicional asociado a los cultivos, es la agroecología (Gliessman, 1998; Altieri y Toledo, 2011), disciplina que define a la agricultura como una práctica ligada al entorno natural y más sensible socialmente, que se centra en una producción sostenible e incorpora los fenómenos ecológicos que ocurren en un campo de cultivo (Martínez, 2008: 24). Es por ello, que su base son los conocimientos y técnicas que han desarrollado los agricultores por medio de la experimentación, por lo que “los sistemas agrícolas están profundamente arraigados en la racionalidad ecológica de la agricultura tradicional” (Altieri y Toledo 2011:6).

De acuerdo con estos argumentos, la importancia de estudiar la agricultura tradicional reside en el aporte de elementos socioculturales de las comunidades campesinas al tema de la agricultura sostenible (González, 2003) y desde el punto de vista agroecológico la agricultura tradicional se debe estudiar por cuatro razones (Altieri, 1991):

1. El conocimiento sobre el ambiente incluye aspectos geográficos (clima, suelos, vegetación y fauna).
2. Las taxonomías biológicas de plantas y animales.
3. Las prácticas agrícolas a través del mantenimiento de la diversidad y continuidad temporal y espacial; la utilización óptima de recursos y espacio; el reciclaje de nutrientes; conservación y manejo de agua, y el control de la sucesión y provisión de protección de cultivos.
4. La naturaleza experimental del conocimiento tradicional.

Las características anteriores son importantes, pues presentan “elementos importantes de sustentabilidad”; es decir, se adaptan al ambiente local, dependen de recursos locales, son de pequeña escala y conservan sus recursos naturales (Altieri, 1991).

En el contexto de la agricultura campesina la sustentabilidad significa lograr sistemas de manejo cuya productividad se mantenga a través del tiempo, adaptables, confiables y resilientes, cuyos costos y beneficios se distribuyan de manera equitativa y generen procesos de autogestión entre los beneficiarios (Altieri, 1999; Masera *et al.*, 1999). En ese sentido, el modelo de producción agrícola debe estar enfocado a la sustentabilidad, es decir hacia el equilibrio de los aspectos sociales, económicos, ambientales y culturales, cuya interacción es fundamental para el funcionamiento de estos sistemas.

Con estos argumentos, sumados a las características de los sistemas productivos tradicionales, se puede decir que estos son una alternativa en el ámbito agrícola, por la diversidad que poseen y que promueve la conservación de recursos (genéticos, edáficos, hídricos), así como la seguridad alimentaria de quienes los manejan (Ávila, 2010).

En México destacan dos sistemas de cultivo tradicionales, la milpa y el huerto de traspatio, ambos de importancia social y económica para las familias.

El huerto de traspatio o solar se practica a escala doméstica para el cultivo de flores, hierbas aromáticas, hortalizas y frutales y de ella se obtienen productos alimenticios de calidad (SAGARPA, 2018). Estos sistemas se caracterizan por encontrarse alrededor de las casas (patios o pequeñas parcelas), por lo que la producción es de autoconsumo, por el manejo familiar y por no depender de agroquímicos, lo que contribuye a la salud de

los consumidores y del suelo (Torquebiau, 1992, en Reyes, 2005; Aké *et al.*, 1999, en Reyes, 2005).

Estos sistemas son importantes al ser sitios de conservación de germoplasma *in situ*, ya que combinan la sustentabilidad ecológica y socioeconómica, lo que ha permitido hacer un uso y manejo adecuado de los recursos para obtener productos básicos de subsistencia (Rebollar *et al.*, 2008).

Por otro lado, la milpa, cuyo nombre deriva del náhuatl *milli*, parcela sembrada, *pan*, encima, en; por lo tanto, se puede traducir como “lo que se siembra encima de la parcela”. Milpa es, entonces, tanto el espacio físico de tierra, la tierra, la "parcela", como las especies vegetales, la diversidad productiva que sobre ella crece (Cásares *et al.*, 1998). Es un policultivo que combina diferentes especies vegetales, lo que permite incrementar la adaptación del agroecosistema, así como la variedad alimentaria de los productores. Los principales cultivos que lo conforman son maíz (*Zea mays L.*), frijol (*Phaseolus vulgaris* y *P. lunatus L.*), calabaza (*Cucurbita argyrosperm Huber* y *C. moschata Duch*) (estos tres se conocen como la triada mesoamericana), chile (*Capsicum spp*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022; Cuanalo y Uicab, 2006).

La milpa es el agroecosistema de mayor importancia en Centroamérica debido a su extensión ya que la mayoría de los campesinos lo implementan para la obtención de alimento sin embargo no existe un solo “tipo” de milpa, ya que depende de las características de suelo, clima, de las especies disponibles, de las tradiciones y saberes locales, así como de los gustos y necesidades tanto culinarias como alimenticias del campesino lo cual lo hace un agroecosistema complejo, difícil de caracterizar (Bautista *et al.*, 2005).

El manejo de los recursos naturales exige paradigmas que ubiquen en el mismo espacio los tres aspectos de la sustentabilidad: el social, el ambiental y el económico, y que además consideren las interrelaciones de los elementos que componen el sistema. Sin embargo, no se trata de “crear” paradigmas, si no de observar y analizar modelos de gestión que a lo mejor no caen en lo “científico”, pero justamente por las prácticas que involucran han perdurado a través del tiempo.

Un ejemplo de lo anterior son los sistemas de cultivo tradicionales que han demostrado ser eficientes en el manejo y la optimización de sus recursos, así como en la capacidad productiva a través del tiempo debido a la diversidad que la compone; estas condiciones los hacen sistemas que tienden a la sustentabilidad, sin embargo esta involucra también las condiciones del suelo, que al ser la base para la agricultura también requiere un manejo para mejorar y conservar su calidad; y en este punto los sistemas tradicionales tienen ventaja ya que destacan por el uso de plantas que aportan nitrógeno y materia orgánica, que contribuyen a la estabilidad del suelo.

Además, al ser sistemas adaptables al ambiente (suelo, clima, relieve), desde la gestión integrada de cuencas puede ser una opción que contribuya a este proceso por los principios ecológicos a los que están asociados y por el papel que juega el ser humano al preservar la diversidad cultural que forma parte de estos sistemas tradicionales.

2.4 Importancia de la evaluación de la sustentabilidad en la gestión integrada de cuencas

Por definición los procesos de gestión integrada de cuencas deben alcanzar metas de aprovechamiento de los recursos (crecimiento económico, transformación económica), así como manejarlos con el fin de preservarlos, conservarlos o protegerlos (sustentabilidad ambiental), por esta razón, el modelo de desarrollo en cuenca se basa en la premisa de que el desarrollo del hombre será sustentable en la medida que actúe en forma armónica con el entorno, por lo que la gestión se enfoca en el potencial y las necesidades de manejo de los recursos naturales en una forma ambientalmente sustentable, adicionalmente el sistema de gestión debe permitir que los usuarios participen en las decisiones con el fin de tender a la equidad (Cotler, 2007). Considerando estos argumentos resulta pertinente evaluar el efecto de las acciones que se realizan dentro de la cuenca y si están encaminadas hacia la sustentabilidad.

En sentido estricto, la sustentabilidad se puede definir como “un proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico, social y cultural que tiende a mejorar la calidad de vida, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos

naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras” (De Próspero *et al.*, 2019). En el contexto de la agricultura campesina la sustentabilidad significa poder lograr sistemas de manejo de los recursos naturales que sea productivos, adaptables, confiables y resilientes, que distribuyan sus costos y beneficios de manera equitativa y generen procesos de autogestión entre los beneficiarios, (Maserá *et al.*, 1999), y que además mantengan su capacidad productiva a través del tiempo sin comprometer los elementos estructurales y funcionales del sistema (Altieri, 1999).

En la práctica existe la necesidad de evaluar la sustentabilidad de diferentes proyectos productivos en el sector rural de México, que bajo variadas formas de manejo (agrícola, ganadero, forestal, entre otros) demandan nuevos esquemas de evaluación que puedan ayudar a estimar y por lo tanto a reconocer los esfuerzos por avanzar hacia una mayor sustentabilidad ecológica, social y económica.

Los marcos de evaluación convencionales dedicados a evaluar la sustentabilidad se enfocan en una sola área disciplinar o en un solo tipo de sistema de manejo, por lo general lo hacen desde el punto de vista económico y en menor medida desde el ambiental y social (Maserá *et al.*, 1999), por lo que se apoyan fuertemente en el análisis costo beneficio, lo cual no es adecuado pues favorece únicamente la rentabilidad a corto plazo, además de que están enfocados a la agricultura comercial. Con esto las experiencias campesinas son infravaloradas y compiten desfavorablemente con los sistemas convencionales (Maserá y López, 2000 en Astier y Hollands, 2005).

Dado que las cuestiones socioambientales son las que más preocupan por ser de vital importancia para la especie humana, considerar estos parámetros es fundamental en la evaluación de la sustentabilidad de un proyecto productivo, por lo que medirla bajo parámetros ambientales, económicos y sociales, es comprometerse a mejorar procesos que mejorarán a su vez el sistema en el cual se desarrollan, en este contexto la cuenca, además permite detectar áreas de oportunidad de los proyectos productivos que se ejecutan en las tres áreas para obtener insumos que permitan diseñar estrategias y mecanismos que fortalezcan las capacidades de los actores involucrados.

3 ANTECEDENTES.

A nivel internacional se han desarrollado varias investigaciones sobre los efectos de la implementación de coberturas vegetales para disminuir la erosión y fomentar la recuperación de suelos afectados por este fenómeno. Uno ejemplo de esto, son los matorrales, Bienes *et al.* (2012) tras realizar experimentos en viñedos con las especies *Atriplex halimus* y *Retama sphaerocarpa*, concluyeron que por su cobertura tienen mayor resistencia al impacto de la gota en las parcelas en las que las emplearon y que la estabilidad estructural de suelo se incrementa en un 21 % en relación con la vegetación espontánea, y las partes inferiores de la ladera presentan incrementos de hasta un 103% con respecto a las partes altas.

Por su parte, Durán *et al.* (2014) señalan que, en plantaciones de olivo y almendra, en las que se sembró *P. halepensis* y *P. sylvestris*, las tasas de erosión y escorrentía en los suelos fueron mínimas, lo cual se atribuyó a la copa de los árboles y por la hojarasca que generan y que protege la superficie del suelo. Además, sugieren que la mayor diversidad de plantas proporciona una estabilidad al suelo por los sistemas radiculares. García (2012), en su análisis encontró que *R. sphaerocarpa*, el arbusto más característico de los pastizales que colonizan el suelo tras el abandono de la agricultura en el centro de España tiene una capacidad de protección del suelo moderada, pero que complementa los efectos del pastizal y apenas genera pérdidas por interceptación.

Chirino *et al.* (2003) encontraron que las formaciones vegetales derivadas de la regeneración natural (pastizal seco y matorral) reducen la escorrentía superficial y la erosión en igual magnitud que las formaciones resultantes de la reforestación con pino carrasco, es decir en casi un 70 %. Siguiendo esa misma línea, en México se han ensayado métodos para la recuperación de suelos erosionados y se encontró que en las zonas de matorrales y pastizales la pérdida es menor que en las zonas agrícolas (Andrade *et al.*, 2012).

Otro tipo de cultivo empleado en España, son las gramíneas; en un experimento realizado en viñedos se concluyó que la pérdida de suelo en zonas con gramíneas y cubiertas sembradas, las pérdidas de suelo son de 0.24 y 0.32 toneladas al año, cifras

que son inferiores a los 1.76 toneladas al año y que es considerada como la pérdida máxima admisible en esa zona (Bienes *et al.*, 2012). Mientras que Ovalle *et al.* (2020) señalan que las gramíneas, por la cobertura que proporcionan y por su aporte de nitrógeno al suelo mejoran sus condiciones, y en el caso de las tierras de uso agrícola se reduce el uso de fertilizantes.

Por su parte, Repullo *et al.* (2014) y Ramírez (2014) en estudios diferentes para medir la eficiencia de las cubiertas vegetales de gramíneas, crucíferas y leguminosas para reducir la erosión, concluyeron que cualquier especie de estas familias redujo en más de un 70 % la escorrentía generada respecto al sistema de laboreo.

En cuanto al uso de Plantas Aromáticas y Medicinales (PAM), a nivel internacional se han publicado algunos trabajos en los que se analiza la relación entre el cultivo de PAM y su aporte a la recuperación de suelos erosionados. Se ha demostrado que por su fugacidad y resistencia a un medio adverso (frío, sequía, pobreza del suelo), estas plantas tienen un carácter colonizador. Además, por sus variados sistemas radiculares, profundos o someros, y rizomas, sujetan el suelo y frenan o impiden la erosión, por lo que son muy adecuadas para sujeción de suelos desnudos (Arteaga, 2015).

En las tierras marginales, actualmente yermas por su escaso o nulo interés agrícola, se desarrollan bien la mayoría de estas plantas, que evitan la degradación y erosión del suelo, atraen a las abejas, que fomentan la polinización y mantienen el equilibrio ecológico. Además, en aquellos suelos cuya naturaleza o por una agricultura abusiva, son o se han vuelto inútiles para otros cultivos, pueden cultivarse con éxito algunas de estas especies, como la salvia española en terrenos muy yesosos (García, 2010).

Un estudio realizado por Martínez *et al.* (1993) en Granada, España, sobre plantas aromáticas, melíferas y medicinales enfocado a la lucha contra la erosión, demostró el impacto de diferentes especies en la retención del agua de lluvia en el suelo. Para este estudio, se utilizaron 13 especies en base a criterios morfológicos, ecológicos, fenológicos y productivos, además de su importancia apícola, así como su potencial de aprovechamiento de aceites esenciales y por su efecto protector contra la erosión de suelos ubicados en áreas consideradas como críticas. El resultado arrojó que estas

especies proporcionan una protección eficaz contra la escorrentía, favoreciendo así la incorporación de la lluvia al suelo.

Otro estudio realizado por Bienes *et al.* (2010) en España, señala que el cultivo de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias (PAM y C), puede contribuir a la recuperación de suelos erosionados, ya que ha demostrado que algunas especies como la salvia (*Salvia lavandulifolia*) y el romero (*Rosmaris officinalis*), tienen efectos positivos sobre la infiltración, la escorrentía y la pérdida del suelo en parcelas labradas sin vegetación, sin embargo influye la intensidad de cosecha, ya que a menor intensidad, menor impacto (Rodríguez *et al.*, 2007).

Además de estos estudios; en varios países de Europa como Italia, España, Finlandia, Hungría, Holanda, Reino Unido, Alemania y Suiza, se han implementado cultivos diversificados que incluyen a las aromáticas y medicinales, como una medida para hacerlos más sostenibles, rentables y con menor riesgo de erosión de los suelos. El proyecto, conocido como “Diverfarming” (2020), ha arrojado sus primeros resultados, como la reducción de la erosión del suelo en uno de los sitios de estudio en España, en el que se introdujeron alcaparra y tomillo entre las calles de un campo de almendros. Además, con la diversificación de los cultivos, aumentó la disponibilidad de nitrógeno debido a la introducción de leguminosas en el cultivo de mandarinas, lo cual representó una reducción del 30 % de la fertilización nitrogenada. Las diversificaciones han supuesto, además, un aumento de la biodiversidad y de los polinizadores, determinantes para la producción. También, resalta el hecho de haber obtenido dobles cosechas en algunos de los casos de estudio, por ejemplo, el tomillo sembrado entre almendros dio un rendimiento de 7 litros de aceite esencial por hectárea (Diverfarming, 2021).

En México se han realizado trabajos que incluyen especies de importancia económica en las coberturas de protección, tal es el caso de Flores *et al.* (2013) que en un análisis comparativo entre tres tipos de cultivos (agave, maíz y pasto), concluyeron que, dependiendo de la edad, distribución de las hojas y forma de vida, la capacidad de retención del suelo es diferente, por ejemplo en el caso del agave, después de los tres años es cuando hay una mayor resistencia a la erosión hídrica y aunque las hojas ayudan a distribuir mejor el agua durante las precipitaciones, es necesario proteger mejor el

suelo, especialmente en los primeros años de vida de la planta. Por su parte el maíz, presentó pérdidas de suelo similares en los 9 años de estudio, excepto en los primeros 45 días después de su emergencia, donde se presentó una alta erosión hídrica, posteriormente solo las tormentas con alta cantidad de lluvia implicaron una elevada erosividad; en ese sentido los cultivos de maíz requieren mayor protección durante los primeros 45 días.

En otro estudio similar, pero con cuatro especies, frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), avena (*Avena sativa*) calabacita (*Cucurbita pepo L.*) y maíz (*Zea mays*), se concluyó que la pérdida de suelo manifiesta una respuesta de mayor a menor en avena > calabacita > frijol > maíz, principalmente en los primeros 50 días de desarrollo de los cultivos. No obstante, el cultivo de frijol presenta la mejor correlación entre el incremento de la cobertura vegetal y la reducción de la pérdida de suelo seguido por calabacita, maíz y avena (Huerta *et al.*, 2018). Comparando con el estudio anterior, hay una diferencia de 5 días en los que se requiere protección para el desarrollo de la planta.

Osuna y Esquivel (1996), también resaltan la cobertura que provee el maíz, siendo los aspectos más notorios que logra interceptar el 40 % de la energía cinética de la lluvia precipitada durante todo el ciclo del cultivo, lo cual lo caracteriza como un cultivar de baja protección del suelo, además de que las tasas más altas de erosión se presentan los primeros 30 días, concluyendo así que las mayores pérdidas de agua y suelo suceden en las primeras etapas de desarrollo de las plantas. Por su parte Nicholls (2019), señala que la adopción del frijol terciopelo además de que ayuda a reducir la erosión del suelo, fomenta el aumento de la producción en tierra agrícolas.

Otros autores señalan que la vegetación arbustiva en el control de la erosión, es la mejora indirecta de las propiedades físicas y químicas del suelo, esencialmente por la incorporación de materia orgánica, (Marqués *et al.*, 2003; Durán *et al.*, 2008), mientras que Morales (2018) señala que los árboles fijadores de nitrógeno constituyen la única forma de control de la erosión en muchas zonas de ladera principalmente, pero al combinarlos con pastos se realiza un control inmediato de la erosión, mientras que los árboles fijadores de nitrógeno darán un control a largo termino, siendo esta la forma en que mejor se controla la erosión.

Sánchez (2013), en un trabajo realizado en la microcuenca La Joya, en Querétaro, propone el uso de flora nativa valiosa para los habitantes en la restauración ecológica, siendo así que entre las especies que enlista se encuentran: *Eysenhardtia polystachya* (Palo dulce), *Quercus mexicana* (Encino), *Myrtillocactus geometrizans* (Garambullo), *Quercus castanea* (Roble), *Acacia shaffneri* (Huizache chino), *Acacia farnesiana* (Huizache), *Opuntia robusta* (Nopal taponá), *Lysiloma microphylla* (Tepehuaje), *Opuntia lasiacantha* (Nopal) y *Condalia mexicana* (Granjeno). Todas ellas de importancia social y ecológica ya que además de ser importantes para el control de la erosión, infiltración de agua de lluvia, mejorar los suelos con su hojarasca, fijar nitrógeno a los suelos, son importantes por su aptitud como forrajeras, y la resistencia a las condiciones alta radiación solar, hacen de estas una importante alternativa en el manejo de las áreas degradadas y la recuperación de suelos.

En lo referente al cultivo y uso de las plantas aromáticas y medicinales, está relacionado con la cultura y las tradiciones, y en los últimos años se ha asociado al nuevo mercado de productos de belleza y orgánicos por sus propiedades. Sin embargo, aún no se ha explorado su potencial para la recuperación de suelos erosionados, aunque, Arteaga (2015) propone el cultivo de plantas aromáticas y medicinales como un detonante para el desarrollo de la microcuenca Buenavista, en el estado de Querétaro y señala el potencial de este cultivo para reducir la presión sobre los recursos de la zona, entre ellos los suelos erosionados.

4 CONTEXTO ACTUAL

4.1 El cultivo de Plantas Aromáticas y Medicinales (PAM) en México

En México el cultivo de plantas aromáticas y medicinales forma parte de la cotidianidad, por lo que generalmente se cultivan a pequeña escala en jardines, patios y terrazas y su comercialización se realiza mayormente en los mercados locales. Sin embargo, en la actualidad, y gracias a sus principios activos, su demanda ha aumentado para la elaboración de medicamentos, cosméticos, suplementos alimenticios, entre otros.

De acuerdo con Juárez-Rosete *et al.* (2013), hasta 2009 no había registros oficiales de la superficie dedicada a la producción comercial de plantas medicinales y aromáticas, pero a consecuencia del aumento de su demanda; a partir del 2011 se empezaron a

publicar de manera anual datos referentes a la superficie sembrada, volumen y precio de la producción a nivel nacional (Tabla 1), a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), que depende de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), antes Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

De acuerdo con los datos SADER de 2020, se destinaron 2,445.34 hectáreas (Ha) a la producción comercial de plantas aromáticas y medicinales, entre las que destacan por superficie la manzanilla con 899.19 Ha, la albahaca con 371.09 y el quelite con 242.9 Ha; por rendimiento (toneladas por Ha) la albahaca, el epazote y la hierbabuena y por valor de producción de nuevo la albahaca, el quelite y la manzanilla.

Tabla 1 Principales hierbas aromáticas y medicinales cultivadas en México

Nombre del cultivo	Superficie sembrada (Ha)	Rendimiento (Toneladas por Ha)	Valor de la producción (Pesos por tonelada)	Estatus en México *
Albahaca	371.09	88.69	41,953,177.86	Exótica
Comino	30.10	1.55	1,317,446.45	Exótica
Eneldo	98.36	20.80	8,695,936.66	Exótica
Epazote	189.74	69.02	8,331,031.69	Nativa
Espicias y medicinales	128.02	15.41	4,063,068.27	
Hierbabuena	44.07	58.62	2,086,566.05	Exótica
Manzanilla	899.19	32.11	17,924,123.54	Exótica
Mejorana	59.42	20.97	2,078,920.11	Nativa
Menta	54.17	53.69	9,611,282.28	Exótica
Orégano	78.06	19.94	3,046,302.91	Nativa/ Endémica
Quelite	242.9	27.58	32,670,669.16	Nativa
Romero	66.21	26.83	3,675,844.44	Exótica
Salvia	79.00	20.51	6,086,524.02	Exótica
Tarragon	18.31	19.37	1,589,476.03	Exótica
Té limón	37.37	7.45	300,129.68	Exótica
Tomillo	49.33	21.92	2,856,462.19	Exótica
Total	2,445.34	504.46	146,286,961.34	

*Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2020; *Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), 2021.*

Una de las características importantes del mercado nacional de plantas medicinales y aromáticas es que el 75 % provienen de comunidades indígenas y rurales de la región centro-sur de la República Mexicana (González Stuart y Rivera, 2009). También hay que

destacar, que del total de los productos orgánicos que se cultivan en México, el 8 % corresponde a estas especies y se destinan al mercado extranjero, principalmente a Estados Unidos, Japón y Europa (SADER, 2019). Estas condiciones hacen del cultivo de las PAM un área de oportunidad para el desarrollo de las comunidades rurales, aunque es necesario generar estrategias de aprovechamiento que a largo plazo se traduzcan en beneficios económicos y ambientales.

Es importante destacar que en México se ha documentado la riqueza de plantas medicinales desde la época de la conquista, documentos señalan que en las expediciones que se realizaron a la Nueva España, como la de Francisco Hernández de Toledo (1570-1577) y la de Martín Sessé y Lacasta y José Mariano Mociño (1787-1803) tenían como uno de sus objetivos documentar la riqueza biológica, incluyendo a las plantas mediciones. Y en 1791 se creó el Real Jardín Botánico de la Ciudad de México en el Palacio Virreinal, hoy Palacio de México, (Zamudio, 2002).

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, s.f.), en 1990 se integró la Biblioteca de Medicina Tradicional Mexicana en el Instituto Nacional Indigenista (hoy Instituto Nacional de Pueblos Indígenas [INPI]), que dio lugar a la Biblioteca Digital de Medicina Tradicional Mexicana que reúne alrededor de 2,000 especies de plantas de 183 familias (alrededor de 28 % árboles, 28 % arbustos y 44 % hierbas).

Otro documento de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2021), menciona el registro del Instituto Mexicano del Seguro Social que contiene 3,000 especies de plantas con atributos medicinales, de las 4,000 que se calcula que existen en México, y que representan el 15 % del total de la flora mexicana, de las cuales sólo se ha hecho análisis farmacológico del 5 % del total de esas plantas. De ese universo, 250 se comercializan de manera cotidiana.

Sin embargo, no todas las plantas que aparecen en el inventario son plantas nativas. De acuerdo con Bye *et al.* (1995), en una encuesta realizada por el IMSS entre 1983-1984 en las zonas rurales, se entrevistó a 13,034 médicos tradicionales, y se les solicitó que nombraran las 10 plantas que más utilizan, de las cuales la mitad son introducidas y la otra mitad nativas. Esto también se refleja en la producción comercial que se hace (Tabla

1), en la que, de las 15 principales especies producidas, únicamente cuatro son nativas: epazote, mejorana, quelites y orégano.

4.2 Árnica, una planta nativa mexicana.

El árnica (*Heterotheca inuloides*), es una planta nativa de México (Vibrans en CONABIO, 2009), que de acuerdo con la Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana (2009), se utiliza como cicatrizante, desinfectante, desinflamante, analgésico, se puede aplicar como cataplasma, consumirse como té o infusión y actualmente, se emplea en la elaboración de cremas corporales y faciales, así como pomadas para el dolor y/o moretones. Esta misma biblioteca señala que entre los registros históricos que se han hecho de esta planta, destaca el de Vicente Cervantes (S. XVIII), que indica que se utilizaba para curar el vértigo, epilepsia, palpitaciones del corazón y otras enfermedades procedentes de la debilidad. En el siglo XIX, se registró su uso para contusiones, como diurético, vulnerario (llagas y heridas) y emetocatórtico (vomitivo y purgante). Maximiliano Martínez, en el siglo XX, la indica para contusiones y Luis Cabrera, como antipalúdica, antipirética (reduce la fiebre), para bronquitis, contusiones, deficiencia visual, heridas y como tónico. La Sociedad Farmacéutica de México la ha definido como diaforético (sudorífico), estornutatorio, y para las heridas y las contusiones.

En la ficha técnica de CONABIO (Vibrans en CONABIO 2009), la describe como una planta herbácea perenne, raramente dominante, que puede medir hasta 1.5 m de altura. Su tallo es erecto, no muy ramificado con pubescencia y hojas alargadas, su raíz se clasifica como pivotante, es decir que crece verticalmente hacia abajo y a partir de la cual puede surgir otras raíces lateralmente. Una de sus principales características es su flor amarilla, que se agrupa con otras. La misma ficha señala que está asociada a bosques de encino-pino, pastizales perturbados, matorral xerófilo y bosque tropical caducifolio. En México, se le puede encontrar en los estados del centro de país, como Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Tlaxcala y Veracruz.

De acuerdo con el Centro de Desarrollo Rural Integrado de Cataluña [CEDRICAT] (2009) la estrategia para la producción sostenible del árnica (*Árnica montana*) se resume en cinco puntos:

1. Cultivo como fuente de aprovisionamiento:

Aunque de manera silvestre se da, se recomienda el cultivo como opción viable para obtener cantidades comerciales de materia prima, para evitar la sobreexplotación.

2. Cultivos a pequeña escala:

Se recomienda que al principio se realice en superficies próximas a los núcleos habitacionales o en los huertos familiares por la mano de obra y el tiempo que se requiere, según la literatura se requiere de 2,000 a 3,000 horas anuales de mano de obra y de 20 a 30 de tracción por hectárea. Por lo que al inicio se recomienda hacer plantaciones de 1000 a 2000 m².

3. Producción ecológica:

Ya que contribuye a la conservación del medio ambiente, por evitar el uso de agroquímicos y el producto final tiene una calidad diferenciada que podría ser certificado y por ende con una mayor posibilidad de venta, ya que en algunos sectores se exige que el producto sea ecológico, es decir libre de agroquímicos.

4. Cultivo a partir de material genético autóctono

Se recomienda utilizar el material genético local, ya que los cultivos se pueden convertir en sitios de conservación *ex situ*. Además, da un carácter local al producto y podría dar un valor añadido y dar un sentido de arraigo de los productores. En el caso de la microcuenca, la especie que se cultiva es *Heterotheca inuloides*, la cual es nativa para México.

5. Dos posibilidades de comercialización: producto elaborado o como materia prima

Estos dos tipos de producción pueden ser complementarios, a mediano o corto plazo se puede introducir la elaboración de productos derivados, como productos de belleza cuya demanda ha aumentado en los últimos años y pueden comercializarse como productos artesanales.

Esta propuesta de producción sostenible, si bien, es para una especie europea, puede replicarse para la especie *Heterotheca inuloides* en los sistemas de producción

tradicionales de la microcuenca La Joya por los criterios que plantea y que incluso ya se cumplen con algunos como el cultivo a pequeña escala, la ausencia de agroquímicos, el uso de semillas que se colectan dentro de los mismos sistemas y que los productores forman parte de la cadena de suministro de la Sociedad de Producción Rural Mujeres (S.P.R) y Ambiente.

5 ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca La Joya se localiza al Noroeste del Municipio de Querétaro, tiene una superficie de 15.84 Km², que se extienden sobre los límites político-administrativos con el estado de Guanajuato, es decir un 80 % de su superficie se encuentra en el estado de Querétaro y el 20 % en el estado de Guanajuato, específicamente en el municipio de San Miguel Allende (Figura 1). Tiene como coordenadas extremas 100° 34' 46.26" y 100° 32' 1.06" n Longitud Este y 20° 46' 43.79" y 20° 49' 47.58" en Latitud Norte, expresada en coordenadas geográficas

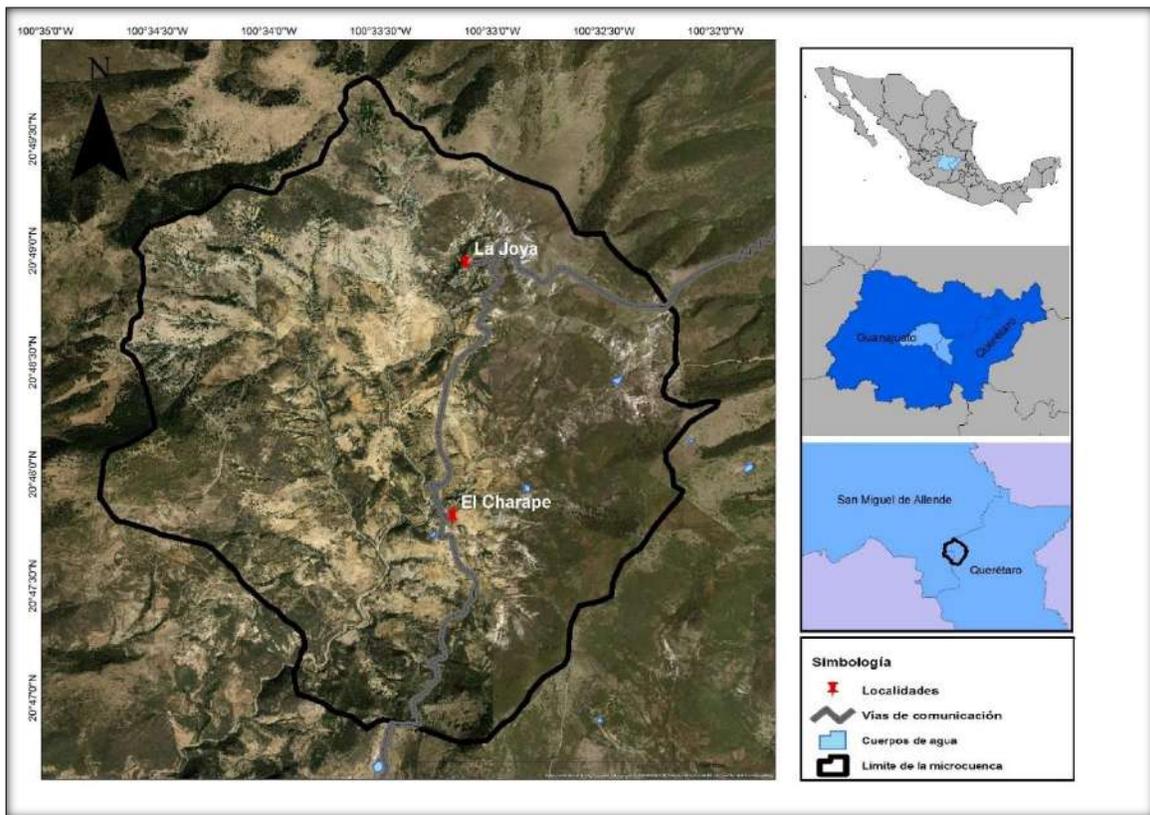


Figura 1 Ubicación de la cuenca La Joya. Fuente: Elaboración con base en la información del INEGI (2014).

5.1 Características biofísicas

Por su relieve, cuyo rango altitudinal va de los 2,220 msnm hasta los 2720 msnm, la cuenca se puede describir como una cuenca en fase de madurez, es decir se trata de un relieve montañoso con laderas de fuertes pendientes originando una variedad de geoformas tales como: laderas altas volcánicas ubicadas en la porción este, laderas altas volcánicas disecadas en la porción oeste, laderas medias volcanadas en la parte media de la microcuenca, cimas planas y terrazas localizadas principalmente en la parte central de la microcuenca como parte del mosaico de laderas medias, cumbres y crestas volcánicas ubicadas en las partes de mayor altitud; escarpes formados por pendientes abruptas en las laderas altas, valles, valles intermontanos, barrancas, cañadas y llanos aluviales, los cuales son las principales geoformas formadas a partir de la acción desgastante o acumulativa de los ríos y por último, piedemonte y flujo de escombros, los cuales se encuentran a las faldas de las laderas altas formados por la acción gravitacional. De acuerdo con el análisis morfométrico la pendiente de la cuenca es fuerte (32.02 %), con una elevación media de 2,418 msnm (UAQ, 2009).

Por las características del drenaje, la microcuenca se clasificó como exorreica con una red drenaje alta, ya que está compuesta por 431 cauces lo cual significa que hay 27.20 corrientes por km² lo que se traduce en una mayor capacidad de coleccionar agua, y al mismo tiempo en mayor erosión.

En cuanto al clima, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1964), el clima predominante es semiseco templado BS1kw (w) que corresponde al grupo de climas Secos (B) de tipo semiseco, con temperatura media anual inferior a los 18° C y con un régimen de lluvias en verano (mayo-septiembre).

5.2 Suelo

Los suelos del área de estudio tienen un origen volcánico, por lo que dentro de la cuenca el mosaico no es variado debido, principalmente, a la homogeneidad mineralógica de las rocas y su origen, esto es relevante, ya que la microcuenca está inmersa en el cono del volcán La Joya (Sánchez, 2013).

De acuerdo con la carta edafológica E14F55 del INEGI (1973), con escala 1:50,000, en la zona se encuentran dos tipos de suelos, el Leptosol y el Phaeozem. Los leptosoles

son suelos que predominan en la cuenca y se caracterizan por estar poco desarrollados con escasa profundidad, generalmente no superior a 25 cm y alto contenido de piedras de diverso tamaño. Se localizan en las partes altas de cerros y lomeríos con pendientes abruptas donde poco o ningún material del suelo se ha acumulado, principalmente en aquellas desmontadas para su incorporación a la agricultura de temporal o pastoreo, lo que ha incrementado la erosión y disminuido la profundidad del suelo (FAO, 2001, Sánchez, 2013).

Los Phaeozems son suelos pardos, cuya profundidad oscila entre los 10 a 25 cm, dependiendo de la profundidad total del perfil, con horizonte superficial más oscuro que el resto del perfil, con contenidos mayores al 2 % de materia orgánica. En este caso el horizonte superficial es de estructuras de pequeños bloques tendientes a granular, de consistencia dura en seco y en húmedo friable (FAO, 2001).

Sin embargo, de acuerdo con la clasificación realizada por Barrientos (2013) mediante muestreos, análisis de perfiles y de laboratorio, determinó que existen tres tipos de suelos en La Joya, leptosol, regosol y cambisol.

Los regosoles, son suelos muy jóvenes que se desarrollan sobre material no consolidado, de colores claros y pobres en materia orgánica; muchas veces se asocian con los Leptosoles y con afloramientos de roca o tepetate (SEMARNAT, 2012); en zonas áridas tienen escasa vocación agrícola, aunque su uso depende de su profundidad, pedregosidad y fertilidad, por lo que sus rendimientos son variables (FAO, 2001).

Los cambisoles se caracterizan por la ausencia de una capa de arcilla acumulada, humus, sales solubles u óxidos de hierro y aluminio. Se diferencian del material parental no meteorizado por su estructura de agregados, color, contenido en arcilla, contenido en carbonatos u otras propiedades que evidencian procesos de formación del suelo. Debido a su favorable estructura de agregados y a su alto contenido en minerales meteorizables, suelen poder explotarse para la agricultura con las limitaciones del terreno y el clima (Britanica, 2016).

5.3 Caracterización socio económica

Dentro de la microcuenca se encuentra tres comunidades, una de ellas es El Pinalillo, que corresponde al estado de Guanajuato, pero no se incluye en esta investigación por cuestiones administrativas, las otras dos comunidades son La Joya y Charape La Joya, ambas pertenecientes a la delegación Santa Rosa Jáuregui, Querétaro.

De acuerdo con el informe final del Centro Regional de Capacitación en Cuencas (CRCC) (Pineda *et al.*, 2014), las primeras referencias que se tienen de las localidades de la microcuenca datan de 1675 en las que Septién y Villaseñor, describe como fue el proceso de cambio de uso de suelo y vegetación en la zona

“el hacha del leñador ha talado enteramente esas montañas, despojándolas de sus pomposos vestidos, y dejando desnuda en los valles la tierra que los bosques sombreaban, para que el labrador la consagre a otras especulaciones agrícolas más lucrativas” ... “el más importante ramo de explotación es el cultivo de la tierra” (Fragmento tomado del PRPC La Joya, 2009:50).

De acuerdo con Plan Rector para el Manejo de la Microcuenca (UAQ, 2009), las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería de subsistencia basadas, principalmente, en el cultivo de maíz y frijol, y en la cría de bovinos, ovinos y caprinos de las cuales obtienen rendimientos muy bajos debido a la escasez de recursos tanto económicos como naturales. Sin embargo, por la naturaleza extensiva de esta última actividad, la microcuenca presenta problemas de pérdida de la cobertura vegetal, por lo que el suelo ha ido perdiendo su capacidad productiva al compactarse por el tránsito de los animales.

Además de las actividades del campo, los hombres se desempeñan como albañiles, ayudantes de albañil o veladores en la ciudad de Querétaro; mientras que las mujeres desarrollan actividades propias de la casa habitación, donde además atienden huertos y granjas de traspatio, algunas elaboran tejidos, macetas, dulces y algunas se emplean como trabajadoras domésticas en la ciudad (UAQ, 2009). En términos generales las actividades que se realizan son de subsistencia.

Dada la falta de oportunidades laborales y la necesidad de los habitantes, la microcuenca presenta movimientos migratorios hacia la capital del Estado, así como a diferentes

ciudades del país como la Ciudad de México, pero principalmente migran hacia los Estados Unidos, por lo que existe una alta dependencia económica hacia las remesas.

5.3.1 Sistema agrícola de producción

De acuerdo con los datos históricos, se infiere que alguna vez hubo aprovechamiento forestal y la actividad económica principal fue la agricultura, sin embargo, la presión de ambas actividades ha contribuido a la degradación de los recursos del área.

Actualmente la actividad agrícola es de subsistencia y se practica bajo sistemas de producción tradicionales, uno de estos sistemas es la milpa en la que se siembran maíz y frijol principalmente, asociados a la calabaza y la papa, con la finalidad de mantener la diversidad característica de este sistema y que contribuye a la protección contra plagas y enfermedades, así como a mejorar la producción, ya que los productores han comprobado que al sembrar sólo maíz o frijol (monocultivos) la producción se ve disminuida (UAQ, 2009).

Otro sistema de importancia para la zona, son los huertos de traspatio en el que las mujeres tienen un papel importante al ser quienes gestionan estos espacios los cuales se encuentran dentro de la unidad doméstica y están destinados a la producción de hortalizas, así como plantas aromáticas y medicinales de importancia (UAQ, 2009).

Una característica de ambos sistemas es la aplicación de estiércol que se encuentra disponible por la actividad agropecuaria que se realiza a partir de la crianza de traspatio de aves, conejos y porcinos, así como de la actividad de pastoreo (bovinos, ovinos, caprinos y equinos).

Además de la producción de hortalizas y alimentos, existe un grupo de productores de árnica (*Heterotheca inuloides*) que se formó en 2019 bajo la coordinación de la UAQ y la S.P. R. Mujeres y Ambiente, enmarcado en el Protocolo de Nagoya. En sus inicios el grupo estaba conformado por siete integrantes, dos hombres y cinco mujeres, que al interior de sus sistemas de cultivo tradicionales (huertos de traspatio y milpas) comenzaron a manejar esta especie con fines comerciales.

Actualmente son cinco mujeres y un hombre los que realizan esta actividad, siendo este último el representante del grupo y el integrante más joven. Las actividades se realizan

en tres huertos de traspatio y dos milpas ubicados en la cuenca media, específicamente, dos en la comunidad del Charape y tres en La Joya. Las condiciones de los sitios difieren en superficie, especies que se manejan, pendiente, por lo que cada productor maneja su sistema en función a las condiciones de su sistema productivo.

6. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Este trabajo se fundamenta en la necesidad de generar evidencia sobre el efecto del cultivo de árnica en sistemas de producción tradicionales sobre el suelo y la importancia de evaluar la sustentabilidad de la producción que se realiza. Esto permitirá detectar áreas de oportunidad desde el punto de vista económico, social y ambiental que contribuyan a mejorar la actividad productiva y reducir el impacto a nivel del suelo.

Considerando estos elementos, el enfoque de esta investigación parte de la gestión integrada de cuencas cuyos objetivos son el aprovechamiento, conservación, preservación y protección de los recursos naturales, por lo que la metodología que se utilizó combina análisis de laboratorio para la caracterización física y química del suelo, objeto de estudio de esta investigación, y la Herramienta de verificación de principios y criterios de sustentabilidad en proyectos productivos (Figura 2), que en conjunto proporcionan una perspectiva más amplia del impacto del proyecto para los productores y sus sistemas de cultivo, y facilitan la propuesta de estrategias que los beneficien económica, social y ambientalmente.

Métodos

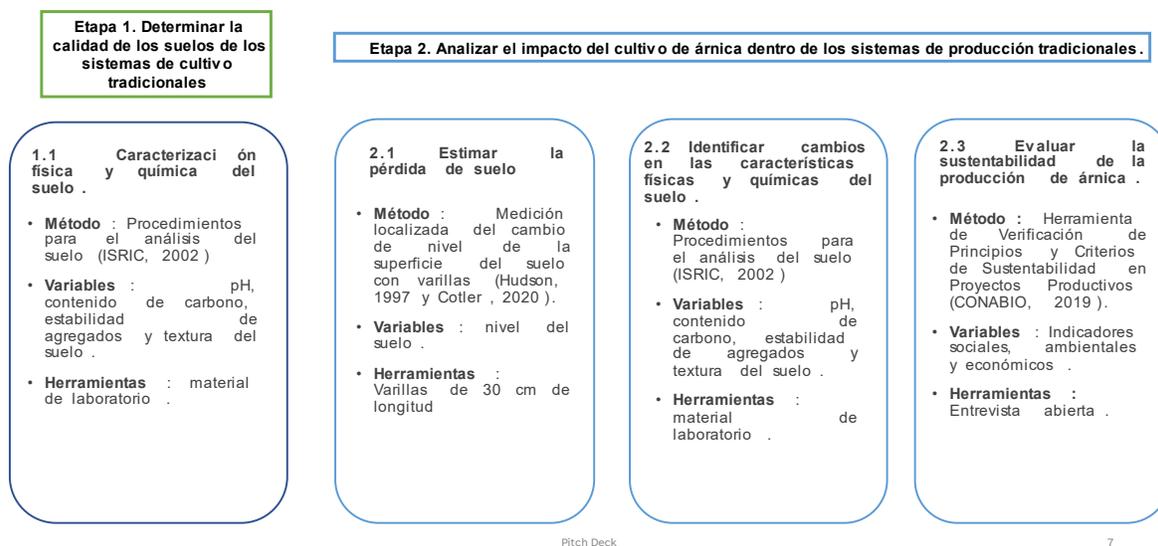


Figura 2 Diagrama metodológico

Es importante mencionar que para facilitar la identificación de los sitios se estableció una nomenclatura basada en el tipo de sistema de cultivo (huerto y milpa), el número de sitio y la comunidad en la que se encuentra. Quedando de la siguiente manera: Hu; Huerto; Mi: Milpa; Ch: Charape; LJ: La Joya.

1. Hu1Ch: Huerto 1 del Charape
2. Hu2Ch: Huerto 2 del Charape
3. Hu3LJ: Huerto 3 de La Joya
4. Mi1LJ: Milpa 1 de La Joya
5. Mi2LJ: Milpa 2 de La Joya

6.1 Estimación de la pérdida de suelo con el método de varillas

Los sistemas de producción tradicionales en estudio son sitios diversificados, cuya superficie varía de acuerdo con el tipo de sistema y las necesidades de los propietarios. El método que se eligió para medir la erosión fue el de las varillas o medición localizada del cambio de nivel de la superficie del suelo (Hudson, 1997 y Cotler, 2020), ya que requiere menos esfuerzo para su mantenimiento y la colecta de información en comparación con otros métodos.

Este método se basa en la utilización de estacas metálicas de 30 centímetros de largo y 0.5 centímetros de ancho, para evitar que el grosor interfiera lo menos posible en el arrastre del suelo (Hudson, 1997). Para este estudio se utilizaron estacas metálicas graduadas del centímetro 1 a los 15 cm con un marcador rojo resistente a la intemperie y se clavaron en el suelo de tal forma que la marca de los 15 cm y la superficie coincidan. El resto de las marcas permite “leer” los cambios en el nivel del suelo, si éste está por debajo de la marca principal quiere decir que hubo erosión y si está por encima quiere decir que hubo sedimentación. Para identificar las estacas, cada una se marcó con un listón rosado.

Las estacas se distribuyeron aproximadamente a una distancia de un metro y medio y dos, de acuerdo con la pendiente del terreno y la superficie que abarcan, por lo que el número de estacas colocado en cada sistema de cultivo varía (Tabla 2). Adicionalmente para tener una mayor percepción de lo que sucede con los movimientos erosivos dentro de cada sistema y dada la limitante para la comparación con sitios en los que no se maneja el árnic, se optó por hacer un análisis comparando los valores obtenidos en la zona alta, media y baja de cada sistema.

Tabla 2 Estacas por sitio

Sitio	No. De estacas
Hu1Ch	12
Hu2Ch	9
Hu3LJ	9
Mi1LJ	9
Mi2LJ	9

Considerando la pendiente de la superficie del suelo de cada sistema, se tomaron mediciones de la distancia (cm) entre la superficie del suelo y la marca de los 15 cm, una en la parte alta y otra en la parte baja (Figura 3) con el apoyo de un vernier.

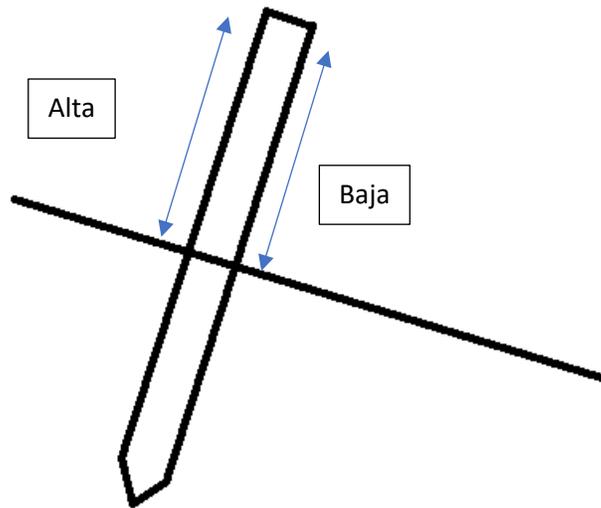


Figura 3 Mediciones realizadas en cada estaca

Las mediciones se realizaron una vez al mes durante once meses a partir de agosto de 2022 a junio de 2023; los datos obtenidos se registraron y procesaron en Excel para obtener un promedio de las distancias obtenidas y así determinar la pérdida o sedimentación del suelo, para cada estaca y por zona alta, media y baja. Posteriormente, a partir de la superficie removida se calculó la pérdida en volumen (toneladas por hectárea) utilizando la siguiente fórmula (Molgora, 2013):

$$Y=X*DA*10$$

Donde:

Y: toneladas por hectárea (t/ha)

X: milímetros de suelo removido o acumulado

DA: Densidad aparente (g/cm³)

Adicionalmente se asignó el grado de erosión de acuerdo con la clasificación realizada por SEMARNAT y el Colegio de Postgraduados (2003) y se hizo la conversión a kilogramos por metro cuadrado, debido a la superficie de los sistemas de cultivo analizados.

6.2. Determinación de la calidad del suelo en los sistemas productivos tradicionales de árnica.

Para poder evaluar los efectos del cultivo de árnica este objetivo se divide en dos fases, la primera consiste en determinar las propiedades físicas y químicas del suelo de los sistemas productivos y la segunda en evaluar las mismas propiedades al finalizar el ciclo de siembra y aprovechamiento para comparar los resultados obtenidos al inicio de la investigación con los que se obtengan en la segunda fase y así identificar las posibles variaciones en el pH, la estabilidad de agregados y el contenido de carbono.

6.2.1. Caracterización física y química del suelo de los sistemas productivos de árnica.

Para esta fase se realizó un muestreo en cada sistema productivo en el que se colectó una muestra de aproximadamente 2.5 kg tomada dentro de los primeros 25 cm de profundidad, cada una se tomó del centro de cada sistema. A cada una de las muestras se les realizó análisis de laboratorio para identificar las siguientes variables: pH, contenido de carbono, nitrógeno, textura y estabilidad de agregados.

La metodología utilizada corresponde a la establecida por la International Soil Reference and Information Centre (ISRIC, 2002) para cada una de las variables analizadas.

6.2.2 Determinación de variaciones en las propiedades físicas y químicas del suelo

En la segunda fase se replicaron los análisis de la fase anterior, a excepción de la textura, para determinar si hay cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, de tal forma que se pueda identificar una posible modificación en éstas como resultado del manejo que se hace en los sistemas de producción tradicionales.

6.3 Evaluar la sustentabilidad del cultivo de árnica mediante la “Herramienta de verificación de principios y criterios de sustentabilidad en proyectos productivos”

Bajo la premisa de que es importante evaluar los proyectos productivos a través de mecanismos de evaluación de la sustentabilidad, surge en 2019 la Herramienta de

Verificación de Principios y Criterios de Sustentabilidad en Proyectos Productivos (De Próspero *et al.*, 2019).

El objetivo principal de esta herramienta es determinar si un proyecto considera los principios y criterios de sustentabilidad para mejorar las condiciones de vida de las comunidades involucradas en un proyecto, al mismo tiempo que conserva la biodiversidad y se distribuyen los beneficios entre los integrantes. Además, permite detectar áreas de oportunidad desde el punto de vista económico, social y ambiental, con la finalidad de diseñar estrategias y mecanismos que fortalezcan las capacidades de las organizaciones responsables de la ejecución de estos principios y criterios (De Próspero *et al.*, 2019).

Esta herramienta considera las tres dimensiones de la sustentabilidad: social, económica y ambiental y a partir de ellas establece 5 principios: 1) Gobernanza; 2) Sostenibilidad ambiental y financiera; 3) Conservación de la biodiversidad; 4) Uso sustentable de los componentes de la biodiversidad; y 5) Distribución de los beneficios.

Cada uno de estos principios cuenta con criterios y estos a su vez cuentan con indicadores a partir de los cuáles se evalúa cada principio. En total son 19 criterios y 59 indicadores que se utilizan para verificar el cumplimiento de los 5 principios de la herramienta. Los indicadores se clasifican de acuerdo con su importancia en críticos y regulares, los primeros son aquellos requisitos esenciales que deben cumplir los proyectos para alcanzar un mínimo de cumplimiento esperado y los segundos son aquellos deseables y se cumplen de manera progresiva como parte de un proceso de mejora continua (De Próspero *et al.*, 2019).

Además, cuenta con 7 anexos en diferentes formatos que se pueden utilizar y adaptar a las características del grupo a evaluar. El Anexo 1 es un listado o “*checklist*” que consta de una hoja de Excel en la que se asigna el puntaje a cada criterio de acuerdo con el sistema de puntuación (Tabla 3), esto de acuerdo con los hallazgos o evidencias recolectadas durante la verificación; también sugiere métodos para la recolección de información como la revisión documental, la observación directa y la entrevista, así como una lista de elementos a considerar para cada indicador. El segundo anexo “Perfil de la organización” es un documento de Word para hacer una descripción de varios elementos

de la organización; el tercero “Modelo plan de verificación” es un formato que permite calendarizar las actividades a realizar; el cuarto “Modelo de reporte” es un documento para presentar las características generales del grupo después de la evaluación; el quinto “Instrumentos de verificación sugeridos” es una lista de instrumentos y elementos opcionales para la evaluación con un apartado para anotar los hallazgos y observaciones de cada indicador; el sexto “Cuadros de sustentabilidad” es un formato para presentar los resultados de manera general por principio y criterio; y por último el anexo 7 es una guía para realizar un taller de auto reflexión en caso de realizarse.

Tabla 3 Sistema de puntuación de la Herramienta para la evaluación de la sustentabilidad

Puntaje	Significado	Explicación
N/A	No aplicable	El indicador es no aplicable a la situación
0	No cumplido	El indicador no está implementado
1	Cumplido parcialmente- No suficiente	El indicador está parcialmente implementado, pero no es suficiente para el propósito de la verificación
2	Cumplido	El indicador está implementado y es suficiente para el propósito de la verificación

Fuente: De Próspero et al. (2019).

La herramienta propone tres metodologías para su aplicación dependiendo del tipo de organización que se va a evaluar, en primer lugar, propone una verificación externa para aquellas organizaciones legalmente constituidas a partir de una institución externa como un banco o de gobierno para la liberación de fondos, por ejemplo, adicionalmente si la organización a evaluar está ligada a otra de mayor nivel, esta también debe ser incluida en la evaluación. La verificación interna está dirigida a organizaciones locales que implementan proyectos productivos interesados en verificar el cumplimiento de criterios de sustentabilidad en sus propios proyectos, para esto se determina un comité verificador y un técnico evaluador encargados de aplicar la herramienta. La tercera forma de aplicar la herramienta es la autorreflexión que se puede aplicar a organizaciones de productores locales que desean hacer una evaluación interna sobre la sustentabilidad de su proyecto con la finalidad de identificar áreas de oportunidad dentro del proyecto.

Considerando las características del grupo, es decir que la producción de árnica en los sistemas tradicionales de cultivo de la microcuenca La Joya es realizada por cinco productores, que no están legalmente constituido, que forman parte de la cadena de

suministro de la S.P.R “Mujeres y Ambiente” y que este proyecto no ha sido evaluado, se propuso una evaluación externa, que se adaptó a dichas características, en la que la Universidad Autónoma de Querétaro, a través de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas fungió como evaluador externo y se tomó en cuenta únicamente los 21 indicadores críticos (Tabla 4), es decir aquellos que son requisitos esenciales que se deben cumplir para alcanzar un nivel mínimo de cumplimiento esperado por la herramienta. A partir de estos y de los elementos sugeridos en Anexo 5 de la misma (Anexo 1 del documento), se diseñó y aplicó una entrevista abierta que sirvió como método de verificación y que cubre cuatro de los cinco principios de la herramienta: 1) Gobernanza, 2) Sostenibilidad económica y financiera, 4) Conservación de la biodiversidad y 5) Uso sustentable de los componentes de la biodiversidad. El principio que no fue evaluado es Distribución de beneficios (monetarios y no monetarios) que se deriven del uso de la biodiversidad, cuyos indicadores están clasificados como regulares, es decir, son requisitos considerados como deseables, que se cumplen de manera progresiva como parte de un proceso de mejora continua (CONABIO, 2019).

Dentro de estos 4 principios se clasifican nueve criterios 1) conocimiento y cumplimiento de la normatividad; 2) comunicación, articulación y concertación; 3) derecho de uso de la tierra y recursos; 4) cumplimiento de los derechos de equidad participación, asociación y pluralismo; 5) administración, finanzas y costos; 6) producción; 7) medidas para la conservación de ecosistemas y especies; 8) medidas para el manejo, uso y/o extracción de los recursos biológicos; y 9) prácticas de manejo para la conservación del suelo.

Cabe resaltar que esta herramienta dentro del principio “uso sustentable de los componentes de la biodiversidad”, tiene un criterio que evalúa las prácticas de manejo para la conservación del suelo, que se refiere a la aplicación de medidas y buenas prácticas para su conservación en el área donde se realiza la actividad productiva, el cual puede aportar a los alcances del objetivo específico dos que consiste en determinar la calidad del suelo de los sistemas tradicionales del cultivo.

Tabla 4 Indicadores críticos para la evaluación de la sustentabilidad

Principio	Criterio	Indicador
-----------	----------	-----------

Gobernanza	Conocimiento y cumplimiento de la normatividad.	La organización conoce y cumple la normatividad asociada a sus actividades productivas en todos los ámbitos (comercial, ambiental, laboral, uso de tierra y recursos, etc.).
	Comunicación, articulación y concertación.	La organización tiene y aplica reglas aprobadas por sus miembros que definen cargos, roles/funciones a nivel directivo y operativo.
		La organización realiza reuniones periódicas de información, coordinación y gestión al interior de la organización.
		La organización promueve la participación de sus miembros, toma acuerdos consensuados respecto a su funcionamiento organizacional y/o productivo, los registra y pone a disposición de los miembros.
	Derecho de uso de la tierra y recursos naturales	La organización acredita la legal propiedad o posesión de la tierra o derecho de uso
		La organización cuenta con el derecho de usufructo de los recursos naturales
Cumplimiento de los derechos de equidad participación, asociación y pluralismo.	Se toman medidas para el respeto a los derechos humanos	
Sostenibilidad económica y administrativa	Administración, finanzas y costos.	La organización cuenta con figura asociativa legal.
		La organización cuenta con registro federal de contribuyentes (RFC) y conoce y cumple con sus obligaciones fiscales.
		La organización cuenta con registros contables.
		La organización elabora informes financieros, realiza sus procesos de rendición de cuentas y éstos son aprobados en asamblea periódicamente por los miembros.
	Producción	La organización identifica, define, monitorea y documenta sus actividades productivas.
Conservación de la biodiversidad	Medidas para la conservación de ecosistemas y especies	La organización conoce e identifica el impacto de las actividades productivas en la conservación del entorno natural y aplica medidas preventivas y correctivas para su conservación cuando corresponda.
		La organización conoce e identifica ecosistemas en buen estado de conservación y toma medidas para su protección procurando disminuir el impacto de las actividades productivas.
		La organización conoce el plan o programa de manejo del área natural protegida y sus acciones no lo contravienen.

		La organización identifica, establece y respeta zonas de conservación, de manejo, de aprovechamiento y extracción de especies en el área donde se realiza la actividad productiva.
		La organización conoce e identifica la vegetación en su área de influencia y toma acciones para su conservación y restauración cuando corresponda.
Uso sustentable de los componentes de la biodiversidad	Medidas para el manejo, uso y/o extracción de los recursos biológicos	La organización desarrolla e implementa un plan o programa operativo de manejo, aprovechamiento y extracción sustentable.
		La organización conoce las tasas de aprovechamiento y aplica las técnicas adecuadas para el manejo, aprovechamiento y extracción de los recursos biológicos asegurando su existencia y conservación.
		La organización identifica e implementa acciones o medidas para el manejo y control integrado de plagas y enfermedades.
	Prácticas de manejo para la conservación del suelo	La organización identifica y aplica medidas de buenas prácticas para la conservación del suelo en el área donde se realiza la actividad productiva.

Fuente: De Próspero et al. (2019).

Es importante señalar que, a pesar de seleccionar únicamente los indicadores críticos, algunos no aplican (N/A), como el desarrollo e implementación de un plan o programa operativo de manejo, aprovechamiento y extracción sustentable, ya que evalúa los casos en los que se realiza la extracción de recursos biológicos por la actividad productiva como aprovechamiento de palmas o de recursos forestales maderables.

La entrevista constó de 54 preguntas (Anexo 2 del documento) cuyo objetivo fue obtener información detallada sobre cada uno de los indicadores y que hacen referencia a las condiciones de la producción de árnica y la percepción de los productores, por lo que únicamente a ellos se les aplicó la entrevista.

A partir de los datos obtenidos se asignó el puntaje a cada indicador de acuerdo con la ponderación de la herramienta de CONABIO (Tabla 3) y en el mismo documento se añadió una columna para anotar los hallazgos y observaciones de cada indicador. Además, se utilizó el Anexo 2 de la misma, “Perfil de la organización” que solicita información general del grupo, antecedentes, la forma de organización e información general de las actividades que realizan, es decir es una guía para describir

detalladamente al grupo; y el Anexo 6 “Cuadros de sustentabilidad” (Anexo 3) para presentar los datos recabados por indicador y principio.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Calidad y variaciones de las propiedades físicas y químicas de los sitios de estudio

En los sitios de estudio el manejo del árnica se realiza aproximadamente desde hace cuatro años bajo dos sistemas de producción, el huerto y la milpa, ambos diversificados con especies frutales, aromáticas y medicinales. De acuerdo con los propietarios en las milpas (Mi1LJ y Mi2LJ) en algún momento se aplicaron fertilizantes químicos para mejorar la calidad nutrimental y su capacidad productiva. Además, continuamente aplican estiércol de cabra como fuente nutrimental.

Con la incorporación del árnica y debido a los requerimientos para su comercialización, se ha disminuido el uso de químicos y se han empleado en el último año dos tipos de mejoradores orgánicos de suelo, el magro y los hongos de montaña, que pueden mejorar la estructura y la textura, y pueden elevar la retención de agua y nutrientes del suelo ya que aumenta la cantidad de sustancias orgánicas (Terrafer, 1985 y Viquez, 1981). Estos se han aplicado en una proporción de un litro por cada 20 de agua, pero la frecuencia dependió de cada productor.

Los sistemas de cultivo estudiados se encuentran en la zona media de la cuenca (Figura 4), en la que el suelo dominante es el Cambisol (Barrientos, 2013) que se caracteriza por la ausencia de una capa de arcilla acumulada, humus, sales solubles u óxidos de hierro y aluminio. Se diferencian del material parental no meteorizado por su estructura de agregados, color, contenido en arcilla, contenido en carbonatos u otras propiedades que evidencian procesos de formación del suelo, su pH va de neutro a ligeramente ácido. Debido a su estructura de agregados y a su alto contenido en minerales meteorizables, suelen ser aptos para la agricultura con las limitaciones del terreno y el clima (Britanica, 2016).

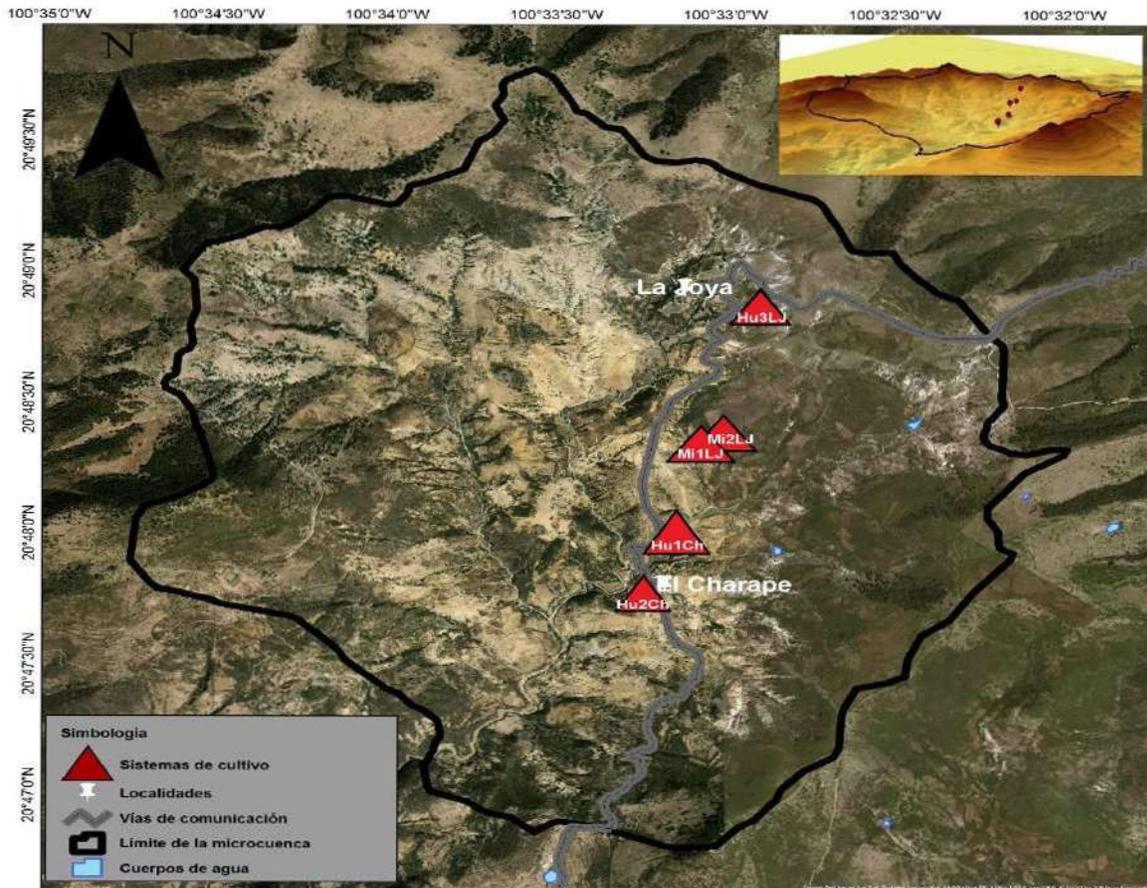


Figura 4 Ubicación de los sistemas de cultivo tradicionales. Fuente: elaboración con base a georreferenciación en Google Earth

De acuerdo con los análisis de laboratorio, los suelos presentan un patrón de propiedades edáficas similares (Tabla 5). Son suelos que van de de ligeramente ácidos e (Hu1Ch; Mi1LJ; Mi2LJ) a moderadamente alcalinos en uno de los huertos de la localidad del Charape (Hu2Ch).

La estructura del suelo fue dominada por macroagregados (>2000 μm) formados por arenas mayores a las 250 μm ; a excepción del Hu1Ch que es arenoso y el Hu2Ch en el que predominan los mesoagregados(>250 μm) (Siebe *et al*, 2006), (Figura 5 a y 5b).

El contenido de carbono varía en los sitios, de acuerdo con la guía para la interpretación de resultados de análisis de suelo (Sánchez, 2020), el contenido de carbono se puede clasificar como bajo en los sitios Hu2Ch (0.2%) y Mi1LJ (0.7%), como medio en Hu1Ch (2%) y Mi2LJ (3.8%). El único sitio cuyo contenido se puede clasificar como alto es Hu3LJ

(4.3%). De acuerdo con estos datos el suelo en el que se estableció el cultivo de árnica presenta una buena estructuración, aunque no presenta disgregación, ante la presión hídrica por lo que se mantienen agregados completos (Siebe, *et al.*, 1996). La estabilidad de los agregados esta asociada a la alta proporción de arcillas (Asencio y Moreno, 2010) que promueven mecanismos de adhesión complejación con arcillo-metal y organo meta (Porta *et al.*, 2003). La presencia de un CO > 1% (WRB 2015) se relaciona con el manejo asociado a la aplicación de estiercol. En particular, en la zona se ha reportado el uso de estiercol de cabra considerado como una fuente de carbono inestable que se pierde con la lluvia, por lo que no favorece la agregación, ni la retención del suelo (Del Pino *et al.*, 2007). El sitio Hu1Ch presentó condiciones contrastantes debido a la menor proporción de arcillas, al contenido de carbono >1% y a los macroagregados, que pueden relacionarse con una importante estabilización asociada con complejos organominerales que permiten la persistencia de macroestructura.

En cuanto al contenido de nitrógeno, este fue de 0.08 a 0.34, que se puede clasificar como de bajo a medio (Sánchez, 2020) (Tabla 5). En los huertos de traspatio el contenido se puede clasificar como bajo (Hu1Ch, Hu2Ch y Hu3LJ) y las milpas (Mi1LJ y Mi2LJ) como medio (Sánchez, 2020). A pesar de la esto la relación de carbono nitrógeno (C/N) se establece entre un 10 y 20, considerando que hay un patrón de descomposición de la materia orgánica del suelo (Porta *et al.*, 2003; Brady y Weil, 2016) a excepción del sitio Hu3LJ.

Tabla 5 Propiedades biofísicas y edáficas de los sitios estudio

	Hu1Ch	Hu2Ch	Hu3LJ	Mi1LJ	Mi2LJ
Localidad	Charape	Charape	La Joya	La Joya	La Joya
Tipo de manejo	Huerto de traspatio	Huerto de traspatio	Huerto de traspatio	Milpa	Milpa
Especies manejadas	Agave, mezquite	Hierba buena, caléndula nopal, granada	Durazno, Granada, Nopal	Frijol	Nopal, Agave
Superficie (m ²)	282	17	24	48	148
Pendiente (°)	10.86	12.03	14.58	8.02	3.44
Humedad	11.7	24.2	55.1	15.3	22.3
% C	2.0	0.2	4.3	0.7	3.8

% N	0.11	0.14	0.08	0.34	0.34
C/N	18	1.43	53.75	2.06	11.17
pH 1:2:5	6.4 (ligeramente ácido)	7.33 (moderadamente alcalino)	7.1 (neutro)	6.1 (ligeramente ácido)	6.4 (ligeramente ácido)
Textura	Franco arcillosa arenosa	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa
% agregados	Macro	Meso	Macro	Macro	Macro
Arenas (%)	71	18	8	4	4
Limos (%)	5	17	22	17	18
Arcillas (%)	24	66	71	79	79

Fuente elaboración con base en los análisis de laboratorio

En agricultura las arcillas pueden representar un reto ya puede causar limitaciones en el drenaje del suelo, debido a que el espacio poroso se encuentra dominado por microporos que pueden absorber y retener agua y cuando se seca hace que las partículas finas se unan y formen terrones, lo que lo dificulta trabajarlo por su tendencia a compactarse. Además por su capacidad de retención de agua, dejan poco espacio a la fase gaseosa, lo que puede producir encharcamiento y asfixia de las raíces. (Carter *et al.*, 1994; Six *et al.*, 2000).

A pesar de estas características, los suelos arcillosos pueden retener nutrientes debido la carga negativa que atrae a los cationes con carga positiva como el calcio, el magnesio, el hierro o el aluminio, a los cuales se pegan las moléculas orgánicas por tener carga negativa. Estas agrupaciones de compuestos reciben el nombre de complejos arcillo-húmicos, y son muy importantes en la nutrición vegetal (Stevenson, 1994).

Por sus propiedades, los suelos de la microcuenca están limitados, sin embargo esto no ha sido impedimento para realizar agricultura, por lo que la viabilidad de los sistemas de producción tradicionales está relacionada con varios factores asociados al manejo, como el fomento coberturas vegetales para reducir el arrastre de partículas (Montero, 2021), especialmente de las arcillas que predominan; así como la adición de carbono estable mediante mejoradores de suelo de manera periódica y constante, que pueden favorecer la retención del carbono, la estabilización de las arcillas y la agregación (Torres y Rojas, 1990).

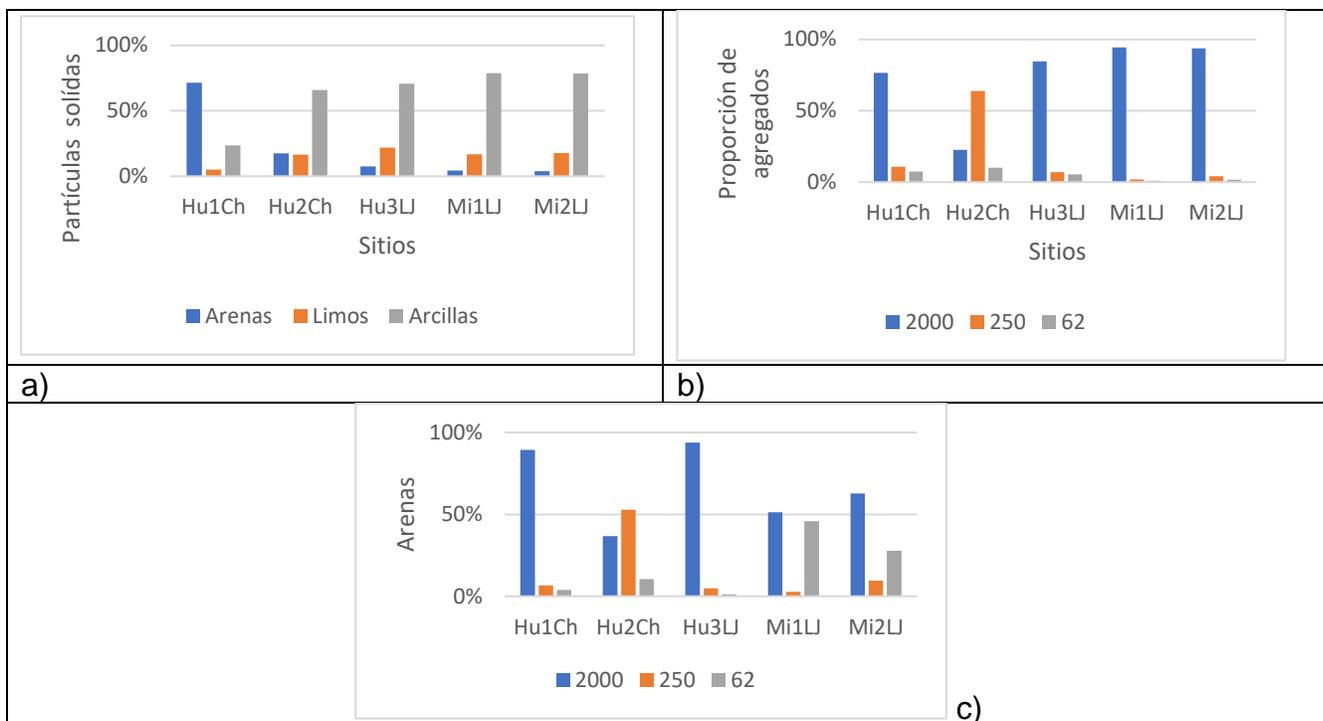


Figura 5 Indicadores de calidad físicos en los suelos bajo manejo tradicional a) Textura, b) proporción de agregados del suelo y c) proporción de arenas componentes de los agregados del suelo. Fuente: elaboración propia

Considerando que el objetivo general de esta investigación es evaluar el impacto del cultivo de árnica sobre las características físicas y químicas del suelo de los sistemas productivos, en esta fase se replicaron los análisis de la primera fase a excepción de la textura ya que es una propiedad que cambia en el corto plazo.

Las pruebas que se replicaron fueron el carbono, nitrógeno, pH y estabilidad de agregados, en algunos sitios sí se encontraron diferencias significativas entre los resultados obtenidos en septiembre de 2022 y mayo de 2023 (Tabla 6). La única propiedad que no presentó cambios es el porcentaje de agregados que componen el suelo.

Tabla 6 Comparativa de los resultados obtenidos en la replicación de los análisis de laboratorio

Propiedad	Fecha	Hu1CH	Hu2Ch	Hu3LJ	Mi1LJ	Mi2LJ
% C	Sep-22	2	0.2	4.3	0.7	3.8
	May-23	1.7	2.8	5.0	2.3	1.8
% N	Sep-22	0.11	0.14	0.08	0.34	0.34
	May-23	0.04	0.04	0.13	0.12	0.15
pH	Sep-22	6.4	7.33	7.1	6.1	6.4
	May-23	6.4	6.4	7.1	7.0	5.3

%agregados	Sep-22	Macro	Meso	Macro	Macro	Macro
	May-23	Macro	Meso	Macro	Macro	Macro

Fuente: elaboración con base a los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio

El contenido de carbono presentó cambios, en los sitios Hu1Ch y Mi2LJ, pasó de medio a bajo, mientras que los sitios Hu2Ch y Mi1LJ hubo un aumento, pasaron de bajo a medio-alto y en el sitio Hu3LJ se mantuvo en el rango de alto (Sánchez, 2020). En el caso del Hu1Ch la disminución del contenido de carbono puede estar relacionada con la pérdida de suelo (Bauer y Black, 1994; Acevedo y Martínez, 2003; Cotler *et al.*, 2011); mientras que el aumento del contenido de carbono en los demás sitios puede estar asociada con la adición de mejoradores de suelo como los organismos de montaña, que ayudan a estabilizarlo (Terrafer, 1985; Viquez, 1981).

El contenido de nitrógeno disminuyó en la mayoría de los sitios a excepción del sitio Hu3LJ en el que aumento, sin embargo, se mantuvo dentro del rango bajo (< 0.15%).

En cuanto al pH, el suelo del Hu2Ch pasó de ser ligeramente alcalino a neutro y el de Mi2LJ de ligeramente ácido a moderadamente ácido; el primer caso está relacionado con la adición de mejoradores de suelo que estabilizan el contenido de carbono que a su vez modifica la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad (Martínez *et al.*, 2008).

7.2 Tasa de erosión del suelo dentro de los sistemas de cultivo tradicional.

Es importante señalar que durante el seguimiento hubo perturbaciones antropogénicas en el sitio Hu1Ch, por la extracción de estacas, aunque estas se colocaron de nuevo fueron extraídas en varias ocasiones por lo que se contemplan únicamente las mediciones de aquellas que se mantuvieron durante todo el periodo de evaluación, es decir de agosto de 2022 a junio de 2023.

Es necesario considerar para el análisis que la cantidad absoluta de lluvia en un periodo prolongado de tiempo, en un mes o en un día, no describe la relevancia ecológica de la misma. Es importante conocer su intensidad y duración, por ejemplo 50 mm de lluvia en menos de una hora pueden tener un impacto ecológico muy diferentes que los mismos 50 mm distribuidos en 24 horas (Gliessman, 2002). También influyen factores fisiográficos como la forma del terreno la morfometría, la pendiente, el tipo

de suelo y la geología, principalmente (Pérez, 2017), específicamente en como fluye el agua, cómo se acumula, la capacidad de infiltración y el escurrimiento. Esto quiere decir que la capacidad de retención de humedad del suelo depende de las características del sitio (FAO, s.f.) y la pérdida de suelo está directamente relacionada con la cantidad de escorrentía de agua superficial, que depende de la tasa de infiltración de agua y de la pendiente; es decir que mientras más pronunciada sea la pendiente y menor la tasa de infiltración, más rápida es la tasa de escorrentía de agua para un suelo determinado (Schwyter y Vaughan, 2022).

De acuerdo con el PRPC (UAQ, 2009) la mayor precipitación se concentra en los meses de junio a septiembre u octubre, con un promedio anual de 612 mm durante el periodo 1971-2000 (CONAGUA, 2009). Por otro lado, la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA) de la UNAM, a través de los datos colectados en la estación de Juriquilla, Querétaro, arrojó que el promedio anual en los últimos nueve años (agosto 2014-julio 2023) es de 1.9 mm, mientras que en el periodo de estudio (agosto 2022-junio 2023) el promedio mensual fue de 1.6 mm (Tabla 7). Y al comparar los datos históricos con la precipitación del último año se observa que el patrón de lluvias se ha mantenido en los últimos nueve años (Figura 6).

Tabla 7 Precipitación promedio mensual

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio
	Precipitación promedio mensual: agosto 2014-Julio 2023												
	0.5	0.4	1.1	3.8	1.5	2.2	3.6	2.7	2.1	2.7	0.9	0.9	1.9
	Precipitación durante el periodo de estudio: agosto 2022- junio 2023												
2022								3.2	1.5	4.2	2.2	0.7	
2023	0.3	0.0	0.3	0.5	1.2	0.3	5.0						1.6

Fuente: Elaboración propia con base a los datos de la RUOA (2023)

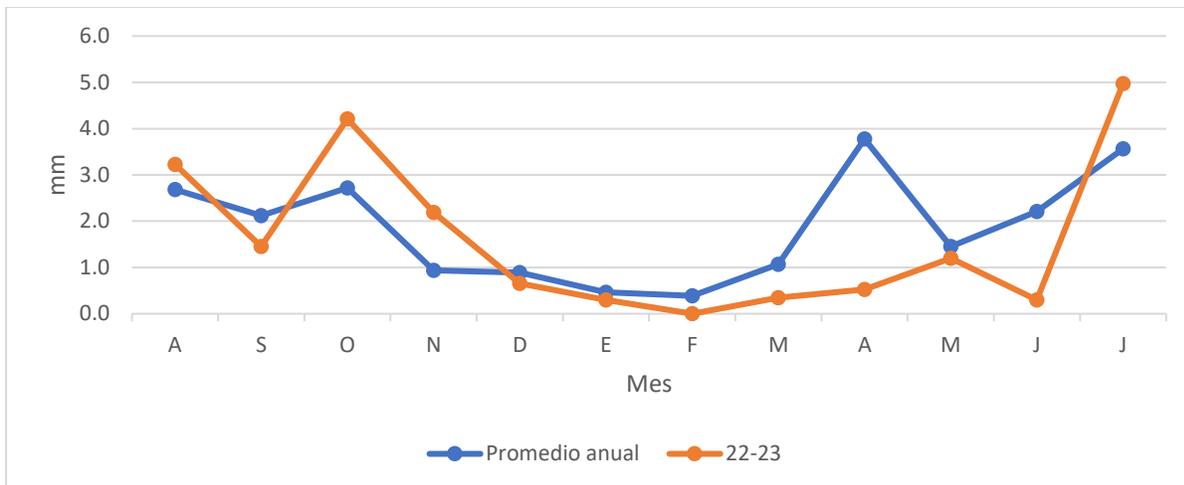


Figura 6 Precipitación promedio mensual. Fuente: elaboración con base a los datos de la RUOA (2023)

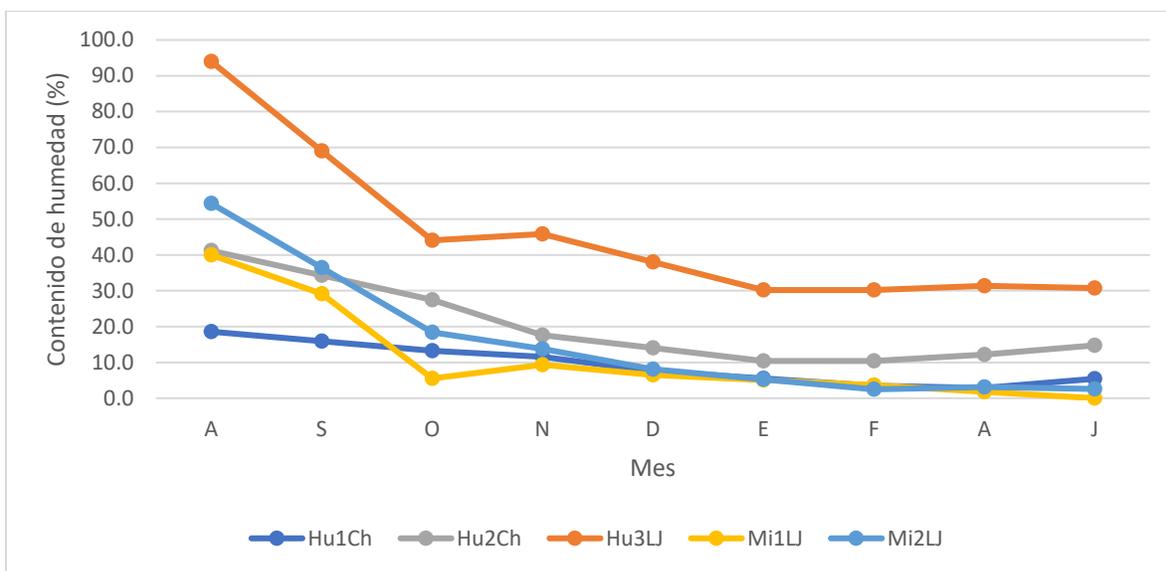


Figura 7 Contenido de humedad mensual por sitio. Fuente: elaboración con base en las mediciones realizadas

Por otro lado, el contenido de humedad del suelo entre sitios es similar a excepción del sitio Hu3LJ, que es mayor (Figura 7), aunque al igual que la precipitación, disminuye con el inicio de la temporada de secas, es importante mencionar que el 2022 fue un año de poca lluvia de acuerdo con las observaciones de los productores de la microcuenca.

Además, se puede observar que en el mes de mayor precipitación y de mayor potencial erosivo (octubre) la humedad disminuyó de manera exponencial en los sitios de estudio, esto sugiere que el suelo alcanzó la capacidad máxima de saturación por lo que el agua escurre o que la lluvia fue superficial (FAO, s.f.) o que el agua no se está infiltrando por

las características físicas del suelo de cada sistema como la textura arcillosa que predomina en 4 de los 5 sitios lo que dificulta la circulación del agua a través de los poros (Buckman y Braddy, 1966).

A partir de las mediciones realizadas se estimó la erosión y sedimentación en cm para cada uno de los sistemas de cultivo, al analizarlas y observar las condiciones de las varillas en cada uno de los sitios, se consideró que los valores de erosión más confiables son los de la parte baja de la estaca, ya que en la parte alta se registró sedimentación y en los casos en los que se registró erosión, esta fue menor a la de la parte baja. Este comportamiento puede estar asociado a la pendiente de cada uno de los sitios y a la barrera física que representa y que favorece la sedimentación, aunque esta tenga un grosor de 5 mm.

Cada sitio está rodeado por laderas con diferentes condiciones (pendiente y cobertura vegetal), por lo que la dinámica de los sedimentos no es lineal y estos no sólo provienen de la parte alta de cada uno, si no que pueden provenir de los diferentes puntos que lo rodean en función a la dirección del viento y la orientación. Además, las mediciones dentro de cada sitio son pocas y el periodo de evaluación es muy corto, por lo que los resultados no son concluyentes. Con estos argumentos, las mediciones se presentan por zona dentro del cultivo (alta, media y baja) y por lado de la estaca (Tabla 8).

Tabla 8 Pérdida de suelo mensual en cada sitio

Hu1Ch										
Zona de la parcela	Lado de la varilla	MES								
		A	S	O	N	D	E	F	A	J
Alta	Alta	1.00	0.70	0.41	0.25	0.90	0.58	2.60	2.6	4.4
	Baja	0.43	0.09	-0.25	1.50	0.13	0.81	0.38	0.915	3.5
Media	Alta	0.42	0.58	0.73	0.98	1.30	1.14	0.00	0.7	0
	Baja	-1.82	-2.00	-2.18	-2.04	-2.03	-2.04	-1.30	-1	0
Baja	Alta	0.50	0.65	0.80	0.35	-0.50	-0.08	0.10	-1.7	-1.4
	Baja	-1.00	-1.10	-1.20	0.20	-1.00	-0.40	-0.60	-1.5	-1.8
Hu2Ch										
Zona de la parcela	Lado de la varilla	MES								
		A	S	O	N	D	E	F	A	J
Alta	Alta	0.33	0.47	0.60	0.77	0.60	0.58	0.57	1.03	0.6
	Baja	-1.17	-0.07	1.03	0.50	0.43	0.33	0.23	-0.40	-0.1
Media	Alta	0.00	-0.03	-0.07	-0.23	-0.07	0.17	0.40	0.07	0.06

	Baja	0.17	-0.02	-0.20	-0.33	-0.23	0.45	1.13	-0.03	-0.4
Baja	Alta	-0.50	-1.08	-1.67	-2.27	-2.33	-1.97	-1.60	-1.37	-1
	Baja	-0.60	-0.93	-1.27	-2.30	-1.70	-1.48	-1.27	-1.30	-1
Hu3LJ										
Zona de la parcela	Lado de la varilla	MES								
		A	S	O	N	D	E	F	A	J
Alta	Alta	0.33	0.47	0.60	0.47		0.82	1.17	1.37	1.3
	Baja	0.20	0.40	0.60	0.10		0.13	0.17	0.67	0.66
Media	Alta	1.50	0.95	0.40	1.33		1.08	0.83	1.37	2
	Baja	1.33	0.87	0.40	0.27		-0.37	-1.00	0.90	1.8
Baja	Alta	0.40	-0.47	-1.33	0.60		-0.13	-0.87	-0.03	-0.04
	Baja	0.67	-0.33	-1.33	0.67		-0.17	-1.00	0.37	-0.13
Mi1LJ										
Zona de la parcela	Lado de la varilla	MES								
		A	S	O	N	D	E	F	A	J
Alta	Alta	0.43	0.43	0.43	0.33	0.60	0.65	0.70	0.80	
	Baja	0.10	0.10	0.10	0.17	0.37	0.02	-0.33	0.40	
Media	Alta	0.40	0.40	0.40	0.43	1.20	0.27	-0.67	0.63	
	Baja	0.40	0.37	0.33	0.43	0.97	0.13	-0.70	0.23	
Baja	Alta	0.73	0.73	0.73	0.80	0.70	0.72	0.73	0.00	
	Baja	0.67	0.70	0.73	1.67	0.37	-0.08	-0.53	-0.33	
Mi2LJ										
Zona de la parcela	Lado de la varilla	MES								
		A	S	O	N	D	E	F	A	J
Alta	Alta	0.73	0.68	0.63	-0.70	0.17	0.01	-0.15	0.07	0
	Baja	0.60	0.53	0.47	-0.93	-0.17	0.17	0.50	-0.33	0
Media	Alta	0.60	0.43	0.27	-0.07	0.93	0.10	-0.73	-0.37	1.06
	Baja	0.57	0.45	0.33	-0.07	0.67	0.03	-0.60	-0.20	0.4
Baja	Alta	0.90	0.67	0.43	-0.50	-0.07	-0.50	-0.93	-0.63	-1.06
	Baja	0.87	0.67	0.47	-0.80	-0.10	-0.35	-0.60	-0.77	2.86

Fuente: elaboración con base en las mediciones realizadas en cada sitio.

A partir de la pérdida de suelo en centímetros se estimó la pérdida de suelo en kilogramos por metro cuadrado (Tabla 9).

Tabla 9 Pérdida de suelo expresada en volumen

Sitio	Pérdida de suelo por zona (cm)	Pérdida promedio por sitio (cm)	Pérdida por zona (ton/ha)	Promedio por sitio (ton/ha)	Promedio por sitio (kg/m ²)
Hu1Ch	Alta	0.83	74.78		
	Media	-1.6	-128.04		

	Baja	-0.93	-0.57	-75.29	-47.42	-4.742
Hu2Ch	Alta	0.09		5.12		
	Media	0.06		2.57		
	Baja	-1.32	-0.39	-80.18	-20.87	-2.087
Hu3LJ	Alta	0.37		18.15		
	Media	0.53		26.82		
	Baja	-0.16	0.25	-7.75	12.17	1.217
Mi1LJ	Alta	0.11		6.90		
	Media	0.27		11.41		
	Baja	0.4	0.26	20.35	13.51	1.351
Mi2LJ	Alta	0.09		6.15		
	Media	0.18		11.01		
	Baja	0.14	0.14	9.31	7.62	0.762
Pérdida promedio			-0.06		-7.00	-0.70

Elaboración con base a mediciones y cálculos realizados.

I. Diferencias en la pérdida de suelo dentro de cada sitio y entre sitios

De acuerdo con el conjunto de datos obtenidos, en todos los sitios se presentó sedimentación, que con el paso de los meses se fue perdiendo, es decir que los centímetros que se ganaron disminuyeron, por lo que la tendencia en todos es hacia la erosión; esto puede estar relacionado con la disminución de la humedad del suelo (Figura 7) a medida que se intensifica la temporada de sequía, por lo que el arrastre de las partículas por la acción del viento es más fácil (FAO, 2009).

Dada la diferencia en las condiciones de cada sitio, la pérdida y sedimentación del suelo presenta patrones diferentes (Figura 8), aunque es posible encontrar similitudes a lo largo de los meses, como la acumulación de suelo en la parte alta de los sitios Hu1Ch y Hu3LJ; a diferencia de los sitios Hu2Ch y Mi2LJ que la presentan en la parte media y el Mi1LJ en la parte baja principalmente. Mientras que la mayor pérdida de suelo se da principalmente en la zona baja (Hu2CH; Hu3LJ y Mi2LJ). En el caso de Hu1Ch; Hu2Ch y Hu3LJ, la acumulación en la parte alta se puede atribuir a la barrera física que tienen en esa zona para delimitarlos dentro del terreno de los propietarios.

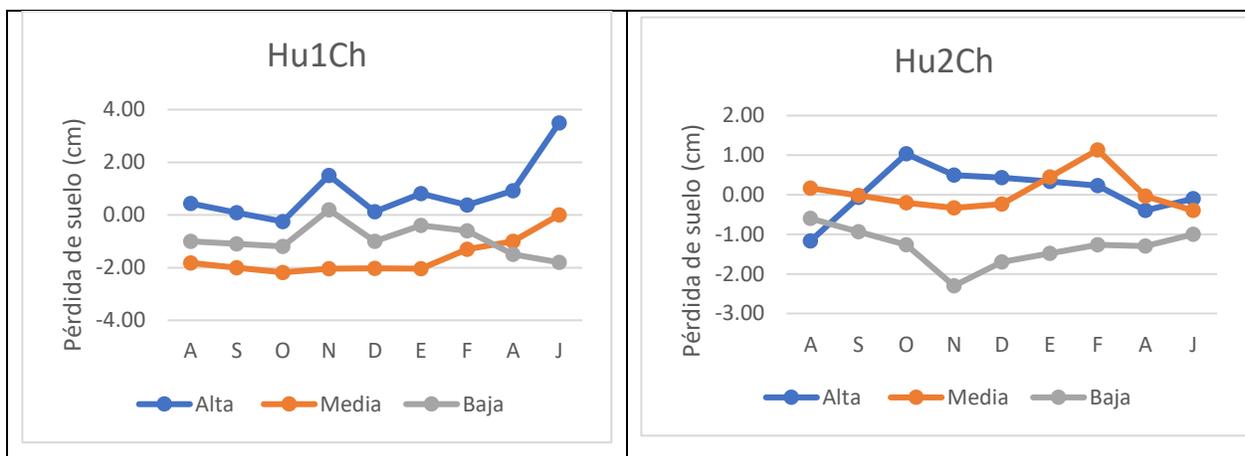
Al interior de los sitios también hay patrones similares entre cada una de las zonas, por ejemplo, en el sitio Hu1Ch la zona alta y baja tienen un comportamiento similar a lo largo

de los meses, a diferencia de la zona media que se mantiene relativamente constante, pero es la que mayor pérdida de suelo presentó, seguida por la zona baja.

En el caso de los sitios Hu2Ch y Hu3LJ la zona la zona alta y media son las que presentan sedimentación, sin embargo, en el caso del primer sitio la zona baja tiene un comportamiento irregular a lo largo de los meses, a diferencia de la zona baja del sitio Hu2Ch que mantiene relativamente constante a lo largo del periodo de evaluación.

El sitio Mi1LJ es el único de los sitios en el que el arrastre de las partículas es similar al de las cuencas, es decir la acumulación es mayor en la parte baja y esta disminuye a medida que se asciende sobre el terreno, además de que el comportamiento a lo largo de los meses muestra la misma tendencia en las tres zonas.

Por último, en el sitio Mi2LJ durante los primeros cinco meses hubo un patrón similar en las tres zonas, sin embargo, a partir de enero, hay patrones muy diferentes en cada una; lo que más llama la atención en este sitio, es que en el último mes hubo sedimentación en las tres zonas, sin embargo, al finalizar el periodo de evaluación presentó sedimentación de 0.14 cm que equivalen a 0.762 kilogramos por metro cuadrado



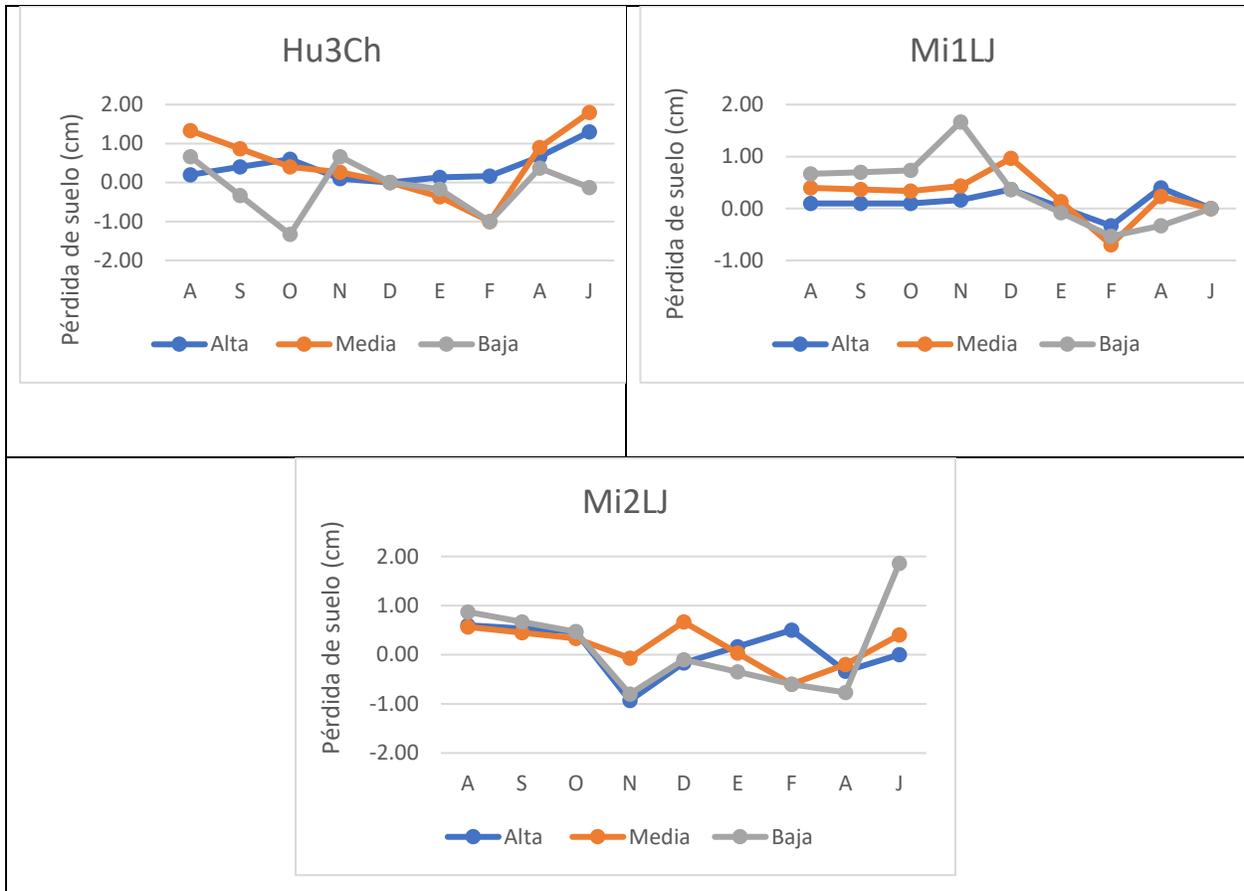


Figura 8 Patrón mensual de la pérdida y acumulación del suelo dentro de los sistemas productivos tradicionales.

Al promediar la erosión de cada sitio hay un patrón similar, todos los sitios presentan acumulación en la parte alta, mientras que la zona baja y media muestran una tendencia hacia la sedimentación (Figura 9).

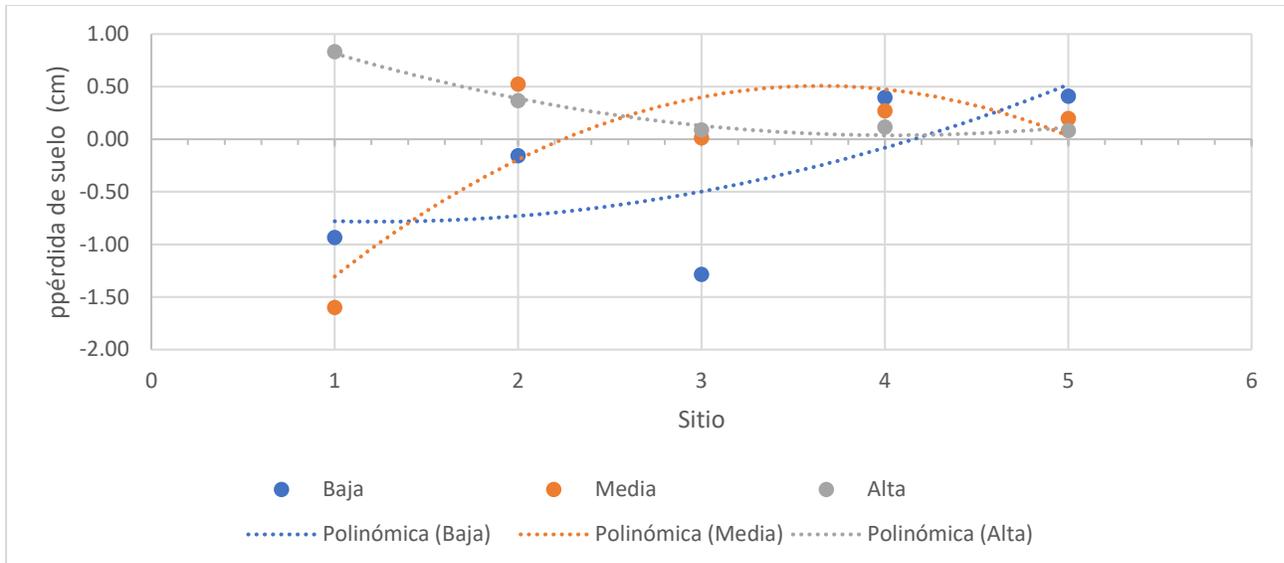


Figura 9 Pérdida de suelo promedio por zona y sitio.

De los cinco sitios analizados, tres presentan sedimentación (Hu3LJ, Mi1LJ y Mi2LJ), a diferencia de Hu1Ch (47.42 ton/ha) y Hu2Ch (20.87 ton/ha) que presentan una pérdida que se puede clasificar como moderada (10-50 ton/ha), sin embargo, el resultado es difícil de interpretar ya que se podría pensar que la erosión es nula, de ahí la necesidad de contar con puntos de comparación que en este caso están representados por la zonificación establecida dentro de cada sistema.

La erosión neta promedio en los sitios fue de 0.06 cm (0.6 mm), este resultado es menor a lo reportado por la FAO (2016) que señala que la tasa media de erosión mundial por acción del viento, agua y laboreo se estima en 0.9 mm (0.09 cm) al año.

En términos de volumen, la pérdida de suelo equivale a 7 ton/ha (0.7 kg/m²), que de acuerdo con la escala realizada por SEMARNAT y el Colegio de Postgraduados (2003) se clasifica como moderada (5-10 ton/ha). Este volumen se encuentra en el rango de erosión hídrica y eólica potencial reportadas para el estado de Querétaro, que de acuerdo con la SEMARNAT (2002) oscilan de ligera a moderada (5-50 ton/ha/año).

En México en la Sierra Madre Occidental (SMO), una zona clasificada como árida y semiárida, se reportó una pérdida de suelo de 0.185 cm que equivale a 2.87 kg/m² (0.00287 ton/ha) (González *et al*, 2005), que de acuerdo con la escala realizada por SEMARNAT (2003) y el Colegio de Postgraduados (2003) es nula. En términos de

espesor el resultado de la SMO es mayor al promedio de los sistemas productivos tradicionales, sin embargo, el volumen es menor, esto puede estar relacionado con las características específicas del área de estudio como el tipo del suelo y del suelo de cada sistema como la pendiente, el contenido de humedad y la proporción de agregados.

En los sitios en los que hubo sedimentación al final de la evaluación, dos presentaron pérdida en noviembre de 2022 (Hu2Ch y Mi2LJ), esto podría ser resultado del efecto de las barreras que tienen para delimitarlos, ya que modifican el flujo de la escorrentía (Brea y Balocchi, 2010) y a la cobertura vegetal que en el caso del huerto es mayor al 30 % y en la milpa del 5 % aproximadamente (Folk, 1951).

Desde el enfoque de cuencas, los resultados obtenidos no son representativos, ya que la suma de las superficies de los sistemas de cultivo equivale al 0.003% de la superficie total de la microcuenca y representan una porción de las laderas en las que encuentran. Sin embargo, esta investigación puede sentar las bases para hacer un análisis a mayor profundidad para analizar la pérdida de suelo en las laderas a través del estudio de los sistemas tradicionales productivos que se encuentran distribuidos en la zona media de la cuenca.

II. Relación de la pérdida de suelo con otros factores

Existen varios factores que influyen en la pérdida de suelo, uno de ellos es la pendiente, que para los sitios de estudio se puede clasificar como intermedia al oscilar entre los 5° y 15° (Tabla 5) a excepción del sitio Mi2LJ cuya inclinación es de 3.44° y es considerada como ligera (Barrientos, 2013). Al comparar ambos parámetros, se infiere que la pérdida de suelo responde a la pendiente intermedia, ya que por gravedad se pueden producir fenómenos asociados al desplazamiento del suelo (CENAPRED, 2018) (Figura 10), aunque influyen otras características de cada sitio por lo que es posible encontrar correlaciones con las variables edáficas obtenidas en la caracterización física y química y la humedad.

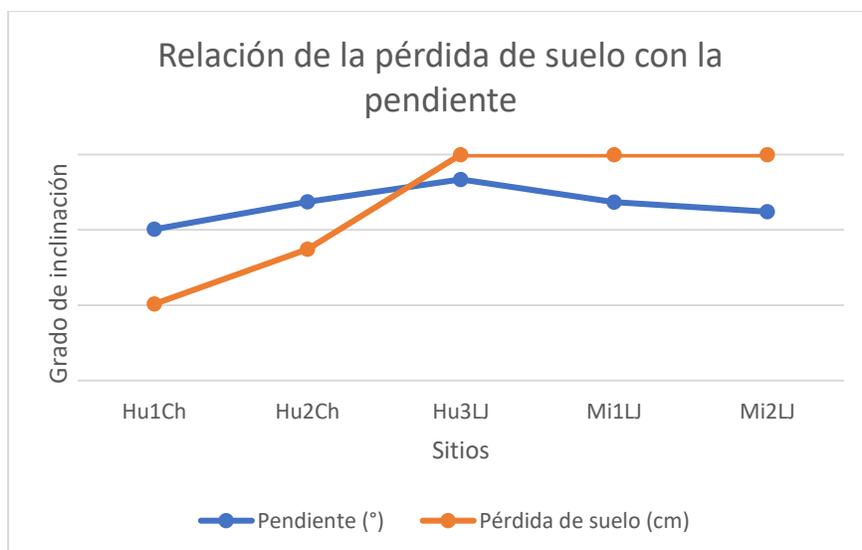


Figura 10 Relación de la pérdida de suelo con la pendiente. Fuente: Elaboración con base a los cálculos y mediciones realizadas.

La textura también puede influir en la pérdida de suelo, en el sitio Hu1Ch que presentó la mayor pérdida (0.57 cm, 4.74 kg/m²), la textura es franco arcillosa arenosa, en la que predominan las arenas, que son más fáciles de trabajar y más susceptibles a la erosión, tienen poca capacidad de retención de agua y nutrientes (FAO, 1975) a diferencia de los demás sitios que se clasifican como arcillosos y que se caracterizan por contener buenas reservas de nutrientes, pero cuando están muy secos son difíciles de trabajar (FAO, 2009), situación que presentan las dos milpas estudiadas.

El contenido de carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas y afecta otras propiedades como la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo; modifica la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad; aumenta la solubilidad de varios nutrientes; proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico y modifica la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

En condiciones naturales, el COS resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (Aguilera, 2000 y Swift, 2001 y), erosión y lixiviación (Martínez *et al.*, 2008). Por lo que la adición de materia orgánica estabilizada ayuda a incrementar la agregación estable del suelo, manteniendo su porosidad, lo que favorece la aireación y la retención de humedad (Villagra y Céspedes, s.f.), esto quiere decir que existe una relación directa entre materia

orgánica (MO), carbono y humedad, a mayor contenido de MO, mayor contenido de carbono y mayor retención de humedad.

En el sitio Hu1Ch el contenido de humedad y de carbono es el más bajo, lo que explica que sea el que presente mayor pérdida de suelo; a diferencia del sitio Hu3LJ cuyo contenido de humedad y carbono es el más alto y es de los que presentan mayor acumulación de suelo a pesar de la pendiente. En el caso del sitio tres el contenido de carbono es de los más altos y la humedad se encuentra en la media, sin embargo, presenta pérdida de suelo, lo que pone en evidencia el papel de la pendiente en la pérdida de suelo.

Las propiedades físicas y químicas del suelo de cada sitio influyen en el efecto de la precipitación y la pérdida de suelo (FAO, 2022). En el sitio Hu1Ch la mayor pérdida se presentó en el mes de octubre, que fue el de mayor precipitación (4.2 mm) (RUOA, 2023) y en el caso del sitio Hu2Ch en noviembre. Sin embargo, no responde únicamente a la precipitación, ya que cada uno presenta condiciones diferentes, como la pendiente que en ambos es pronunciada, pero la de Hu2Ch es mayor (12.03°) a la de Hu1Ch (10.86°) y la cobertura vegetal, en el sitio Hu1Ch es menor al 2 % de acuerdo con la estimación visual de Folk (1951) a diferencia del Hu2Ch que es mayor al 30 % (Folk, 1951) (Anexo 4) y en la que predominan especies herbáceas de importancia medicinal que por las características de sus raíces sujetan el suelo y frenan o impiden la erosión (Arteaga, 2015).

Por último, en la milpa Mi1LJ, se presentó la mayor acumulación de suelo, esto puede deberse a que la pendiente es ligera (3.44°) por lo que la escorrentía es menor comparada con las pendientes pronunciadas (Schwyter y Vaughan, 2022), a pesar de que la cobertura vegetal es menor al 5% (Folk, 1951).

Con estos argumentos resulta pertinente sugerir que las propiedades del suelo de los sistemas sean consideradas en el manejo del suelo con el objetivo de mantener e incrementar su fertilidad, así como las demás funciones ecológicas (captura de carbono, infiltración) (Cotler *et al.*, 2015). En el caso del suelo arenoso del sitio Hu1Ch, la incorporación de abonos orgánicos, como los hongos de montaña y el magro, ayudaría a liberar nutrientes de manera lenta y mejorar las propiedades físicas y químicas, aunque

se sugiere que se entierre para evitar la mineralización y favorecer el almacenamiento de agua, la actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes (FAO, 2022).

El método de medición con estacas generalmente es utilizado en sitios áridos o en parcelas experimentales (Molgora, 2013); en este estudio el método de varillas fue el apropiado por la ubicación y las condiciones de cada sistema de cultivo, ya que permitió tomar mediciones mensuales y la instalación no requirió mayores esfuerzos. Además, dado que no existe una estandarización del método, la adaptación del método fue más fácil en función de la superficie y la pendiente de cada sistema; y debido a la falta de parcelas control (por cuestiones de propiedad privada) para comparar la pérdida de suelo, se determinó dividir cada sistema en tres áreas (alta, media y baja) para cotejar entre sí.

La varilla *per se* supone una barrera física, por lo que en la parte superior de esta hay una tendencia a la sedimentación, es por ello, que se tomaron como datos confiables las mediciones de la parte inferior de la varilla (Molgora, 2013).

Específicamente en el área de estudio la presencia de una barrera física (cercas, bardas) en la parte alta de algunos de los sistemas evaluados (Hu3LJ, Hu2Ch y Mi1LJ) altera los resultados, por lo que no refleja la erosión real del sitio, ya que estas modifican el flujo de la escorrentía que baja por la ladera (Brea y Balocchi, 2010).

Es importante destacar que este método mide la erosión de forma localizada, es decir únicamente ayuda a determinar la pérdida de suelo en el área de estudio, la cual representa una parte de la ladera, por lo que para conocer la dinámica desde el enfoque de cuenca resultaría útil registrar la pérdida de suelo a lo largo de las laderas en las que se ubica cada sistema para conocer cómo afecta la ubicación de cada uno en la pérdida de suelo.

Por último, es importante considerar que por las condiciones en las que se realizó la investigación como la temporalidad (un año), la remoción de las estacas en el sitio Hu1Ch y la superficie de cada sistema, el resultado de la pérdida/sedimentación en cada sitio no es real, por lo que las evaluaciones de este tipo requieren un periodo de análisis mayor.

Los sistemas productivos tradicionales forman parte de los usos y costumbres de las comunidades rurales, por lo que a través del tiempo y del espacio han sido replicables al ser sistemas adaptables a las condiciones del medio en el que se implementan (CONABIO. 2005). Al ser diversos, contribuyen a la conservación de especies nativas, son sitios de recepción de polinizadores (UAEM, 2015) y a través de su manejo se puede contribuir a la conservación del suelo de la microcuenca, ya que este se puede replicar en los sistemas productivos tradicionales ya establecidos de acuerdo con las necesidades y características de cada sistema y de cada productor, por lo que los beneficios pueden ser ambientales (mejoramiento del suelo), económicos (producción de plantas de importancia económica como el árnica) y culturales (conservación de sistemas tradicionales) .

En cuanto al uso de árnica específicamente, por su raíz pivotante (Vibrans en CONABIO, 2009) podría ser capaz de penetrar capas compactadas o muy densas, incrementando la capacidad de percolación de agua del suelo (FAO, 2022), por lo que en los sitios en los que reproduce, puede aportar un beneficio extra al de las prácticas de manejo.

7.3 Evaluar la sustentabilidad de la producción de árnica.

La evaluación de la sustentabilidad a través de indicadores ambientales, económicos y sociales permite detectar áreas de oportunidad de los proyectos productivos (CONABIO, 2019); en esta investigación la evaluación se enfocó en el grupo de productores de árnica de la microcuenca La Joya

7.3.1 Perfil de la organización.

7.3.1.1 Antecedentes

El grupo de productores se dedica al cultivo de árnica (*Heterotheca inuloides*) dentro de sus sistemas de producción tradicionales, en combinación con otras especies de importancia económica como el nopal, la caléndula, el maguey, ruda, hierbabuena, granada, frijol, entre otras. Está compuesto por seis integrantes, un hombre y cinco mujeres originarios de las comunidades La Joya y el Charape, que se encuentran dentro del ejido Charape - La Joya.

Este grupo se formó en 2019 bajo la coordinación de la Universidad Autónoma de Querétaro y la S.P.R. Mujeres y Ambiente, inicialmente fueron siete personas las que lo

conformaron, de las cuales seis continúan con las actividades. Está vinculado a la Universidad Autónoma de Querétaro y a la S.P.R, ambos apoyan con la capacitación de los productores; la gestión de recursos que faciliten la producción de árnica, como los sistemas de almacenamiento de agua para el riego del cultivo; y la compraventa de la producción.

A pesar de que se encuentra inmerso en un ejido, la gestión del grupo es ajena a las actividades ejidales, cuenta con un representante designado por el grupo a través de consenso, las decisiones que conciernen a la producción de árnica se toman al interior del grupo. Esto va de la mano con la propiedad de la tierra, cada productor cuenta con título de propiedad, y de acuerdo con el uso de suelo establecido dentro del ejido los sitios Hu1Ch, Hu2Ch y Hu3LJ que corresponde a huertos de traspatio, se encuentran dentro de la zona de asentamiento humano; mientras que los sitios Mi1LJ y Mi2LJ corresponden al manejo en milpa que se encuentran en áreas destinadas a las parcelas (PHINA, 2023).

Cada productor es responsable del manejo de su propio sistema de cultivo, pero la meta de producción es en conjunto. Cada año Mujeres y Ambiente solicita determinada cantidad de kilos de árnica que se debe alcanzar a lo largo del año y que debe cumplir con ciertos requisitos como estar libre de fertilizantes químicos. Sin embargo, como la producción depende en gran medida de la temporalidad y cantidad de lluvia, no siempre se alcanza. Por lo que la gestión de recursos para sistemas de captura y almacenamiento de agua es uno de los objetivos del grupo que se están trabajando actualmente con la Universidad Autónoma de Querétaro y Mujeres y Ambiente, ya que mientras haya disponibilidad de agua, la planta puede producir todo el año.

La producción de árnica que realiza el grupo tiene un objetivo comercial, el comprador es el grupo Mujeres y ambiente, que elabora productos a base de árnica y además la comercializa, mediante exportación, al laboratorio español Provital cuyo objetivo es disponer de materias primas naturales locales de la mayor calidad beneficiando a los productores locales (Provital S.A., 2012).

7.4.1.2 Características económicas y administrativas.

En términos legales, la organización no está constituida, pero se firmó un acuerdo en el que se asignó a un representante del grupo. Así mismo, no cuenta con un reglamento, por lo que además del representante, no hay otros cargos asignados.

Dado que el grupo de La Joya forma parte de la cadena productiva de la S.P.R. Mujeres y Ambiente, los gastos administrativos y de envío corren a cuenta de la sociedad. Además, debido a la ausencia de una figura legal y el volumen de producción, no se llevan registros contables, pero sí de la producción de cada productor, esta tarea la realiza el representante del grupo. En cuanto al precio de venta del árnica, es Mujeres y Ambiente quien lo fija con base al precio de mercado, procurando que los productores obtengan ganancias justas y el pago se realiza a cada uno en función a lo producido.

Para el seguimiento de las actividades del grupo, suelen reunirse, sin embargo, no existe un calendario o agenda definida para estas reuniones, ni un registro de estas. Por lo general los temas que se tratan en estas reuniones se refieren al manejo de los sistemas de cultivo, ya que, por la diferencia de condiciones de cada uno, la calidad y cantidad del cultivo difiere, por lo que el objetivo es intercambiar información y estrategias de manejo que se puedan aplicar para mejorar las condiciones. Así mismo, se han presentado reuniones para la capacitación en temas de cultivo y manejo de suelos.

7.3.2 Aplicación de la Herramienta para la evaluación de la Sustentabilidad

7.3.2.1 Datos obtenidos por principio.

I. Gobernanza.

La gobernanza es el proceso de toma e implementación de decisiones (De Próspero *et al.*, 2019). Para la evaluación de este principio, la herramienta de CONABIO propone seis criterios, de los cuales cuatro se evaluaron ya que incluyen indicadores críticos: 1) Conocimiento y cumplimiento de la normatividad; 2) Comunicación, articulación y concertación; 3) Derecho de uso de la tierra y recursos naturales y 4) cumplimiento de los derechos de equidad, participación, asociación y pluralidad.



Figura 11 Taller participativo al inicio de la investigación.

En total son 7 indicadores (Tabla 10); que, de acuerdo con la ponderación propuesta, uno no aplica por la forma y el lugar en el que se realiza el cultivo de árnica, 4 están implementados parcialmente y 2 satisfactoriamente para el propósito de la verificación.

Tabla 10 Criterios e indicadores del principio de Gobernanza

CRITERIO 1: CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD		
Indicador	Puntaje	Resultados
La Organización conoce y cumple la normatividad asociada a sus actividades productivas en todos los ámbitos (comercial, ambiental, laboral, uso de tierra y recursos, etc.).	1	<p>Los productores conocen la ley agraria por el contexto ejidal en el que se encuentran, y dada la interacción con la UAQ, conocen su derecho a la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos gracias a la elaboración del protocolo Biocultural enmarcado dentro del protocolo de Nagoya.</p> <p>"como dimos accesos al recurso genético, se hizo como este procedimiento legal (el protocolo Biocultural), entonces creo que es lo único. Por parte del ejido pues digamos que están acompañados por la reforma agraria que les hablan de su derecho como ejidatarios y todo eso".</p> <p>Al ser un grupo de productores de primer nivel que no está legalmente constituido y al formar parte de la cadena de producción de la S.P.R, no realizan la venta directa al comprador final (Provital), por lo que en este momento ellos no realizan ningún trámite relacionado con la comercialización</p>
CRITERIO 2: COMUNICACIÓN, ARTICULACIÓN Y CONCERTACIÓN		

La Organización tiene y aplica reglas aprobadas por sus integrantes que definen cargos, roles/funciones a nivel directivo y operativo.	1	El grupo de productores firmó un acuerdo al iniciar sus actividades, en el que se definen las actividades, la relación con Mujeres y Ambiente, y otro con Provitál.
La Organización realiza reuniones periódicas de información, coordinación y gestión al interior de la organización.	1	Los productores de árnica se reúnen con frecuencia por lo que no cuentan con un calendario o bitácora en la que se lleve un registro; dado el número de integrantes y la cercanía de los sitios de cultivo y de las viviendas, se mantiene la comunicación constante entre ellos. Por la colaboración con "Mujeres y Ambiente", se mantiene la comunicación a través de los representantes de cada grupo, quienes se encargan de comunicarse con los demás compañeros, por lo que las reuniones se reservan para ciertas ocasiones y dependiendo de la importancia del asunto a tratar, además se aprovechan los espacios para compartir las experiencias de cada uno: "Cuando es algo muy importante pues si nos reunimos, solamente que sea algo no tan importante pues Janet me avisa a mí y yo me encargo de avisar el asunto que se vaya a tratar a los compañeros; a veces hacemos talleres, hemos hecho de fertilizantes, hemos hecho de cómo germinar y en ese proceso aprovechamos para compartir los conocimientos, incluso de visitarnos para ver las condiciones y ver si se puede replicar en los demás, porque a lo mejor tuvo buenos resultados. No tan seguido, pero si hemos hecho reuniones de ese tipo". "cuando son acuerdos que implique algo más allá de nosotros si forzosamente se tiene que convocar al grupo y platicarlo con detalle".
La Organización promueve la participación de sus miembros, toma acuerdos consensuados respecto a su funcionamiento organizacional y/o productivo, los registra y pone a disposición de los miembros.	2	La organización no acostumbra a reunirse con frecuencia, por lo que no hay un registro de las decisiones o planteamientos que se toquen cuando se reúnen; sin embargo, las decisiones se toman en grupo y cuando alguno no puede asistir a las reuniones se comunican con él/ella después para informar el tema tratado y para asegurarse de que los acuerdos sean consensuados: "cuando son acuerdos que implique algo más allá de nosotros si forzosamente se tiene que convocar al grupo y platicarlo con detalle". "alguna vez si ha faltado alguna compañera por causas de fuerza mayor, pero si después se platica de que se trató"; "se trató esto, qué opina y ya dicen que no hay problema, pero todos participan".
CRITERIO 3: DERECHO DE USO DE LA TIERRA Y RECURSOS NATURALES		
La Organización acredita la legal propiedad o posesión de la tierra o derecho de uso.	2	El grupo de productores se encuentra dentro de un ejido por lo que todos los productores, aunque no sean ejidatarios, cuentan con título de propiedad.
La Organización cuenta con el derecho de usufructo de los recursos naturales.	NA	Este indicador no aplica, hay que considerar que la producción se realiza bajo dos tipos de sistemas de cultivo tradicionales; en el caso de los huertos estos se encuentran dentro del predio destinado a la vivienda, que se encuentra dentro de la zona de asentamiento humado de acuerdo con los usos de suelo designados por el ejido y el Registro Agrario Nacional. En el caso de las milpas, estas se encuentran en el área destinada a las parcelas, cuyo propietario ha sido designado y cuenta con título de propiedad. Es importante destacar que por encontrarse en una zona rural y con usos de suelo ejidal, la ley garantiza el derecho de las comunidades al uso y disfrute de los recursos naturales de los lugares que habitan, salvo aquellos que corresponden a las áreas estratégicas (Art. 2 constitucional). Sin embargo, la actividad productiva se realiza en predios de su propiedad, y aunque se encuentran dentro del ejido el grupo es independiente: "digamos que cuando decidimos empezar a trabajar con el árnica se hizo la invitación al ejido para ver quien quería participar, y aparte se convocó a asamblea y de los que estábamos trabajando y los ejidatarios que hay pues ellos son los que se animaron a entrarle... el grupo no está tan relacionado, así al 100%, nada más porque teníamos que pedir ese permiso por si teníamos que pedir algún recurso entonces por eso es que se decidió avisarles, pero pues sí, el grupo es un poco independiente al ejido"; "hay un convenio, que un porcentaje de las ventas se va a destinar al ejido por parte de Provitál para conservación del ejido".
CRITERIO 4: CUMPLIMIENTO DE LOS DERECHOS DE EQUIDAD, PARTICIPACIÓN, ASOCIACION Y PLURALISMO		

La Organización toma acciones y medidas que aseguren el respeto de los derechos humanos relativos a: - Igualdad y a la no discriminación -Género - Trabajo infantil y/o forzoso - Pueblos indígenas.	1	El grupo está conformado por cinco integrantes, un hombre y cuatro mujeres adultos
--	---	--

Fuente: elaboración con base a los datos obtenidos en la entrevista

El indicador que no aplica es “La organización cuenta con el derecho de usufructo de los recursos naturales”, entendiendo por usufructo, como el derecho al goce de una cosa ajena. Considerando, que el proyecto se realiza dentro de un ejido, y que el artículo 27 constitucional reconoce la propiedad ejidal, se decidió considerar este indicador como no aplicable.

Los indicadores que están parcialmente implementados son: 1) el cumplimiento de la normatividad asociada a la actividad productiva ya que los productores conocen la ley agraria por el contexto ejidal pero no las implicaciones legales para la exportación del árnica; 2) la aplicación de reglas aprobadas por sus integrantes que definen los cargos, roles y funciones establecidos en un acuerdo firmado ya que el único cargo definido es el del representante aunque no se especificaron sus obligaciones en el acuerdo firmado; 3) la realización de reuniones periódicas de información, coordinación y gestión al interior de la organización ya que no se realizan reuniones pero se comunican constantemente entre ellos por medio de visitas o llamadas del representante; y 4) la toma acciones y medidas que aseguren el respeto de los derechos humanos relativos a igualdad y a la no discriminación; género, trabajo infantil y/o forzoso; y pueblos indígenas.

De acuerdo con la herramienta de CONABIO, el indicador anterior se refiere a la toma de medidas para asegurar el respeto a los derechos humanos cuando realiza actividades para sensibilizar a los miembros, o realiza acciones de difusión, capacitación o fomento al respeto de los derechos humanos y lo plasma en estatutos o códigos. Por ejemplo, realizar talleres de discusión y conversatorios sobre el respeto a los derechos humanos en la actividad productiva, cadena productiva o de valor o de sensibilización con grupos de las comunidades vecinas (niños, jóvenes, mujeres), entre otros (De Próspero, *et al.*, 2019).

Debido a la ausencia de las actividades que señala la herramienta y que al mismo tiempo se fomenta la participación e incorporación de hombres y mujeres al proyecto; así como la participación de todos los integrantes en la toma de decisiones y en las actividades del proyecto se asignó el puntaje 1.

Los que están implementados satisfactoriamente son la promoción de la participación en la toma de acuerdos a través de mecanismos de comunicación oral fomentados por el representante del grupo y la acreditación de la propiedad de la tierra a través de títulos de propiedad, ya que cada productor cuenta con su título de propiedad.

De acuerdo con la puntuación obtenida en los indicadores y al promediarla, este principio está parcialmente implementado, pero no es suficiente para el propósito de la verificación, por lo que aquellos indicadores que obtuvieron 1 como puntaje final, requieren acciones para su fortalecimiento, como la asignación de tareas del representante, programar reuniones presenciales con cierta periodicidad y capacitar a los productores con respecto a los requerimientos legales para la exportación del árnica.

II. Sostenibilidad económica y administrativa

La sostenibilidad económica y administrativa se refiere a la adopción de prácticas para el manejo de la organización empresarial, su administración y finanzas. Se vincula al manejo de la calidad en la actividad productiva y en las acciones de promoción y comercialización de sus productos, así como al desarrollo de capacidades de los integrantes (De Próspero *et al.*, 2019).



Figura 12 Cultivo de árnica en uno de los sistemas productivos

De acuerdo con la herramienta hay cinco criterios que orientan las acciones de este principio, sin embargo, para fines de esta evaluación se aplicaron aquellos que contienen indicadores críticos: 1) Administración, finanzas y costos; y 2) Producción. El primero se refiere al manejo de los recursos disponibles para asegurar que las actividades de trabajo se realicen de manera eficaz (cumplir las actividades para conseguir las metas) y eficiente (obtener los mejores resultados con el mínimo costo) y el segundo a las acciones de identificación, definición, monitoreo y documentación de las actividades del grupo de productores (De Próspero *et al.*, 2019).

Dentro de estos criterios, se evaluaron 5 indicadores (Tabla 11), que, de acuerdo con el sistema de puntuación, uno está parcialmente implementado (La Organización identifica, define, monitorea y documenta sus actividades productivas) y cuatro no están implementados ya que no cuentan con figura asociativa legal, RFC, registros contables, ni elaboran informes financieros.

Tabla 11 Criterios e indicadores del principio Sostenibilidad económica y administrativa

CRITERIO: ADMINISTRACIÓN, FINANZAS Y COSTOS		
Indicador	Puntaje	Resultados
La Organización cuenta con figura asociativa legal.	0	El grupo de productores corresponde a un grupo de primer nivel, es decir, es un grupo de personas que por voluntad deciden integrarse conforme a un objetivo económico y que se pueden constituir bajo alguna forma (sociedad anónima, S. P.R; cooperativa o asociación civil, etc.). En este caso, la organización evaluada no está legalmente constituida, pero existe un acuerdo que establece los derechos y obligaciones de los productores y la naturaleza de su relación con el grupo Mujeres y Ambiente, esto se debe a las características y el contexto en el que se desarrolla la actividad productiva. Es un grupo pequeño, tienen 4 años realizando el manejo del árnica bajo sistemas diferentes y condiciones adversas (disponibilidad limitada de agua, poca humedad del suelo, suelo degradado), y aunque la curva de aprendizaje ya se superó siguen ensayando técnicas que les permitan mejorar la producción y sacar el mejor provecho de esta.
La Organización cuenta con Registro Federal de Contribuyentes (RFC) y conoce y cumple con sus obligaciones fiscales.	0	En ese sentido dada la falta de una figura asociativa legal, no existe otras figuras como la del contador y lo que este implica, como el cumplimiento de obligaciones fiscales, la existencia de un RFC, aunque algunos (¿Cuántos?) productores cuentan con su RFC personal por las actividades que desempeñan más allá de la producción de árnica.
La Organización cuenta con registros contables.	0	La organización no cuenta con un registro contable, esto se debe a la ausencia de una figura asociativa y el número de integrantes del grupo. Cada uno es responsable de su producción, por lo que el pago es en efectivo y directamente con el productor o a través del representante de grupo. Es importante mencionar que en ocasiones el representante de grupo se encarga de entregar lo producido en La Joya-Charape a Mujeres y Ambiente, por lo que él lleva un registro de cuánto produce cada productor para asegurar el pago correspondiente.

La Organización elabora informes financieros, realiza sus procesos de rendición de cuentas y éstos son aprobados en asamblea periódicamente por los miembros.	0	No se realizan informes, si bien existe un representante no existen otras funciones designadas.
CRITERIO: PRODUCCIÓN		
La Organización identifica, define, monitorea y documenta sus actividades productivas.	1	No cuentan con un manual de producción, sin embargo, la comunicación oral y el desarrollo de talleres de propagación, cosecha y almacenamiento del árnica, así como la comunicación directa con la S.P.R Mujeres y Ambiente, y entre los productores facilita el intercambio de información relativa a la producción/manejo del árnica. Además, las condiciones ambientales y del suelo influyen directamente en la producción anual del árnica: "es que no ha todos les funciona igual, a unos les funciona de una manera, otros de otra, con cierto sustrato, a unos les funciona a otros no, entonces es como cada quien a lo que mejor le ayude o convenga. Como son diferentes condiciones eso ayuda a que cada uno/a le dé el toque"; "las condiciones del clima no nos dan".

Fuente: elaboración con base a los datos obtenidos en la entrevista

En términos de la puntuación de la herramienta de CONABIO, este principio no está implementado, pero esto no quiere decir que el proyecto presente fallos en su ejecución, sino que, a pesar de haber pasado la curva de aprendizaje, la organización está en un proceso de identificación de la viabilidad del proyecto, por lo que en este momento no consideran el registro de una figura asociativa legal como una necesidad, pero sí como una opción en el largo plazo.

III. Conservación de la biodiversidad

Este principio se refiere al cuidado de toda el área en la que se realizan las actividades productivas y de ser posible a las áreas cercanas, incluyendo la protección de los recursos naturales, de tal manera que los ecosistemas se mantengan igual o mejor, para las generaciones futuras (De Próspero *et al.*, 2019). El criterio que orienta las acciones de este principio es "Medidas para la conservación de ecosistemas y especies" que incluye 5 indicadores críticos de los cuales tres están parcialmente implementados y dos no aplican para el grupo de La Joya (Tabla 12).

Los indicadores parcialmente implementados están relacionados con el impacto de la producción de árnica; el conocimiento e identificación de ecosistemas en buen estado de conservación, el conocimiento e identificación de la vegetación en el área de influencia;

la aplicación de medidas preventivas y correctivas para la protección y reducción del impacto de las actividades.

Tabla 12 Criterios e indicadores del principio Conservación de la Biodiversidad

CRITERIOS: MEDIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS Y ESPECIES		
Indicador	Puntaje	Resultados
La Organización conoce e identifica el impacto de las actividades productivas en la conservación del entorno natural y aplica medidas preventivas y correctivas para su conservación cuando corresponda.	1	Los productores identifican el impacto de las actividades productivas que se realizan en la microcuenca (agricultura y ganadería), pero en términos de la producción de árnica aún no los han identificado.
La Organización conoce e identifica ecosistemas en buen estado de conservación y toma medidas para su protección procurando disminuir el impacto de las actividades productivas.	NA	Como la producción se realiza en huertos de traspatio y milpas, el aprovechamiento no es una extracción directa del ecosistema que implique un impacto al mismo. Sin embargo, sí identifican dentro de la microcuenca zonas de conservación destinadas voluntariamente por el ejido y que se han cercado para evitar el acceso del ganado y reconocen el impacto en estas áreas por la diferencia en las condiciones de la vegetación: "sí se ve la diferencia, afuera de la cerca está pelón porque los animales andan libres y donde está la zona cercada el pasto ya está de 50, 60 cm y los árboles también de metro y medio".
La Organización conoce el Plan o Programa de Manejo del Área Natural Protegida (ANP) y sus acciones no lo contravienen.	NA	Dentro de la microcuenca no existen un ANP, pero reconocen al parque natural la Barreta como una, aunque se encuentra fuera de los límites de la microcuenca.
La Organización identifica, establece y respeta zonas de conservación, de manejo, de aprovechamiento y extracción de especies en el área donde se realiza la actividad productiva.	NA	Como el manejo de árnica es en milpa y huertos de traspatio y son superficies pequeñas (17-282m ²), no hay una zonificación dentro de ellas. Sin embargo, hay zonas destinadas voluntariamente por el ejido a la conservación.
La Organización conoce e identifica la vegetación en su área de influencia y toma acciones para su conservación y restauración cuando corresponda.	1	Como el manejo de árnica es en milpa y huertos de traspatio y son superficies pequeñas (17-282m ²), no hay una zonificación dentro de ellas y las especies que se encuentran en ellos son de importancia económica y se siembra en función a las necesidades de cada productor, pero reconocen el tipo de vegetación de la microcuenca y han aplicado con los ejidatarios y la UAQ medidas de conservación como la delimitación de zonas de conservación y restringir el acceso del ganado, reforestaciones.

Fuente: elaboración con base a los resultados obtenidos de la entrevista

Para la asignación del puntaje de los indicadores se consideró que los productores reconocen el impacto de la ganadería sobre el suelo y que, desde su perspectiva, el cultivo de árnica bajo los sistemas productivos tradicionales tiene un efecto positivo ya

que puede ser un punto de atracción para los polinizadores y las raíces de las plantas intervienen en la retención del suelo.

Además, los productores identifican el tipo de vegetación de la microcuenca y el estado en el que se encuentran, además de que refieren la existencia de un mapa en el que se señala el tipo de vegetación existente en la microcuenca y la zonificación, sin embargo, pertenece al ejido y desconocen si aún existe dicho mapa.

Los indicadores que no aplican son: 1) el conocimiento de un Plan de Manejo del ANP ya que dentro de la microcuenca no hay un área natural protegida que esté bajo la administración de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), únicamente los espacios designados por el ejido, cuya administración le corresponde; y 2) el establecimiento de zonas de conservación, manejo, aprovechamiento y extracción de especies en el área donde se realiza la actividad productiva que sólo aplica en casos de que exista tal aprovechamiento o extracción de especies por la actividad productiva misma (ejemplo: aprovechamiento de palma, forestal, entre otros.) (De Próspero *et al.*, 2019). Sin embargo los productores identifican tres áreas destinadas a la conservación de manera voluntaria por parte del ejido, dos en la comunidad del Charape y una en La Joya, aunque señalan que no se respetan, por ejemplo en la comunidad del Charape indicaron que las cercas que tenía una de las zonas de conservación fueron retiradas por gente de la comunidad para su uso personal, así como la entrada de gente local y ajena a la comunidad para cortar madera de árboles en pie, actividad que está prohibida. Como grupo de productores están conscientes de la importancia de estas zonas y el papel que tienen en la conservación del suelo, durante la entrevista varios manifestaron su preocupación e interés en las actividades que podrían realizarse para mantenerlas, pero esas actividades se deben realizar en coordinación con el ejido.

Considerando la puntuación obtenida en los indicadores que sí aplican de este principio, se puede decir que está parcialmente implementado, pero no es suficiente para fines de la verificación.

IV. Uso sustentable de los componentes de la biodiversidad

Este principio se refiere a aprovechar los recursos naturales que son necesarios para la actividad productiva de manera cuidadosa para que sigan estando disponibles en el futuro en la cantidad necesarios y con la calidad requerida para que puedan ser aprovechados para la actividad productiva y por las comunidades y mantener los servicios ecosistémicos que brinda (De Próspero *et al.*, 2019).

Los criterios que orientan este principio son cinco, pero únicamente se evaluaron los dos que contienen indicadores críticos: 1) Medidas para el manejo, uso y/o extracción de los recursos biológicos y 2) Prácticas de manejo para la conservación del suelo (Tabla 13). El primero hace referencia al diseño e implementación de un plan de manejo, aprovechamiento y extracción sustentable, a través del cual se aplican técnicas adecuadas para el manejo, aprovechamiento y extracción de los recursos biológicos asegurando su existencia y conservación, toma en cuenta prácticas tradicionales y planes oficiales (si existieran) en el área donde se realiza la actividad productiva, así como la documentación del aprovechamiento. El segundo criterio se refiere a la identificación y aplicación de buenas prácticas para la conservación del suelo (De Próspero *et al.*, 2019).

Tabla 13 Criterios e indicadores del principio "Uso sustentable de los componentes de la Biodiversidad"

CRITERIO: MEDIDAS PARA EL MANEJO, USO Y/O EXTRACCIÓN DE LOS RECURSOS BIOLÓGICOS		
La Organización desarrolla e implementa un plan o programa operativo de manejo, aprovechamiento y extracción sustentable.	NA	Este indicador no aplica, hay que considerar que en la producción se realiza bajo dos tipos de sistemas de cultivo tradicionales; en el caso de los huertos estos se encuentran dentro del predio destinado a la vivienda, que se encuentra dentro de la zona de asentamiento humano y las milpas en la zona de parcelas, por lo que no hay una extracción directa del ecosistema.
La Organización conoce las tasas de aprovechamiento y aplica las técnicas adecuadas para el manejo, aprovechamiento y extracción de los recursos biológicos asegurando su existencia y conservación.	NA	Este indicador no aplica, hay que considerar que en la producción se realiza bajo dos tipos de sistemas de cultivo tradicionales; en el caso de los huertos estos se encuentran dentro del predio destinado a la vivienda, que se encuentra dentro de la zona de asentamiento humano y las milpas en la zona de parcelas, por lo que no hay una extracción directa del ecosistema. Por otro lado, dentro de la microcuenca predominan la ganadería y la agricultura, por lo que tampoco hay una extracción de recursos biológicos. Además, existen acuerdos en el caso de la extracción de madera, que es únicamente para leña y esta debe estar completamente seca para ello.

<p>La Organización identifica e implementa acciones o medidas para el manejo y control integrado de plagas y enfermedades.</p>	<p>1</p>	<p>El grupo de productores ha identificado dos insectos plaga del árnica, el pulgón y el chapulín, en base a su experiencia utilizan algunos compuestos como licuados de cebolla o epazote para el pulgón, pero en el caso del chapulín no han encontrado una estrategia de manejo. Adicionalmente no han recibido capacitación para el manejo de plagas: "Pues (tenemos las plagas) las normales con toda la planta, como el pulgón es como la más común, pero de repente y con algunos remedios caseros logramos controlarla, pero con el chapulín no hay uno casero que los acabe, tendríamos que usar uno químico, pero no podemos porque cuando se lo lleven al laboratorio ahí se van a dar cuenta y ya no lo van a comprar. Esos son los más fuertes".</p>
CRITERIO: PRÁCTICAS DE MANEJO PARA LA CONSERVACIÓN DEL SUELO		
<p>La Organización identifica y aplica medidas de buenas prácticas para la conservación del suelo en el área donde se realiza la actividad productiva.</p>	<p>1</p>	<p>Los integrantes del grupo reconocen el problema de erosión que existe en la microcuenca, así como las actividades que el ejido ha realizado en coordinación con la UAQ y la CONAFOR para mejorar las condiciones del suelo: "como ejido sí (hemos recibido) varias capacitaciones, como hemos hecho mucho trabajo de conservación, tenemos noción de que es la erosión, lo que implica hacer los trabajos, aunque es básico. Pero muy general de agua y suelo, hacer obras físicas, presas filtrantes para evitar que se desgaje el suelo, tornas, la mayoría es de suelo".</p> <p>Específicamente en los sistemas de cultivo los productores han recibido capacitación para la aplicación de mejoradores de suelo (microorganismos de montaña) y lo han aplicado; en un caso específico uno de los productores ha utilizado cobertura vegetal muerta para mantener la humedad en las plantas y reducir la escorrentía, sin embargo, continúan aplicando estiércol que como práctica perjudica la retención de carbono del suelo.</p> <p>Una de las ventajas del cultivo de árnica es que no implica la remoción de la planta, únicamente se aprovecha la flor, por lo que el resto de planta permanece y las raíces continúan reteniendo el suelo.</p>

Fuente: elaboración con base a los datos obtenidos de la entrevista.

Estos criterios contienen 4 indicadores, 3 y 1 respectivamente, de los cuales dos no aplican y dos están parcialmente implementados. Los que no aplican son: 1) la Organización desarrolla e implementa un plan o programa operativo de manejo, aprovechamiento y extracción sustentable; y 2) la Organización conoce las tasas de aprovechamiento y aplica las técnicas adecuadas para el manejo, aprovechamiento y extracción de los recursos biológicos asegurando su existencia y conservación, ambos aplican sólo en casos de extracción de recursos biológicos directamente del medio (ejemplo: aprovechamiento de palma, forestal, entre otros) (De Próspero *et al.*, 2019). De acuerdo con el puntaje obtenido, este principio está parcialmente implementado.

El primer indicador parcialmente implementado es la identificación e implementación de acciones o medidas para el manejo y control integrado de plagas y enfermedades, que se refiere al control integrado de plagas y enfermedades, así como a la aplicación de medidas que restrinjan o eliminen el uso de agentes químicos industrializados en el área. En este caso los productores tienen identificadas las plagas que se dan en sus sistemas,

como el pulgón, que tratan con remedios caseros como el licuado de cebolla, chile o epazote; y el chapulín, sin embargo, para este no han encontrado un remedio eficaz para controlarlo. En el caso de los huertos de traspatio refieren el uso de control biológico, como las gallinas que se alimentan de estos insectos e incluso gatos, pero en las milpas no ha encontrado algún remedio y ya que la producción es orgánica no pueden utilizar algún plaguicida químico. Además, tres de los cinco productores señalan que no han recibido capacitación para el manejo de plagas y dos refieren que sí, pero únicamente para el manejo del pulgón.

El último indicador de la tabla 13 está asociado a la identificación y aplicación de buenas prácticas para la conservación del suelo en el área donde se realiza la actividad productiva; y que se definen participativamente de acuerdo con las características de la actividad productiva y de su entorno. En este caso la producción de árnica implica únicamente la remoción de la flor, por lo que las raíces continúan con la función de retener el suelo, y se realiza en sistemas productivos tradicionales con características muy diferentes, por lo que las medidas adoptadas no son las mismas para todos los sitios y se aplican en función a las necesidades de cada uno. En los sitios Hu2Ch y Hu3LJ, los productores han implementado algunas estrategias como el uso de botellas para construir un tipo de fajina para retener el suelo; mientras que en Mi2LJ los propietarios han sembrado maguey en los límites de la milpa con el mismo objetivo. En el caso del sitio Hu1Ch a principios de mayo 2023 se construyeron fajinas para reducir el desplazamiento del suelo, cuyos efectos podrían ser evaluados a mediano o largo plazo. Además, los productores han recibido capacitación para la elaboración de mejoradores de suelo y que han estado aplicando desde el 2022.

A escala microcuenca, bajo la dirección de diferentes instituciones (UAQ y CONAFOR) se han implementado medidas para disminuir la escorrentía y mejorar las condiciones del suelo. Por su parte el ejido ha designado áreas destinadas a la conservación con el objetivo de mantener y mejorar la cobertura vegetal, y por ende del suelo, pero los productores señalan que el acuerdo es oral y que no se respetan esas zonas. Además, a pesar de que reconocen que la ganadería tiene un efecto negativo sobre el suelo, no

existen áreas destinadas específicamente a esta actividad, debido a que genera conflictos de interés con los propietarios de los animales.

La aplicación de la herramienta de CONABIO fue específicamente para evaluar al grupo de productores de árnica que ejerce sus actividades dentro de la microcuenca La Joya, sin embargo, se pudieron detectar situaciones que podrían estar afectando a toda la cuenca. Por lo tanto, los resultados obtenidos con la aplicación de esta metodología mostraron que los cuatro principios evaluados están parcialmente implementados, es decir que para fines de la verificación no son suficientes las actividades que realizan los productores.

En términos de Gobernanza, el grupo de productores de árnica, a pesar de estar inmerso en un ejido y de la relación con la S.P.R. Mujeres y Ambiente y la UAQ, es un grupo independiente que se rige bajo sus propios mecanismos. Ejerce su derecho a organizarse en grupos con un fin comercial, y aunque no están legalmente constituidos conocen su derecho a la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos (Osorno *et al.*, 2019), así como su derecho al disfrute y uso de los recursos naturales de la microcuenca que viene dado por el contexto ejidal y por contar títulos de propiedad de las áreas en las que se ubican los huertos y las milpas.

Existen acuerdos escritos y orales que rigen la convivencia con los demás actores de la microcuenca, sin embargo, mantienen su independencia y han establecido mecanismos de comunicación hacia el exterior e interior del grupo que aseguren el flujo de información constante, así como la participación equitativa de los integrantes en la toma de decisiones, como la designación de un representante que es el canal de comunicación con los demás actores y los integrantes del grupo, ya que no es común la realización de reuniones. Además, aunque no tienen un mecanismo para difundir los derechos humanos como solicita la herramienta de CONABIO, existe un conceso por el que hombres y mujeres pueden incorporarse al proyecto productivo y participar equitativamente en la toma de decisiones.

A pesar de estas características, es necesario profundizar en el marco legal de la producción de árnica, con el objetivo de facilitarle herramientas al grupo para definir la

dirección a tomar en un futuro y así incidir en el área de sostenibilidad económica y administrativa, que aparentemente es la más deficiente por el puntaje obtenido, debido a la ausencia de una figura asociativa y lo que implica. Esto representa un área de oportunidad, pero cuyo alcance depende de acuerdo con los productores de cómo se vaya dando el cultivo y los alcances que tenga dentro y fuera de la microcuenca, es decir si se incorporan más integrantes, si aumenta la superficie de siembra y la producción, si se dispone de sistemas de almacenamiento de agua, entre otros.

En el área de conservación del suelo y la biodiversidad, la producción de árnica bajo sistemas de cultivo tradicionales destaca porque no implica la extracción de recursos naturales directamente del ecosistema, ni de la planta completa, por lo que suma a las actividades en pro de la conservación del suelo y la vegetación de la microcuenca; fomenta los espacios para polinizadores e indirectamente contribuye a la conservación del patrimonio cultural a través de los huertos y las milpas (UAEM, 2015), .

Es importante mencionar que la herramienta permitió identificar un conflicto ambiental y de intereses, los productores mencionaron que a nivel ejido se han delimitado espacios destinados a la conservación con el objetivo de mejorar las condiciones del suelo y se han tomado acuerdos para mantener la vegetación, especialmente los remanentes de la vegetación arbórea; sin embargo, estos acuerdos no se están respetando. Mencionaron que habitantes de la microcuenca y foráneos suelen extraer madera en pie; aunque algunos han llamado la atención a estas personas, se ha vuelto una actividad recurrente y el ejido como tal no ha realizado ninguna actividad para mantener esos acuerdos. De acuerdo con algunos de los productores, los mismos ejidatarios son los que no respetan esos acuerdos, especialmente aquellos que poseen varias cabezas de ganado y para evitar conflictos prefieren mantenerse callados. A nivel de cuenca, estas acciones pueden tener repercusiones, especialmente en la parte media, que es en la que se encuentran las áreas destinadas a la conservación y en la que realizan la mayor parte de las actividades productivas (ganadería y agricultura) por lo que la dinámica de cuenca se puede ver afectada a nivel ambiental, especialmente el suelo.

Con estos argumentos se puede afirmar que el proyecto productivo de árnica sí está orientado hacia la sustentabilidad, ya que busca proteger al ambiente a través de un

proyecto de producción orgánica que a la par busca mejorar las condiciones del suelo y realizar una producción ética, es decir que los beneficios sean directamente para los productores y mejoren su calidad de vida a través de la generación de ingresos (De Próspero *et al.*, 2019).

Es importante mencionar que el efecto y el éxito de las medidas sugeridas reside en el seguimiento y replicación por parte de los productores a largo plazo. Un ejemplo de esto sería la reducción del uso de estiércol puro, cuyo beneficio es perceptible a mediano o largo plazo, pero que mejoraría las condiciones del suelo como la retención de humedad (Dorroso, 2003).

8. Conclusiones

Los sitios bajo manejo de huerto tienen una mayor tendencia a la erosión, en el caso de los sitios de estudio el Hu1Ch y Hue2Ch son los que presentaron pérdida (4.74 kg/m² y 2.084 kg/m² respectivamente); en ambos casos el bajo contenido de carbono y la pendiente intermedia están directamente relacionadas con dicha. Esto pone en evidencia que la calidad del suelo influye en el potencial erosivo de los sitios.

El cultivo de árnica sí puede ser una alternativa para reducir la pérdida del suelo a través del manejo de los sistemas ya que puede abonar a mejorar las condiciones edáficas a través de prácticas como la adición de mejoradores de suelo que incrementen el contenido de carbono estable (Dorroso, 2003).

En cuanto a la evaluación de la sustentabilidad, de los 21 indicadores verificados diez están parcialmente implementados, dos están satisfactoriamente implementados, cinco no aplican y cuatro no están implementados. Por principio y de acuerdo con la ponderación de la herramienta; la Gobernanza esta parcialmente implementada; la sostenibilidad económica y financiera es nula; la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los recursos están parcialmente implementados.

Además de la verificación de los criterios de sustentabilidad que propone CONABIO, con la evaluación aplicada al grupo de productores, se pone en evidencia que los productores se han apropiado del proyecto de producción de árnica por lo que se ocupan de mejorar las condiciones de sus sistemas productivos y en consecuencia han obtenido beneficios

económicos. También se detectaron áreas de oportunidad en el ámbito social, ambiental y económico, aunque por las características del grupo y el tipo de indicadores evaluados (críticos) no se profundiza en el eje económico.

Es necesario mencionar que la herramienta para la evaluación de la sustentabilidad hace un aporte ambiental, ya que permite visibilizar los beneficios del cultivo de árnica, como que son un punto de atracción de polinizadores, que las raíces de las plantas que se manejan en los sistemas contribuyen a retener el suelo; y que de manera individual los productores aplican medidas en sus sistemas de cultivo para retener el suelo, como las fajinas con botellas. Además, el trabajo de concientización que se ha realizado con los productores se hace evidente, ya que en las entrevistas manifestaron preocupación por las condiciones del suelo y la importancia que tiene para ellos su conservación.

En la dimensión social, se percibe que han mejorado el equipamiento de sus sistemas productivos tradiciones a través de apoyos complementarios como la obtención de sistemas de captura y almacenamiento de agua y también ha generado una alternativa que les genera ingresos.

Se recomienda que en un mediano plazo y a medida que se hagan cambios dentro del grupo de productores, como la inclusión de nuevos integrantes o el incremento de superficie o espacios de producción, se replique la evaluación para conocer si el proyecto está cumpliendo con más criterios de la herramienta de CONABIO.

A modo de conclusión general, la conservación de los recursos naturales a través de proyectos productivos es posible por medio de propuestas que estén alineadas con los intereses y las actividades de las comunidades en las que se van a implementar. La producción de árnica es un ejemplo de ello, ya que se ha vuelto una actividad complementaria dentro de los sistemas que cada productor tiene; se han apropiado del proyecto y lo han mantenido durante cuatro años; además son conscientes de la importancia de las labores de conservación del suelo dentro de sus sistemas y en toda la microcuenca.

9 Referencias bibliográficas

- Acevedo, E. y Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. *Serie Ciencias Agronómicas*. (8)13-25.
- Altieri, M. (1991). ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? *Clades*, 1, 1-14.
- Altieri, M. (1994). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. New York: Hayworth Press.
- Altieri, M. (1995). Traditional agriculture. En: *Agroecology: the science of sustainable agriculture* (pp. 111-115), United Kingdom: Westview Press.
- Altieri, M. (2001). Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios y sustentables. En: Sarandón, S. J. (ed), *Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable*. Ediciones Científicas Americanas, (pp. 49-56). Buenos Aires. Ediciones Científicas Americanas.
- Altieri, M. (2002). Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (93), 1–24.
- Altieri, M. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2, 35–42.
- Altieri, M. y Toledo, V. (2011). La revolución agroecológica en Latinoamérica. *The Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587–612.
- Andrade, E., Romero, A., Espinosa, M., Rivera, P., De la Garza, F y Castro, E. (2012). *Métodos de conservación y restauración de suelos en el norte de Tamaulipas, México*. Simposio Nacional sobre el control de la degradación y uso sostenible del suelo. Murcia, España.
- Arteaga Ordaz, M. J. (2015). *El cultivo de plantas aromáticas y medicinales, un proyecto productivo sinérgico entre el sector privado y productoras locales de la microcuenca Buenavista*. [Tesis de Maestría], Universidad Autónoma de Querétaro.

- Astier, M., Maass, M. y Etchevers, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36, 605-620.
- Ávila, C. (2010). La agricultura tradicional y la conservación de los recursos naturales en México. *Este país*, 226, 46-50.
- Barrientos, G (2013) *Propuesta de prácticas de conservación de suelos en ambientes semiáridos: Caso La Joya (Querétaro-Guanajuato)*. [Tesis de Maestría], Universidad Autónoma de Querétaro.
- Bauer, A., Black, A. (1994). Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science*. 58:185-193.
- Benítez, B., Pulido, G., y Equihua, M. (2004). *Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones*. México: Instituto de Ecología.
- Bertoni J. y Lombardo Neto, F. (1985). *Conservacao de solo en Erosión de Suelos en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO 1993. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/v8390e/V8390E07.htm> Revisado el 10 de diciembre de 2021
- Bienes, R., Marqués, M. J. y Ruíz, M. (2012). Cultivos herbáceos, viñedos y olivares. El manejo tradicional del suelo y sus consecuencias en la erosión hídrica. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 31(1), 49-74.
- Black, P. (1997). Watershed functions. *Journal of the American Water Resources Association*, 33(1).
- Bolaños, M., Paz F., Cruz, C., Aegumedo, J., Romero, V., y Cabrera de la, J. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 271-288.
- Bronick, C. y Lal, R. (2004). Soil structure and management; a review. *Geoderma*, 124 (2005), 3-22.

- Buckman, H. y Braddy, N. (1996). *The Nature Properties of Soil*. Macmillan Company
- Bye, R., Linares, E., y Estrada, E. (1995). Biological Diversity of Medicinal Plants in México. En: Arnason J.T., Mata R. y Romeo J.T. (Eds) *Phytochemistry of Medicinal Plants. Recent Advances in Phytochemistry*. Boston: Springer Nature.
- Capurro, J y Montico, S. (2020). Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos del Curiham*, 26, 41-47.
- Castellano, A., Contrera, V. y Bedmar, E. (2016). Utilización de plantas leguminosas en restauración medioambiental de Taludes y suelos degradados. *Sociedad de Ciencias de Galicia*, 16, 48-59.
- Castillo, L. (2017). *Caracterización de los sistemas de producción del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum m.) en el municipio de Tisma, Masaya, Nicaragua*. [Tesis de Maestría] Universidad Nacional Agraria.
- Centro de Desarrollo Rural Integrado de Cataluña. (2009). *Producción sostenible de flor de árnica en el Pirineo*. España: Caja Madrid
- Centro Regional de Capacitación en Cuencas. (2014). *Informe final. Creación del Centro Regional de Capacitación en Cuencas*. México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Chirino, E., Bellot, J. y Andreu, J. (2003). Efecto de diferentes tipos de cubierta vegetal en el control de la erosión en clima semiárido. *SE-España. Edafología*, 10(3) 39-48.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s.f.) Diversidad Cultural: Plantas Medicinales. Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/medicinal/plantas>. Revisado el 10 de enero de 2022.
- Cotler H. y Caire G. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología.

- Cotler, H. y Garrido, A. (2010). Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México. En Cotler, H. (Coord.), *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización* (pp. 104-107). México: Pluralia Ediciones e Impresiones.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R. y Ríos, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Cuadernos de Divulgación Ambiental. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cotler, H., Pineda, R., Ríos, E. y González, D. (2015). *Suelos; bases para su manejo y conservación*. Cuadernos de divulgación ambiental. México Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cotler, H. (2020). *Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales*. México: Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.
- Cuevas, Ma., Garrido, A., Pérez, J. y Iura, D. (2010). Estado actual de la vegetación en las cuencas de México. En Cotler, H. (Coord.), *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización* (pp. 50-58), México. Pluralia Ediciones e Impresiones.
- Dalal, R. y Bridge B. (1996). Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi-arid soils. In: Carter, M.R. y Stewart, B.A. (Eds.). *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. CRC Press (pp. 263–307)
- De Próspero, R., Huerta E., Neyra, L., Portilla, R., Velázquez, C. Venegas A y Volpato, K. (2019). *Herramienta de Verificación de Principios y Criterios de Sustentabilidad en Proyectos Productivos*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Denevan W. (1995). Prehistoric agricultural methods as models for sustainability. *Advanced Plant Pathology*, 11, 21–43.
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos (1996). Indicadores del suelo; Estabilidad de agregados Recuperado de: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/7thru12/?cid=nrcseprd885606>. Revisado el 11 de septiembre de 2022

- Divefarming. (2021). *Diversificar funciona: evalúan los primeros resultados de la diversificación de cultivos*. Recuperado de: <http://www.divefarming.eu/index.php/es/noticias/713-diversificar-funciona-evaluan-los-primeros-resultados-de-la-diversificacion-de-cultivos>. Revisado el: 18 de septiembre de 2021
- Dorrosono, C. (2003). *Introducción a la Edafología. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada*. Recuperado de: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/factformrelieve.htm>. Revisado el 20 de mayo de 2022
- Dourojeanni, A. (2000). *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable. Manuales*. Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Durán, V., Rodríguez, C., y Francia, J. (2014). Impacto de la erosión y escorrentía en ladera de agroecosistemas de montaña mediterránea. *Revista científica de ecología y medio ambiente* 23(1) 66-72.
- ETC Group (2009). *Who will feed us? Questions for the food and climate crisis*. Recuperado de: <https://www.uvm.edu/~fmgdoff/employment%20Jan.12.11/who%20will%20feed%20us%3F.pdf>. Revisado el 18 de septiembre de 2021
- Fernández, L. (2020). Restauración de suelos degradados. *Fertilización Orgánica y Recuperación de Suelos*. Recuperado de <http://forsuelo.es/servicios-de-fertilizacion/restauracion-de-suelos-degradados/> Revisado el 14 de octubre de 2021
- Flores, H., De la Mora, C, Ruíz I, y Chávez, A. (2013). Efecto de la Cobertura del suelo de tres cultivos sobre la erosión hídrica. *Revista Chapingo*, 12(1), 19-25.
- Folk, R. (1951). A comparison chart for visual percentage estimation. *Journal of Sedimentary Research*, 21(1), 32-33.

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2011). *Guía sobre prácticas de Conservación de Suelos. Promoción de Sistemas Agroforestales de Alto Valor con Cacao en Honduras.* Recuperado de: http://fhia.org.hn/downloads/guia_conservacion_de_suelos.pdf Recuperado el 10 de mayo de 2022

García, E. (1964). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.* México. UNAM.

García, L. (2000). Las Plantas Medicinales y Aromáticas: una alternativa de futuro para el desarrollo rural. *Revista ICE*, 2652, 29-40.

García, P. (2012). Efectos de diferentes tipos de vegetación mediterráneas sobre la hidrología y la pérdida de suelo [Tesis de doctorado, Universidad de Alcalá].

Geissert, D., Molgora, A., Negrete, S. y Hunter, R. (2016). Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra. *Agrociencia* 51(2), 119-133.

Gliessman, S. (1998). Agroecology: ecological process in sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15 (2), 96-96.

González, A. (1992). Manejo de agua en condiciones de secano en Tlaxcala. *Terra*, 10, 494-502.

González, A. (2003). Los sistemas agrícolas en el suroeste de Tlaxcala. En *Cultura y agricultura: transformaciones en el agro mexicano* (pp. 31-56). México, Universidad Iberoamericana.

González, J. (2000). *Guía metodológica para el estudio de cuencas hidrológicas superficiales con proyección de manejo.* Cuba: Universidad de La Habana.

González A. y Rivera J. (2009). Comparison of herbal products use in two largest border communities between the US and Mexico. *Herbalgram*, 81, 58-66.

Hudson, N. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Recuperado de:
<https://www.fao.org/3/T0848S/t0848s04.htm#capitulo%20%20%20%20m%C3%A9todos%20de%20reconocimiento>. Revisado el 11 de enero de 2022.

Huerta, E. (2020). *Verificación de productos y servicios amigables con la biodiversidad*. [Presentación]. Ciclo de conferencias: Biodiversidad Mexicana. México

Huerta J., Oropeza, J., Guevara, R., Ríos, D., Martínez, M., Barreto, O., Olguín, J. y Mancilla, O. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *IDESIA*, 36(2), 153-162.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2011). *Diccionario de datos de erosión del suelo*. Recuperado de: [Diccionario de datos de erosión de suelo. Escala 1:250 000 \(inegi.org.mx\)](#). Revisado el 24 de enero de 2022

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2020). *Índices de marginación 2020*. INEGI. Recuperado de: [Índices de marginación 2020 | Consejo Nacional de Población | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#) Revisado el 24 de enero de 2022

Jenny, H. (1994). Topography as a soil forming factor. In *Factors of soil formation. A system of quantitative pedology* (89-103). Nueva York: Dover Publications Inc.

Jouve, P. (1988) Quelques reflexions sur la spécificité et l'identification des systèmes agraires. Les cahiers de la Recherche Développement. En : Cotler, H., Fregosos, A. y Damian, J. (Eds). *Análisis de los sistemas de producción en la Cuenca Lerma-Chácala. México* (pp. 2)

Juárez, C., Aguilar, J., Juárez, M., Bugarín, R., Juárez, P. y Cruz, E. (2013). Hierbas Aromáticas y Medicinales en México: Tradición e Innovación. *Revista Bio Ciencias*, 2(3), 119-129

Kay, B.D. (1998). Soil structure and organic carbon: a review. En: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Soil Processes and the Carbon Cycle* (pp. 169–197). Estados Unidos: CRC Press.

Kustudich, D. (2002). *Linking poverty reduction and environmental management: policy challenges and opportunities*. World Bank Group. Recuperado de:

<http://documents.worldbank.org/curated/en/347841468766173173/Linking-poverty-reduction-and-environmental-management-policy-challenges-and-opportunities>. Revisado el 10 de diciembre de 2021.

- Le Bissonnais, Y. (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425-437.
- Loconto, A. (2020). Agroecology: A study of valuation processes in developing countries. In Laurent, B and Mallard, A. (eds). *Labelling the economy qualities and values in contemporary markets*. (59-90). DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1498-2_3.
- Lombeyda, B. (2020). Bioeconomía: una alternativa para la conservación. *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (27),13-30. Recuperado de: <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.27.2020.3984>. Revisado el 17 de septiembre de 2021.
- Maimone, M. (2006). Manejo tradicional de humedales tropicales y su análisis mediante sistemas de información geográfica (SIGS): el caso de la comunidad maya-chontal de quintín Arauz, Centla, Tabasco”. *Universidad y ciencia* 22(1), 27-49.
- Marínn, J., Murillo, K., Rodríguez, I. y Martínez, J. (2018). La agroecología: alternativa de desarrollo sustentable ante la crisis ambiental en un mundo globalizado. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 9(2), 63-76. <https://doi.org/10.22490/21456453.2196>
- Martínez, A., Cuadros, S. y Francia, J. (1993). *Plantas aromáticas, melíferas y medicinales: Caracterización y selección enfocada a la lucha contra la erosión*. España: Congreso Forestal Español.
- Martínez, E., Fuentes J. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista Ciencias del suelo* 8(1), 68-96.
- Martínez, R. (2008). Agricultura tradicional campesina: características ecológicas. *Tecnología en Marcha*, 21(3), 3-13.

- Masera, O., Astier, M. y López, S. (1999). *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: el marco de evaluación MESMIS*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Masera, O. y López, S. (2000). El marco MESMIS. En: Astier, M. y Hollands, J. (Eds), *Sustentabilidad y Campesinado* (pp.5-7). España: Mundi Prensa.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible de la Paz, Bolivia. (1997). *Manual de cuencas hidrográficas*. Recuperado de: <https://bivica.org/files/ministerio-informe.pdf>. Revisado el 18 de noviembre de 2021.
- Miranda, J., Herrera, B., Paredes, J. y Delgado, S. (2009). Conocimiento tradicional sobre predictores climáticos en la agricultura de los llanos de Serdán, Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10, 151-160.
- Molgora, A (2013) Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra del centro de Veracruz. [Tesis de Maestría, Instituto de Ecología].
- Morales, C. y Parada, S. (2005). Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Chile: *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.
- Morales, L. (2018) Utilización de árboles fijadores de nitrógeno *Escallonia pendula* y *Alnus acuminata* para la recuperación de suelo erosionados. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD].
- Ocampo, I. y Escobedo, J. (2006). Conocimiento tradicional y estrategias campesinas para el manejo y conservación del agua de riego. *Ra Ximhai* 2(2). 343-371.
- Oldeman, L.R. (1988). Guidelines for General Assessment of the Status of Human-Induced. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente* 88(4), 1-11.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1992) *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Recuperado de Agenda21.doc (un.org)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

(s.f.). *Plataforma de conocimientos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/>. Revisado el 15 de marzo de 2022

(2001). *The FAO-Unesco Soil Classification System. The World Reference Base for soil resources*. Recuperado de <https://www.fao.org/3/a0510s/a0510s.pdf>. Revisado el 15 de marzo de 2022.

(2009). *Guía para la descripción de suelos*. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>. Revisado el 15 de marzo de 2022.

(2016). *Estado mundial del recurso suelo (I6468ES/1/11.16)*. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i6468s/i6468s.pdf#:~:text=Cada%20a%C3%B1o%2C%20se%20estima%20que%20entre%2020%20y,anual%20se%20reducir%C3%A1%20en%20un%2010%25%20para%202050>. Revisado el 15 de marzo de 2022.

(2019). *Detengamos la erosión del suelo para garantizar la seguridad alimentaria en el futuro*. Recuperado de: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1193735/>. Revisado el 15 de marzo de 2022.

(2022). *Agricultura de conservación: Cobertura vegetal del suelo*. Recuperado de: <https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/>. Revisado el 15 de julio de 2023.

(2022). *Manejo de suelos arenosos*. Recuperado de: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-arenosos/es/>. Revisado el 15 de julio de 2023.

(2022). *Manejo de suelo problemáticos: suelos arcillosos*. Recuperado de: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-de-arcillas-expandibles/es/>. Revisado el 10 de mayo de 2023

Osorno, T. (2021). *Implementación del cultivo de árnica en las comunidades La Carbonera, Charape y La Joya (Tercer Informe)* Universidad Autónoma de Querétaro.

- Osuna, E. y Esquivel, F. (1996). Cobertura vegetal y erosión del suelo en Aguascalientes. *Agricultura* 22(2), 127-144.
- Ovalle, C., Rodríguez, F., Osman, A., Espinoza, S. y Del Pozo, A. (2020). Beneficios, restricciones y limitaciones de las cubiertas vegetales en *Cubiertas vegetales: una herramienta fundamental para el manejo sustentable del suelo en huertos frutales, viñedos y hortalizas*. Instituto de investigaciones agropecuarias. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6936/NR42306.pdf>.
Revisado el 1 de abril de 2022.
- Pérez, J. (2014). *Agricultura de terrazas en Tlaxcala. La Caridad Cuaxonacayo, México*. México: Gobierno del Estado de Tlaxcala.
- Pérez, J., Velazco, J. y Reyes, L. (2014). Estudios sobre agricultura y conocimiento tradicional en México. *Perspectivas latinoamericanas*, 11, 144-156.
- Porta, J., Roquero, R. y López, M. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3ª ed.). Mundi prensa.
- Posada, V., Posada, N., y Rodríguez, A. (2020). Fabricar la agroecología: lecciones de los proyectos de desarrollo social. *Agrociencia* 24(363).
- Quispe, T. (2022). La agroecología como alternativa para el desarrollo sostenible y sustentable. *Revista interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*. 8(14),33-45. DOI 10.35381/cm.v8i14.605
- Recalda, A., Araica, R., Dehuel, P., Aparicio, J.J., y Quiroz, J. (2010). Manual de Manejo de Cuencas. Canadá: *World Vision*.
- Reynolds, J. y Stafford, D. (2002). Global Desertification. Do Humans Cause Deserts? *The Geographical Review* 93(3), 413-427.
- Sánchez, A., García, R., y Palma A. (2003). *La cuenca hidrográfica como unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

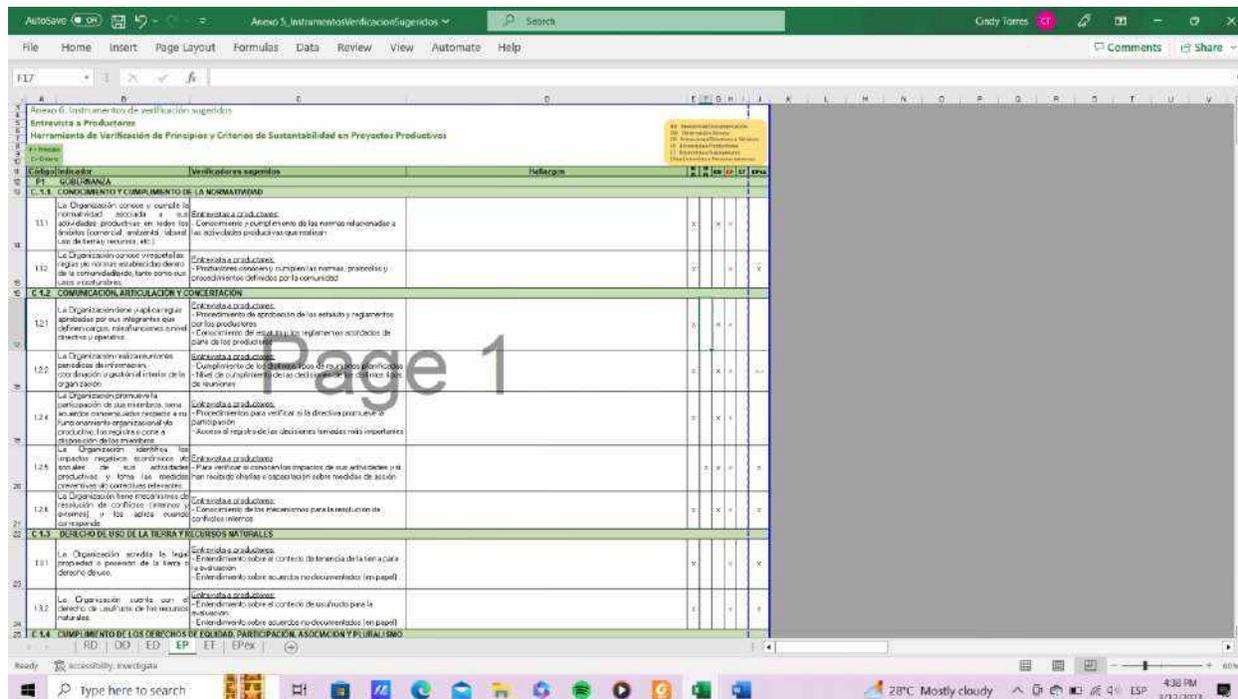
- Sánchez, G. (2020). *Tablas guía para la interpretación de análisis de suelos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez, J. (2013). *Flora nativa de usos múltiples valiosa para la restauración ecológica de la microcuenca La Joya, Qro.* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Sanjurjo, E., González, D., Ortiz, F y Ríos E. (2017) *Economía y medio ambiente, reflexiones desde el manejo de cuencas*. Cuadernos de divulgación ambiental. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Schwyster, A. y Vaughn, K. (2022). Pendiente y escorrentía. En *Introducción al Manual de Laboratorio de Ciencias del Suelo* (pp.131). Universidad de Wyoming.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2012). *Huerto de traspatio, sustentable y saludable*. *Huerto de traspatio, sustentable y saludable*. Recuperado de: [Huerto de traspatio, sustentable y saludable | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#). Revisado el 7 de junio de 2022
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). *Sistemas Agroforestales, alternativa multifuncional de vida*. Recuperado de: [Sistemas Agroforestales, alternativa multifuncional de vida | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#). Revisado el 8 de junio de 2022
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022). *Milpa, un regalo y tesoro mesoamericano*. *Milpa, un regalo y tesoro mesoamericano*. Recuperado de: [Milpa, un regalo y tesoro mesoamericano | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#). Revisado el 8 de junio de 2022
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2019) *Agricultura protegida, otra manera de cultivar*. Recuperado de: [Agricultura protegida, otra manera de cultivar | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#). Revisado el 8 de junio de 2022
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021). *Plantas medicinales de México: La botica más surtida del país, enriquecida con la sabiduría de pueblos y*

- comunidades indígenas*. Recuperado de: [Plantas medicinales de México | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](http://www.gob.mx). Recuperado el 7 de enero de 2022.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020) *Anuario de producción*. Recuperado de: <http://www.siap.gob.mx/>. Revisado el 6 de enero de 2022.
- Siebe, C., Jahn, R. y Stahr, K. (2016) Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. *Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Soil Science Society of America (s.f). *What is soil*. Consultado el: 10 de enero de 2022. Recuperado de <https://www.soils.org/about-soils/basics>. Revisado el 23 de marzo de 2022.
- Stocking, M. (2004). *Erosion and soil productivity: a review*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.scopus.com/record/display.url?origin=recordpage&eid=2-s2.0-18544394440&citeCnt=5&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&st1=Stocking&st2=M&nlo=1&nlr=20&nls=count-f&sid=8DB8FFF2812947304336C12844B82CBA.WXhD7YyTQ6A7Pvk9AIA%3a4113&sot=anl&sdt=aut&sl=40&s=AU-ID%28%22Stocking%2c+Michael+A.%22+7006846118%29&relpos=44#corrAuthorFooter>. Revisado el 7 de enero de 2022.
- Torres, G. y Rojas, F. (1990) Efecto de enmiendas orgánicas en viveros forestales. *Tecnología en marcha*. 10 (3), 65-64.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2009) *Ficha técnica Árnica en Atlas de las plantas de la Medicina Tradicional Mexicana*. Recuperado de: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=arnica-hi>. Revisado el 3 de abril de 2022.
- Universidad Autónoma de Querétaro (2009) *Plan Rector de Planeación y Conservación para La microcuenca La Joya*. México: UAQ.

- Valarezo, O. (2020). Marco aplicado para la sustentabilidad social y ambiental de fincas productoras de limón (*Citrus aurantifolia* (Christm) S.) en Portoviejo, Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 19-31.
- Vandermeer, J. (1995) The ecological basis of alternative agriculture. *Annual Review of Ecological Systems*, 26, 201-224.
- Vibrans, H. (2009) Malezas de México, Ficha *Hetheroteca inuloides*. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/heterotheca-inuloides/fichas/ficha.htm>. Revisado el 3 de abril de 2022.
- Thomsen, I., Schjonning, P., Olesen, J. y Christensen, B.T. (1999). Turnover of organic matter in differently textured soils: II. Microbial activity as influenced by soil water regimes. *Geoderma* 89, 199– 218.
- Walker, J., Dowling, T. y Veitch, S. (2006). An Assessment of Catchment Condition in Australia, *Ecological Indicators*, 6(1), 205-214.
- Weil, R. y Brady, N. (2016). *The nature of properties of soil*. (5th ed). Pearson.
- Yauri Salazar, C. J (2019). Uso de tres especies de leguminosas: *Canavalia ensiformes*, *Centrosema macrocarpum*, *Pueraria phaseloides*, en la recuperación de suelo degradados en el distrito de Luyando. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú] Repositorio institucional UNAS https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1541/CJYS_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yong Chou, A., Crespo Morales, A., Benítez Fernández, B., Pavón Rosales, M., y Almenares Garlobo, G. (2016). Uso y manejo de prácticas agroecológicas en fincas de la localidad de San Andrés, municipio La Palma. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 15- 21.
- Zamudio, G. (2002). El Real Jardín Botánico del Palacio Virreinal de la Nueva España. *Ciencias* 68, 22-27.

ANEXOS

Anexo 1 Instrumentos de verificación sugeridos: elementos sugeridos para la entrevista (Anexo 6 de la Herramienta) (Vista parcial)



Anexo 2 Entrevista aplicada a los productores

Nombre: _____ Edad: _____ Escolaridad: _____

CONTEXTO GENERAL

1. ¿Es ejidataria/o?
2. En algunos ejidos es común la toma de acuerdos y la firma de convenios para la realización de ciertas actividades. La diferencia entre ellos es que el acuerdo se basa en la toma de decisiones en grupo que se deben respetar por todos los participantes y esta puede estar por escrito o no, mientras que el convenio es un acuerdo para establecer derechos y obligaciones entre los que participan, por lo que implica la firma de un documento. En ese sentido ¿Existe algún convenio o acuerdo con el ejido para la producción de árnica?
3. ¿Hay algún acuerdo con el ejido para el uso de los bosques, manantiales y matorrales?
¿Cuáles son los principales?
4. ¿Hay algún acuerdo con el ejido para el cuidado del bosque, el río, los manantiales, los animales silvestres y el suelo? ¿Cuáles son los principales?
5. ¿Se han destinado áreas para la conservación dentro de la microcuenca/ejido?
6. ¿Cuántas? ¿sabe dónde están? ¿sabe que superficie tienen?
7. ¿Qué actividades se realizan en esas zonas?
8. ¿Han definido zonas exclusivas para el ganado y las parcelas?
9. ¿Aplican alguna medida para la conservación/manejo en esas zonas?
10. ¿Conoce el tipo de vegetación que hay dentro de la microcuenca y donde se encuentra?
11. ¿Sabe si el ejido tiene un mapa donde señale cada tipo de vegetación?

12. ¿Aplica alguna medida de conservación, como evitar el paso de los animales?

MANEJO DEL CULTIVO DE ÁRNICA

13. ¿Considera que la producción de árnica es compatible con el uso de la tierra ejidal?
14. ¿Sabía que para poder comercializar el árnica es necesario cumplir con ciertos requisitos legales, sanitarios y ambientales? Por ejemplo, contar con un registro de exportador que le permite exportar las plantas. ¿Cuáles?
15. ¿Conoce alguna ley que esté relacionada con cómo se debe manejar el árnica? ¿Cuál?
16. ¿Acostumbran a reunirse con frecuencia para intercambiar información sobre la siembra, cosecha y almacenamiento de árnica y ganancias o para tomar decisiones con respecto a la producción de árnica?
17. ¿Lleva un registro de las actividades que hace para producir el árnica? Si es así ¿cómo lo hace?
18. ¿Lleva un registro de lo que produce anualmente? Si es así ¿cómo lo hace?
19. ¿Ha tomado algún curso relacionado con el cultivo, cosecha y almacenamiento del árnica?
20. ¿Ha aplicado o aplica lo aprendido en esos cursos/talleres?
21. ¿Conoce las plagas que pueden atacar el árnica?
22. ¿Alguna vez ha presentado plaga el cultivo de árnica?
23. ¿Qué remedios ha aplicado para tratarla?
24. ¿Ha recibido capacitación para el manejo de plagas?

ORGANIZACIÓN

25. ¿Hace cuanto se formó el grupo? ¿Cómo se formó? ¿Cuáles fueron las condiciones? ¿Cómo se identifican?
26. ¿Conoce el acuerdo que se firmó cuando se formó el grupo?
27. ¿Cuáles son los principales acuerdos?
28. Sabemos que no están legalmente constituidos, pero ¿han pensado en algún momento hacerlo? ¿cuáles son sus expectativas?
29. ¿Han pensado en algún momento constituirse como una asociación con RFC, que lleve un registro contable con el apoyo de un contador?
30. ¿Cómo grupo de productores de árnica se han repartido/designado tareas a cada uno, por ejemplo, alguien que sea el representante, secretario o vocal?
31. ¿Acostumbran a dar seguimiento a las actividades que realiza el representante, secretario o vocal?
32. ¿Han aprobado algún reglamento dentro del grupo?
33. ¿Acostumbran a reunirse con frecuencia para dar seguimiento a sus actividades relacionadas con el cultivo de árnica?
34. ¿Cómo se organizan para la toma de decisiones?
35. ¿Considera que los integrantes del grupo participan de la misma manera (equitativa) en la toma de decisiones relacionadas a la producción y comercialización?
36. ¿Alguna vez ha estado en desacuerdo con alguna decisión tomada dentro del grupo?
37. ¿Considera que se están cumpliendo los acuerdos y decisiones tomados como grupo de productores?
38. ¿Cuenta con título de propiedad del terreno en el que produce árnica? Si no ¿de quién es el terreno?
39. ¿Cómo productor conoce sus derechos como el acceso a los recursos naturales de su comunidad, a recibir una parte de las ganancias generadas por el uso de sus recursos y conocimiento tradicional, a participar en la toma de decisiones asociadas a sus recursos y la ejecución de proyectos?
40. ¿La organización tiene políticas o reglas internas toma medidas para asegurar el respeto a los derechos de cada uno de los integrantes?

CONSERVACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

41. ¿Considera que los bosques, matorrales, manantiales se encuentran en buen estado/bien conservados?

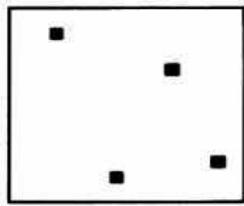
- 42. ¿Considera que la producción de árnica ayuda o perjudica el medio ambiente del ejido/microcuenca? ¿De qué forma?
- 43. ¿Ha tomado algún curso relacionado con el cuidado de los manantiales, de los animales silvestres, del bosque o suelo? ¿Cuál?
- 44. ¿Ha aplicado o aplica lo aprendido en el curso/taller?
- 45. ¿Aplica alguna medida para ayudar a mejorar las condiciones de los bosques, manantiales, el suelo y de los animales silvestres?
- 46. ¿Considera que el suelo se ve afectado por la cosecha de árnica?
- 47. ¿Aplica alguna medida para reducir el impacto ambiental hacia el suelo dentro de su huerto/milpa? ¿Cuál?
- 48. ¿Ha tomado algún curso/taller relacionado con el cuidado del suelo?
- 49. ¿Aplica o ha aplicado lo aprendido en el curso/taller?

Anexo 3 Cuadros de sustentabilidad: visión parcial del resumen general por principio y criterio (Anexo 6 de la Herramienta)

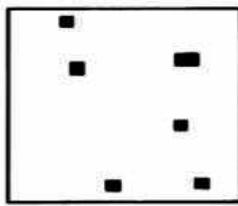
ANEXO 6: CUADROS DE SUSTENTABILIDAD

	PRINCIPIO 1: Gobernanza		
	AVANCES Y LOGROS 	PUNTOS DÉBILES 	ACCIONES DE MEJORA 
	¿Qué avances/logros tenemos en este aspecto?	¿Qué puntos débiles tenemos en este aspecto? ¿Qué nos falta reforzar?	¿Qué acciones proponemos para superar puntos débiles y seguir avanzando?
CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD			
COMUNICACIÓN, ARTICULACIÓN Y CONCERTACIÓN			
DERECHO DE USO DE LA TIERRA Y RECURSOS NATURALES			
CUMPLIMIENTO DE DERECHOS DE EQUIDAD, PARTICIPACIÓN, ASOCIACIÓN Y PLURALISMO			
RESPECTO A LOS DERECHOS DE SALUD Y SEGURIDAD			
DESARROLLO LOCAL			

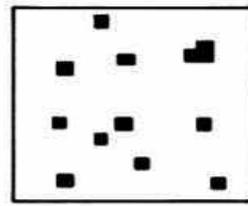
Anexo 4



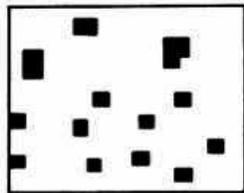
1 %



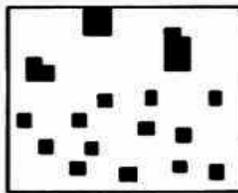
2 %



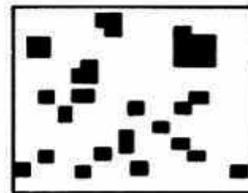
3 %



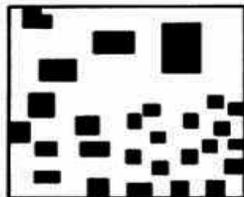
5 %



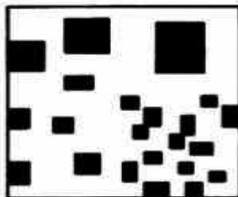
7 %



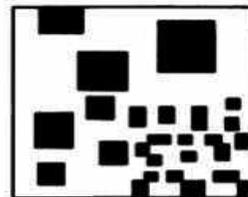
10 %



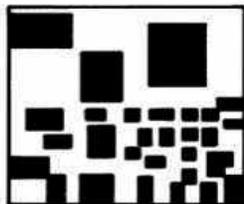
15 %



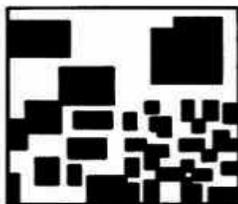
20 %



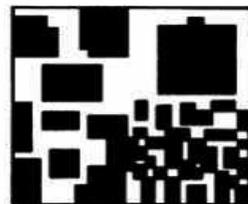
25 %



30 %



40 %



50 %