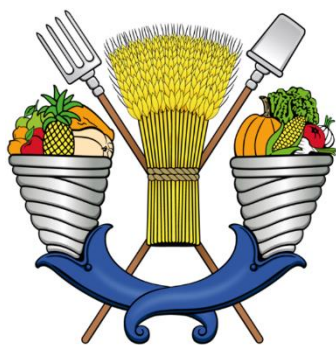




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS

ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

**Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y
de los Recursos Naturales**

**Análisis de la relación entre el nivel de
producción del *Agave tequilana* Weber y el
impacto ecológico del suelo en Pénjamo,
Guanajuato**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS
RECURSOS NATURALES**

Presenta:

Sheccid Guadalupe González Gallardo

Bajo la supervisión de:

Dr. Juan Hernández Ortíz

Chapingo, Estado de México, noviembre de 2025

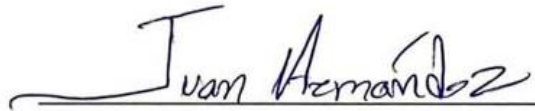


**ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL NIVEL DE PRODUCCIÓN
DEL AGAVE TEQUILANA WEBER Y EL IMPACTO ECOLÓGICO
DEL SUELO EN PÉNJAMO, GUANAJUATO**

Tesis realizada por **SHECCID GUADALUPE GONZÁLEZ GALLARDO**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS
RECURSOS NATURALES**

DIRECTOR:



Dr. Juan Hernández Ortiz

ASESOR:



M.C. José María Contreras Castillo

ASESOR:



Dra. Araceli González Juárez

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Planteamiento del problema	3
1.3	Justificación	5
1.4	Pregunta de investigación	6
1.5	Objetivo general	7
1.6	Objetivos particulares	7
1.7	Hipótesis.....	7
1.8	Estructura de tesis	7
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
2.1	Agave tequilana Weber en México	10
2.2	El suelo de Pénjamo, Guanajuato	10
2.3	El agave y sus implicaciones ambientales.....	11
2.4	Manejo y conservación del suelo en sistemas agrícolas	11
2.5	Impactos ambientales del cultivo del <i>Agave tequilana</i> Weber	12
2.6	Perspectiva socioeconómica del cultivo del agave	12
2.7	Enfoque conceptual del estudio.....	13
2.8	Estado del conocimiento y vacíos identificados.....	13
2.9	Literatura citada	13
3	TEQUILA CON SABOR A TIERRA: EL COSTO ECOLÓGICO DEL AGAVE TEQUILANA WEBER EN PÉNJAMO, GUANAJUATO	16
3.1	Resumen	16
3.2	Abstract	16
3.3	Introducción	17
3.4	Materiales y métodos.....	18
3.4.1	Área de estudio	18

3.4.2	Población y muestra	19
3.4.3	Material utilizado.....	20
3.4.4	Variables de estudio	20
3.4.5	Procedimiento.....	21
3.4.6	Análisis estadístico	22
3.5	Resultados.....	24
3.6	Discusión	27
3.7	Conclusiones	28
3.8	Literatura citada.....	30
4	CONCLUSIONES GENERALES	35
4.1	Conclusiones respecto al objetivo planteado.....	35
4.2	Conclusiones respecto a los objetivos particulares	36
5	LITERATURA CITADA.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Número de productores que se encuentran en cada nivel de cultivo.	25
Cuadro 2. Número de productores que se encuentran en cada nivel de impacto ambiental.	25
Cuadro 3. Tabla de contingencia o frecuencias observadas (FO).....	26
Cuadro 4. Tabla de frecuencias esperadas (FE).....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conformación del documento de tesis.....	8
--	---

DEDICATORIA

A **Dios**, por la salud, la fortaleza y la guía constante en cada paso de mi camino. Por nunca dejarme sola y brindarme la paz necesaria en los momentos de caos. A mi mamá, **Loreto Gallardo**, por su amor incondicional, por nunca dudar de mí y por recordarme siempre que, cuando una puerta se cierra, una ventana se abre. Gracias por impulsarme a ser mejor cada día.

A mi papá, **Raúl González**, por los sacrificios que realizó para que pudiera llegar a este momento, por su apoyo, comprensión y enseñanzas. Gracias por mostrarme que siempre debemos quedarnos con lo bueno de las cosas.

A mis hermanos, **Alberto y Dulce María**, por ser mi pilar más importante, por su amor sincero, por defenderme, por el apoyo incondicional y por siempre ser mis cómplices.

A mi abuelito, **Adrián Gallardo** (Q. E. P. D.), por enseñarme a ser valiente, a mantener siempre la humildad y a no olvidar de dónde vengo. Este logro es, con todo mi amor, para usted.

A la toallita suavizante de mi corazón, **Israel Granados**, por su compañía en los momentos difíciles, por las palabras de aliento, los abrazos que brindan calma y por motivarme a ser una mejor persona cada día. Gracias por enseñarme que todo cambio trae consigo algo bueno.

A mis amigas, **Dennis y Jacqueline**, porque su amistad hizo más llevadero este camino. Gracias por su apoyo constante, por estar presentes cuando más las necesité y por recordarme que la sinceridad y la verdadera amistad sí existen.

A mi MP, **Nancy González**, gracias por acompañarme en cada sacrificio y por saber siempre decir las palabras correctas en los momentos duros. Gracias por enseñarme que las almas gemelas existen.

Este logro es el reflejo de cada uno de ustedes, que con su amor y presencia me ayudaron a llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, por ser mi hogar durante nueve años, por formarme con principios, compromiso y amor al campo, y por brindarme las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional y personal.

A la **Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)**, por el financiamiento brindado para la realización de esta investigación, el cual fue fundamental para la continuidad y conclusión de mis estudios de posgrado.

A la **División de Ciencias Económico Administrativas**, por haberme formado como economista y por ser el espacio donde adquirí los conocimientos, valores y herramientas que hoy dan sustento a mi quehacer profesional y académico.

Al **Dr. Juan Hernández Ortiz**, por su valiosa orientación, paciencia y confianza durante todo este proceso. Su guía fue clave para dar forma y sentido a cada etapa de esta investigación.

A mis **asesores**, por sus aportaciones, observaciones y apoyo constante, que enriquecieron este trabajo y me permitieron consolidar mis aprendizajes con una visión crítica y humana.

A mis **profesores del posgrado**, por compartir con generosidad su conocimiento, experiencia y vocación docente. Cada enseñanza recibida contribuyó a fortalecer mi formación investigadora.

A los **productores de agave** del municipio de Pénjamo, por su disposición, tiempo y conocimiento compartidos. Sin su colaboración, este trabajo no sería posible.

A todos ellos, mi más profundo y sincero agradecimiento.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre:	Sheccid Guadalupe González Gallardo
Fecha de nacimiento:	01 de agosto de 2001
Lugar de nacimiento:	Ecatepec de Morelos, Estado de México, México
CURP:	GOGS010801MMCNLHA4
Profesión:	Ingeniera en Economía Agrícola
Cédula profesional:	14331919

Desarrollo académico

Preparatoria:	Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo Generación 2016-2019
Licenciatura:	Universidad Autónoma Chapingo Generación 2019-2023

RESUMEN GENERAL

Análisis de la relación entre el nivel de producción del Agave tequilana Weber y el impacto ecológico del suelo en Pénjamo, Guanajuato¹

El cultivo de *Agave tequilana* Weber ha experimentado un auge en México debido a su importancia económica y social, especialmente en municipios que cuentan con Denominación de Origen del Tequila como Pénjamo, Guanajuato, lo cual ha generado preocupaciones sobre el equilibrio ambiental, particularmente la degradación del suelo. Este estudio analiza la relación entre los distintos niveles de producción y el impacto ambiental percibido por productores en el suelo. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo correlacional y con un diseño no experimental y transversal. La técnica de recopilación fue una encuesta estructurada, que se aplicó a 110 productores seleccionados por un muestreo aleatorio simple, considerando superficie cultivada y disponibilidad. El tamaño mínimo de muestra calculado fue de 110 productores. Las variables principales fueron el nivel de producción (bajo, medio, alto) e impacto ambiental percibido (leve, moderado, severo). Los datos se analizaron mediante la prueba de ji-cuadrada de independencia, obteniéndose $X^2 = 90.22$, $gl = 4$ y valor crítico $= 9.49$, evidenciando una relación significativa entre las variables. Los productores con menor superficie perciben impactos más severos, mientras que los de mayor extensión reportan impactos más leves, posiblemente asociados a mejores prácticas técnicas y recursos. Estos hallazgos subrayan la necesidad de estrategias de capacitación dirigidas a pequeños productores para fomentar la sostenibilidad del cultivo y la conservación del suelo.

Palabras clave: degradación del suelo, percepción ambiental, ji-cuadrada, manejo sostenible, agricultura de conservación.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Ing. Sheccid Guadalupe González Gallardo

Director de Tesis: Dr. Juan Hernández Ortíz

GENERAL ABSTRACT

Analysis of the Relationship Between the Production Level of *Agave tequilana* Weber and Soil Ecological Impact in Pénjamo, Guanajuato²

The cultivation of *Agave tequilana* Weber has experienced significant growth in Mexico due to its economic and social importance, especially in municipalities with a Tequila Denomination of Origin, such as Pénjamo, Guanajuato. This expansion has raised concerns regarding environmental balance, particularly soil degradation. This study analyzes the relationship between different production levels and the environmental impact on soil as perceived by producers. The research was conducted under a quantitative approach, of a correlational type, and with a non-experimental, cross-sectional design. The data collection technique consisted of a structured survey, which was administered to 110 producers selected through simple random sampling, considering cultivated area and availability. The minimum calculated sample size was 110 producers. The main variables were production level (low, medium, high) and perceived environmental impact (mild, moderate, severe). The data were analyzed using the chi-square test of independence, obtaining $X^2 = 90.22$, $df = 4$ and a critical value $= 9.49$, indicating a significant relationship between the variables. Producers with smaller cultivated areas perceived more severe impacts, while those with larger extensions reported milder effects, possibly associated with better technical practices and resources. These findings highlight the need for training strategies aimed at small-scale producers to promote crop sustainability and soil conservation.

Keywords: soil degradation, environmental perception, chi-square, sustainable management, conservation agriculture.

² Master's Thesis in Agricultural and Natural Resource Economics, Universidad autónoma Chapingo.

Author: Eng. Sheccid Guadalupe González Gallardo

Thesis Advisor: Dr. Juan Hernández Ortíz

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El cultivo del *Agave tequilana* Weber variedad azul ha adquirido una importancia creciente en México por su valor económico, social y cultural, al constituir la materia prima del tequila, una bebida con denominación de origen reconocida internacionalmente. Se cultiva en la región conocida como Denominación de Origen del Tequila (DOT). La DOT fue la primera que se emitió en México. Desde 1943 existen referencias a cerca de gestiones por parte de industriales de la región para proteger el nombre “Tequila” y obtener la exclusividad de uso (CNIT, 2020; CRT, 2015).

El agave azul es utilizado, de acuerdo con la normatividad, para la producción del tequila, debe estar dentro del territorio protegido por la DOT y las plantaciones deben estar incluidas en un registro administrado por el Consejo Regulador del Tequila (CNIT, 2020; DOF, 2012), los cuales comprenden los estados de Jalisco, Michoacán, Tamaulipas, Nayarit y Guanajuato (INTAGRI, 2019).

Según datos oficiales del gobierno mexicano, la producción nacional de agave azul superó los 2.5 millones de toneladas en 2023 (SADER, 2023a), concentrándose principalmente en las zonas con denominación de origen. Guanajuato produce el 13.62% del agave nacional y aporta el 20% del valor de la producción nacional. Son más de 43 mil hectáreas en 7 municipios y más de 4 mil productores (H. Congreso del Estado de Guanajuato, 2023). Los municipios son Abasolo, Cuerámara, Huanímaro, Manuel Doblado, Pénjamo, Purísima del Rincón y Romita (Boletines Guanajuato, 2022; Gobierno del Estado de Guanajuato, 2022).

La expansión del agave ha impulsado cambios en el uso del suelo, particularmente en los estados de Jalisco y Guanajuato, donde este cultivo se ha convertido en una alternativa rentable frente a otros sistemas agrícolas tradicionales, el modelo agroindustrial del agave azul favorece la intensificación de los sistemas productivos, desplazando prácticas sostenibles por esquemas de monocultivo con alto impacto ambiental (Herrera Pérez et al., 2017).

En los últimos años, el municipio de Pénjamo, Guanajuato, ha mostrado un crecimiento sostenido en la superficie dedicada al cultivo del agave, debido a su inclusión dentro de la DOT. Este proceso ha generado beneficios económicos, pero también plantea interrogantes sobre las consecuencias ambientales asociadas a la expansión del monocultivo, especialmente en su relación con la degradación del suelo (Guevara-Gutiérrez et al., 2024).

Frente a este panorama, la sostenibilidad del cultivo depende lograr un equilibrio entre la productividad y la conservación del recurso suelo. De acuerdo con Guevara-Gutiérrez et al. (2024), la adopción de prácticas como coberturas vegetales, rotación de cultivos y reincorporación de residuos orgánicos favorece a la disminución de la erosión y la mejora de la estructura del suelo.

Por lo tanto, la presente investigación busca analizar la relación entre los niveles de producción del agave y los efectos ambientales en el suelo en el municipio de Pénjamo. Con ello, se pretende aportar evidencia científica que oriente la transición hacia un manejo más sostenible del cultivo, considerando tanto los impactos ecológicos como la percepción de los productores locales.

1.1 Antecedentes

El estudio del agave y su impacto ambiental ha cobrado relevancia en la última década, especialmente por los retos de sostenibilidad que enfrenta el sistema productivo del tequila. Diversas investigaciones han documentado los efectos del monocultivo intensivo sobre la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y el deterioro de los servicios ecosistémicos.

De acuerdo con Álvarez- Sánchez et al. (2010), los suelos cultivados con agave en el occidente de México presentan bajos niveles de materia orgánica, pH ácido y deficiencias de micronutrientes, lo que evidencía un deterioro progresivo de la fertilidad edáfica. De forma similar, Fregoso-Zamorano et al. (2023), identificaron que los suelos en plantaciones de agave muestran compactación, disminución de porosidad y erosión superficial.

Desde un enfoque productivo, Herrera-Pérez et al. (2023) compararon dos tipos de sistemas agaveros: el tradicional y el intensivo. Sus resultados demostraron que los modelos tradicionales, con rotación de cultivos, barreras vivas y uso moderado de agroquímicos, presentan mayor sostenibilidad social y ecológica, en contraste con los modelos industriales caracterizados por el uso continuo del suelo y la mecanización.

Por otra parte, estudios recientes han incorporado la perspectiva agroecológica como una alternativa viable. Como Guevara-Gutiérrez et al. (2024), enfatizan que las prácticas agroecológicas en el agave favorecen la conservación del suelo, reduce la erosión y mantiene la productividad sin destruir el entorno natural. Este enfoque sugiere que el manejo del agave debe entenderse no solo como una actividad económica, sino como un sistema socioecológico complejo.

En el caso de Guanajuato, la expansión del cultivo en municipios como Pénjamo se ha acelerado desde la década de 2010, en respuesta al aumento en la demanda de tequila y a la rentabilidad de la planta frente a otros cultivos de temporal. No obstante, existe un vacío de información sobre los impactos locales, particularmente, en lo relativo a la degradación del suelo y al papel de los distintos niveles de producción, pequeños, medianos y grandes productores, en esta problemática.

Por ello, este estudio se enfoca en llenar ese vacío, analizando los efectos percibidos por los productores y estableciendo una relación estadística entre el nivel de producción y los impactos ambientales sobre el suelo. Es así como se busca aportar información relevante para la toma de decisiones en torno a la gestión sostenible del cultivo de agave en Pénjamo.

1.2 Planteamiento del problema

El cultivo de *Agave tequilana* Weber ha adquirido una notable relevancia económica y social en México, particularmente en municipios como Pénjamo que cuentan con la DOT, sin embargo, el estado de Jalisco sigue siendo, indiscutiblemente, el líder en la producción y plantación de agave (CRT, 2025; SADER, 2023b). Es por ello que los productores de dicho estado han buscado la

expansión de sus operaciones, eligiendo a los siete municipios de Guanajuato como una región estratégica, por su cercanía geográfica y por ser parte de la DOT, para lograr su objetivo.

Este crecimiento acelerado que se ha suscitado en Pénjamo, el establecimiento de grandes superficies destinadas a este monocultivo ha promovido una serie de desequilibrios ambientales, especialmente relacionados con la degradación del suelo (Herrera-Pérez et al., 2023). El agave, al ser plantado de manera intensiva y continua en un mismo terreno, llega a modificar las propiedades fisicoquímicas del suelo, ocasionando compactación, erosión y pérdida de materia orgánica (Álvarez- Sánchez et al., 2010; Fregoso-Zamorano et al., 2023). Además, la tala de la vegetación nativa para habilitar nuevos espacios de plantación favorece a la pérdida de biodiversidad y a la alteración del equilibrio ecológico del entorno (Guevara-Gutiérrez et al., 2024).

En Pénjamo, los productores presentan distintos niveles de producción y grados de tecnificación. Los grandes productores, al tener mayor tecnificación y recursos, adoptan prácticas como rotación de cultivos, descanso del suelo y análisis de suelos que favorecen la conservación del recurso edáfico (Herrera-Pérez et al., 2023). En contraste con los pequeños productores, quienes, motivados por la alta rentabilidad del cultivo, habilitan terrenos con planeación limitada y manejo técnico precario, intensificando así la alteración del ecosistema y el deterioro del suelo, estudios sobre expansión agavera y agro-extractivismo muestran cómo la demanda y la inversión han impulsado la conversión acelerada de tierras y presiones ambientales en regiones como Pénjamo y Jalisco (Fregoso-Zamorano et al., 2023; Herrera Pérez et al., 2017; Morales Ventura et al., 2024).

Esta situación ha originado una problemática ambiental, es por eso que al analizar la relación entre el nivel de producción del *Agave tequilana* Weber y el impacto ecológico del suelo en Pénjamo, Guanajuato, se refleja la necesidad de comprender el problema con la finalidad de promover alternativas de manejo más sostenibles (Guevara-Gutiérrez et al., 2024; Herrera-Pérez et al., 2023).

El área de estudio corresponde al municipio de Pénjamo, Guanajuato, en donde se concentran tanto pequeños como grandes productores de *Agave tequilana* Weber, lo que permite establecer comparaciones representativas sobre los niveles de producción y sus consecuencias ambientales. La información se obtendrá mediante trabajo de campo y aplicación de encuestas dirigidas a los productores locales.

Teóricamente, la investigación se enmarca en la ciencia ambiental y la agroecología, con apoyo de la economía agrícola para comprender la interacción entre las prácticas productivas y la degradación del suelo. Se sustenta en los principios del desarrollo sostenible y en los enfoques de manejo agroecológico, que buscan equilibrar las ganancias con la conservación de los recursos naturales (Altieri, 1999; Toledo y Barrera Bassols, 2009). Por lo tanto, se asume que las variaciones en las prácticas productivas generan efectos diferenciados sobre el suelo, y que las prácticas de los pequeños productores, por su menor tecnificación, pueden intensificar dichos impactos.

Este estudio pretende identificar la relación entre los niveles de producción y los efectos ambientales percibidos, con el propósito de generar información útil para la formulación de estrategias de manejo más sostenibles y adecuadas a las condiciones locales.

1.3 Justificación

La investigación sobre la relación entre los niveles de producción del *Agave tequilana* Weber y la degradación del suelo en el municipio de Pénjamo, Guanajuato, surge de la necesidad de comprender los impactos ambientales asociados al crecimiento del agave, particularmente en el contexto donde las ganancias económicas de dicho cultivo han desplazado prácticas de manejo sustentables (Fregoso-Zamorano et al., 2023; Herrera Pérez et al., 2017). Este estudio busca contribuir con datos e información científica que permita contemplar los diferentes niveles de deterioro sobre el suelo entre pequeños y grandes productores, con el propósito de promover estrategias productivas más sostenibles y equilibradas (Guevara-Gutiérrez et al., 2024).

Los beneficios de este estudio pueden contribuir al ámbito ambiental y académico al generar evidencia empírica sobre los efectos del cultivo intensivo del agave en la degradación del suelo (Álvarez- Sánchez et al., 2010; Fregoso-Zamorano et al., 2023), aportando así un diagnóstico que proporcione una base a futuras investigaciones en temas de manejo sustentable de suelos (Guevara-Gutiérrez et al., 2024). Asimismo, el impacto social y económico puede permitir la sensibilización de los productores sobre la aplicación de prácticas de conservación del suelo que garanticen la continuidad de su actividad agrícola a largo plazo (GIZ, 2024; Herrera Pérez et al., 2017).

Por otra parte, la investigación beneficia de manera directa a los productores de agave del municipio de Pénjamo, al ofrecerles información útil para mejorar sus prácticas productivas y así reducir el deterioro de los recursos naturales de los que depende su economía. Además, aporta información a las autoridades locales y organismos del sector agrícola interesados en formular políticas o programas de apoyo orientados al manejo sustentable del cultivo (SADER, 2023; SADER, 2024).

Finalmente, la comunidad científica y educativa se ve beneficiada al contar con un estudio que vincula aspectos productivos, ambientales y socioeconómicos en un territorio representativo de la Denominación de Origen del Tequila (CRT, 2015).

En última instancia, este estudio tiene un valor significativo porque no solo busca describir un problema ambiental, sino el proponer alternativas que contribuyan al equilibrio entre la productividad del agave y la conservación del suelo agrícola, fortaleciendo con ello un desarrollo sustentable de la región (Guevara-Gutiérrez et al., 2024; Herrera-Pérez et al., 2023).

1.4 Pregunta de investigación

¿Cómo se relacionan los distintos niveles de producción del *Agave tequilana* Weber con el deterioro ambiental percibido por los productores en el suelo del municipio de Pénjamo, Guanajuato?

1.5 Objetivo general

Analizar la relación de los efectos ambientales percibidos sobre el suelo asociados a los distintos niveles de cultivo del *Agave tequilana* Weber en el municipio de Pénjamo, Guanajuato, mediante un análisis de asociación estadística, con el fin de proponer estrategias que promuevan una producción agrícola más sostenible.

1.6 Objetivos particulares

- Identificar los distintos niveles de producción del *Agave tequilana* Weber entre los productores del municipio de Pénjamo, Guanajuato.
- Describir los efectos ambientales percibidos por los productores en el suelo derivados del cultivo del *Agave tequilana* Weber.
- Examinar la relación entre el nivel de producción y el grado de impacto ambiental percibido mediante la prueba estadística de ji-cuadrada.
- Proponer estrategias orientadas a la mitigación de los efectos ambientales negativos sobre el suelo, basadas en los resultados del análisis.

1.7 Hipótesis

El monocultivo intensivo del *Agave tequilana* Weber genera impactos significativos en diversas áreas del medio ambiente, principalmente en la degradación del suelo en el municipio de Pénjamo, Guanajuato. Estos efectos son más notorios entre los pequeños productores, quienes presentan mayores impactos negativos que los productores de gran escala, debido al uso limitado de prácticas de manejo y conservación del suelo.

1.8 Estructura de tesis

La estructura de la tesis está conformada por 4 capítulos, se abordan de manera secuencial para un buen desarrollo de la investigación (**Figura 1**).

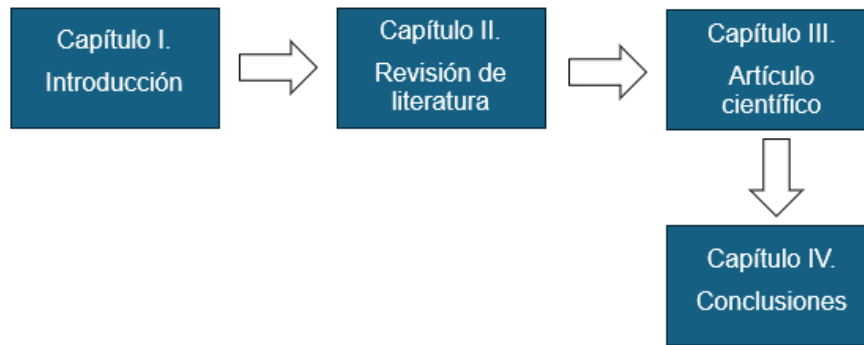


Figura 1. Conformación del documento de tesis.

Fuente: Elaboración propia.

En el primer capítulo se presenta el contexto general del estudio, así como la problemática ambiental asociada al cultivo del *Agave tequilana* Weber en el municipio de Pénjamo, Guanajuato. En donde se incluyen los antecedentes, el planteamiento y formulación del problema, la justificación, la pregunta de investigación, los objetivos generales y específicos, y la hipótesis. Este apartado establece las bases conceptuales y la relevancia del trabajo de investigación.

Para el capítulo número dos, se realiza una revisión teórica y documental sobre los principales conceptos que sustentan la investigación, tales como la producción del agave, las prácticas de manejo agrícola, la degradación del suelo y los impactos ambientales asociados al monocultivo. Además, se abordan antecedentes de investigaciones previas con el fin de fundamentar la interpretación de los resultados.

El tercer capítulo presenta el artículo derivado de la investigación, donde se exponen los apartados de introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, agradecimientos y referencias, con base en los datos obtenidos de las encuestas aplicadas a los productores de agave en el municipio de estudio. El artículo sintetiza los hallazgos principales sobre la relación entre los niveles de producción del agave y los impactos ambientales percibidos en el suelo.

Finalmente, en el número cuatro, se presentan las conclusiones generales del estudio, las cuales derivan del análisis integral de los resultados obtenidos. Se

retoman los objetivos planteados y se valoran en función de su cumplimiento. Además, se incluyen las reflexiones sobre las implicaciones ambientales y socioeconómicas de los resultados, así como posibles líneas de investigación futura.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Agave tequilana Weber en México

El *Agave tequilana* Weber constituye uno de los cultivos más representativos del occidente de México, tanto por su valor económico como por su relevancia cultural. Según datos oficiales, la producción de agave azul en México ha mostrado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, impulsada por la demanda del tequila y su dinamismo en los mercados nacionales e internacionales (SADER, 2023a; SIAP, 2021).

El crecimiento de la superficie cultivada ha generado beneficios económicos y sociales en las regiones productoras, pero también ha derivado problemas ambientales vinculados con la pérdida de fertilidad y la erosión del suelo. Según Ortiz García et al. (2022), señalan que más de la mitad de los suelos agrícolas de México presentan algún grado de degradación, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la gobernanza del suelo y la adopción de prácticas sostenibles.

En el caso específico del agave, su expansión se ha concentrado principalmente en los estados incluidos dentro de la Denominación de Origen del Tequila (DOT), entre ellos Guanajuato, donde el municipio de Pénjamo ha adquirido un papel relevante como zona productora. De La Mora-Orozco et al. (2021) advierten que un aumento de la demanda ha impulsado un manejo exigente del cultivo, lo que puede transformar las propiedades fisicoquímicas del suelo.

2.2 El suelo de Pénjamo, Guanajuato

El municipio de Pénjamo presenta condiciones favorables para el establecimiento del agave azul. No obstante, el aumento de la superficie dedicada al agave ha modificado el paisaje agrícola local. Conforme a Herrera Pérez et al. (2017), mencionan que los cultivos tradicionales han sido desplazados por el cultivo de agave en el Bajío guanajuatense, lo cual ha provocado una reducción en la cobertura vegetal de los suelos, lo cual los vuelve más susceptibles al desgaste.

Además, la expansión del cultivo responde a incentivos económicos más que a planeaciones agroecológicas. Esta tendencia ha provocado que muchos

productores utilicen terrenos marginales o con poca disposición agrícola, lo cual agrava la degradación edáfica. Tales condiciones sustentan la pertinencia de estudiar el fenómeno en Pénjamo, una zona representativa del crecimiento acelerado del monocultivo tequilero.

2.3 El agave y sus implicaciones ambientales

El monocultivo, definido como la siembra continua de una misma especie en un área determinada, es una práctica que puede deteriorar la salud del suelo por la pérdida de diversidad vegetal y microbiana. Según el estudio de Gobeille et al. (2006), en plantaciones de *Agave tequilana* una falta de rotación de cultivos reduce la materia orgánica y limita la regeneración natural del suelo, como resultado existe una disminución notable en su fertilidad.

Investigaciones internacionales demuestran que los sistemas agrícolas basados en monocultivos tienden a presentar tasas más elevadas de erosión y pérdida de nutrientes que aquellos que implementan rotaciones o combinaciones de cultivos (Raveloaritiana & Wanger, 2024). En México, diversos autores han advertido que la expansión de monocultivos industriales, maíz, caña o agave, implican una transformación negativa del paisaje y un deterioro de los servicios ecosistémicos (Butler, 2017).

2.4 Manejo y conservación del suelo en sistemas agrícolas

El manejo del suelo representa un componente fundamental en la sostenibilidad agrícola. La aplicación de materia orgánica y el descanso del terreno incrementan significativamente el carbono orgánico total del suelo y mejoran su estructura física (De La Mora-Orozco et al., 2021). Sin embargo, estas prácticas son infrecuentes entre productores con un menor nivel de tecnificación, ellos dependen de estrategias más simples y de bajo costo.

La conservación del suelo debe concebirse no sólo como una exigencia ambiental, sino como una inversión productiva de largo plazo capaz de mantener la productividad agrícola y prevenir el deterioro irreversible del recurso edáfico (GIZ, 2022; Grepperud, 1997). La diferencia en el uso o ausencia de prácticas de

conservación es un factor clave para explicar los distintos niveles de impacto ambiental entre productores.

2.5 Impactos ambientales del cultivo del *Agave tequilana* Weber

Diversas investigaciones han evidenciado los impactos del agave sobre el suelo. En consonancia con De La Mora-Orozco et al. (2021), concluyen que las plantaciones intensivas presentan una disminución del carbono orgánico y del nitrógeno disponible, lo que a largo plazo puede afectar la estructura y fertilidad del suelo. A su vez, Herrera Pérez et al. (2017) señalan que la compactación y la erosión se incrementan en terrenos donde no se realizan prácticas de manejo ni descanso entre ciclos productivos.

No obstante, persiste un vacío en el conocimiento respecto a las percepciones de los productores sobre estos efectos. Pocos estudios han realizado comparaciones sistemáticas entre productores de distinta escala (pequeños, medianos y grandes) sobre la percepción de los impactos ambientales del cultivo de agave, ya que la literatura disponible tiende a concentrarse en análisis biogeofísicos, económicos o en estudios de caso locales; por ello, existe una laguna en la comprensión integral del fenómeno (Arellano-Plaza et al., 2022; González-Venegas et al., 2023; Herrera Pérez et al., 2017).

2.6 Perspectiva socioeconómica del cultivo del agave

El auge del agave responde a su rentabilidad. Durante el pico de demanda (2021-2022) el precio del agave alcanzó niveles históricos, alrededor de 30 MXN/kg, lo que incentivó una expansión rápida de plantaciones (Dingwall, 2020). Esta dinámica económica ha incentivado a pequeños productores a destinar terrenos poco aptos o deforestar áreas para establecer nuevas plantaciones.

Sin embargo, los grandes productores suelen aplicar prácticas más controladas: análisis de suelo, rotación o uso de terrenos alternos. La tecnificación, como la de riego, contribuye a incrementar la rentabilidad y competitividad en el campo (SADER, 2018). Además, diversos estudios señalan que, cuando la tecnificación se acompaña de una adecuada planificación productiva, es posible mejorar la

rentabilidad sin comprometer los recursos naturales (Candelaria Martínez et al., 2011; Herrera, 2006). Estas diferencias justifican el interés de comparar los impactos ambientales entre productores de distinta escala.

2.7 Enfoque conceptual del estudio

La presente investigación se sustenta en los principios de la agroecología y la ciencia ambiental, los cuales permiten analizar las relaciones entre los sistemas productivos y los ecosistemas. De acuerdo con Altieri (1999), menciona que la agroecología es la aplicación de conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de sistemas agrícolas sostenibles. Desde esta perspectiva, la degradación del suelo se entiende como resultado de interacciones entre factores productivos, económicos y ecológicos.

El enfoque agroecológico contrasta con visiones puramente económicas, que priorizan la maximización de la producción sin considerar los costos ambientales. Por ello, esta corriente teórica resulta pertinente para explicar el vínculo causa-efecto entre los niveles de producción y los impactos ambientales percibidos.

2.8 Estado del conocimiento y vacíos identificados

En conjunto, la literatura revisada muestra que el monocultivo del agave puede ocasionar degradación del suelo, pero no todos los estudios coinciden en la magnitud del impacto ni en los factores que los determina. Existen vacíos importantes respecto a las diferencias entre productores, el papel del manejo agronómico y las percepciones locales. De ahí que la presente investigación busque aportar evidencia empírica que relacione el nivel de producción con los efectos ambientales del suelo percibidos por los productores en el municipio de Pénjamo, Guanajuato.

2.9 Literatura citada

Altieri, M. A. (1999). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan-Comunidad.

Arellano-Plaza, M., Paez-Lerma, J. B., Soto-Cruz, N. O., Kirchmayr, M. R., & Gschaedler Mathis, A. (2022). Mezcal Production in Mexico: Between

Tradition and Commercial Exploitation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.832532>

Butler, R. (2017, July 14). Scientists condemn expansion of industrial monocultures at expense of traditional gardens in Mexico. *MONGABAY*. <https://news.mongabay.com/2017/07/scientists-condemn-expansion-of-industrial-monocultures-at-expense-of-traditional-gardens-in-mexico/>

Candelaria Martínez, B., Rosado, O. R., Gallardo López, F., Pérez Hernández, P., Becerra, M., & Vargas Villamil, L. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. In *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (Vol. 14).

De La Mora-Orozco, C., Flores-Garnica, J. G., Vega-Ramírez, L. M., González-Acuña, I. J., Nápoles-Armenta, J., & Martínez-Orozco, E. (2021). Total Organic Carbon Assessment in Soils Cultivated with Agave tequilana Weber in Jalisco, Mexico. *Sustainability*, 13(1), 208. <https://doi.org/10.3390/su13010208>

Dingwall, K. (2020, December 31). Big sales, no Agave: A look at 2020 in the Tequila Industry. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/katedingwall/2021/12/31/big-sales-no-agave-a-look-at-2020-in-the-tequila-industry>

GIZ. (2022). *Estrategia nacional de suelo para la agricultura sostenible (ENASAS)*. www.gob.mx/agricultura

Gobeille, A., Yavitt, J., Stalcup, P., & Valenzuela, A. (2006). Effects of soil management practices on soil fertility measurements on Agave tequilana plantations in Western Central Mexico. *Soil and Tillage Research*, 87(1), 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.033>

González-Venegas, S. E., Tapia-Guerrero, L. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., & Toledo-López, A. (2023). Resiliencia agrícola en los pequeños productores de agave en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 197–209. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3055>

- Grepperud, S. (1997). Soil conservation as an investment in land. *Journal of Development Economics*, 54(2), 455–467. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(97\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(97)00051-5)
- Herrera, F. (2006). Innovaciones tecnológicas en la agricultura empresarial mexicana. Una aproximación teórica. *Gaceta Laboral*. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-85972006000100005
- Herrera Pérez, L., Valtierra Pacheco, E., Ocampo Fletes, I., Tornero Campante, M. A., Hernández-Plascencia, J. A., & Rodríguez-Macías, R. (2017). Prácticas agroecológicas en Agave tequilana Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 18, 3711–3724. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i18.216>
- Ortiz García, S., Saynes Santillan, V., Bunge Vivier, V., Anglés-Hernández, M., Pérez, M. E., & Prado, B. (2022). Soil governance and sustainable agriculture in Mexico. *Soil Security*, 7, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100059>
- Raveloaritiana, E., & Wanger, T. C. (2024). Decades matter: Agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services over time. *Cornell University*. <http://arxiv.org/abs/2403.05599>
- SADER. (2018). *Prioridad la tecnificación de riego para incrementar la rentabilidad y competitividad en el campo: Baltazar Hinojosa*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/prioridad-la-tecnificacion-de-riego-para-incrementar-la-rentabilidad-y-competitividad-en-el-campo-baltazar-hinojosa>
- SADER. (2023). 5 *Informe de labores*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/854499/5IL_2023_AGRICULTURA_compressed.pdf
- SIAP. (2021). *Panorama Agroalimentario 2021*. https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_siap/2021.pdf

3 TEQUILA CON SABOR A TIERRA: EL COSTO ECOLÓGICO DEL AGAVE TEQUILANA WEBER EN PÉNJAMO, GUANAJUATO³

Tequila with a taste of soil: the ecological cost of *Agave tequilana* Weber in
Pénjamo, Guanajuato

3.1 Resumen

El cultivo de Agave tequilana Weber ha experimentado un auge en México, particularmente en municipios como Pénjamo, Guanajuato, debido a su relevancia económica y social, lo que ha generado preocupaciones sobre el equilibrio ambiental, especialmente, el suelo. Este estudio analiza la relación entre nivel de producción e impacto ambiental percibido por productores sobre el suelo. Se aplicaron 110 encuestas a productores considerando superficie cultivada y disponibilidad; la población fue de 1450 productores, y tamaño mínimo de muestra fue de 110. Las variables principales fueron nivel de producción (bajo, medio, alto) e impacto percibido (leve, moderado, severo). El análisis mediante ji-cuadrada de independencia ($X^2 = 90.22$, $gl = 4$, valor crítico = 9.49) evidenció una relación significativa. Los productores con menor superficie perciben impactos más severos y los de mayor extensión efectos más leves, sugiriendo la necesidad de estrategias de capacitación para promover la sostenibilidad del cultivo y la conservación del suelo.

Palabras clave: percepción ambiental, ji-cuadrada, degradación del suelo, agricultura de conservación, manejo sostenible.

3.2 Abstract

The cultivation of Agave tequilana Weber has experienced a significant boom in Mexico, particularly in municipalities such as Pénjamo, Guanajuato, due to its economic and social relevance, raising concerns about environmental balance, especially soil health. This study analyzes the relationship between production level and the perceived environmental impact on soil by producers. A total of 110 surveys were applied to producers considering cultivated area and availability; the population consisted of 1450 producers and the minimum required sample size was 110. The main variables were production level (low, medium, high) and perceived impact (low, moderate, severe). Analysis using the chi-square test of independence ($X^2 = 90.22$, $df = 4$, critical value = 9.49) revealed a significant association. Producers with smaller plots perceived more severe impacts, while those with larger areas reported milder effects, highlighting the need for targeted training strategies to promote sustainable cultivation and soil conservation.

³ Artículo científico enviado a la revista *Acta Universitaria*, editada por la Universidad de Guanajuato.

Keywords: environmental perception, chi-square, soil degradation, conservation agricultura, sustainable management.

3.3 Introducción

El cultivo de Agave tequilana Weber variedad azul es la clave para la producción de tequila, representa uno de los sistemas agroindustriales más emblemáticos de México debido a su peso económico como a su valor cultural e identitario (SADER, 2016). La cadena de valor del tequila se ha fortalecido como un impulsador para el desarrollo regional vinculado a la Denominación de Origen, integrado por productores, industriales y exportadores bajo un modelo territorial especializado (Pérez-Akaki et al., 2021).

El cultivo de agave se extiende por miles de hectáreas, distribuidas principalmente en estados como Jalisco, Guanajuato, Nayarit y Michoacán, generando empleo y contribuyendo significativamente a las economías locales (Pérez-Akaki et al., 2021). Davis & Ortiz-Cano (2023) señalan que la expansión comercial del agave ha promovido sistemas de monocultivo que reducen la diversidad genética y alteran los ecosistemas locales, lo que pone de manifiesto la necesidad de prácticas agrícolas regenerativas para mantener la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, el auge productivo del agave ha traído consigo importantes transformaciones ambientales.

La expansión de monocultivos y la intensificación del manejo han provocado procesos de degradación del suelo, erosión, pérdida de biodiversidad y alteraciones en la dinámica ecológica local (Espinoza-Angulo et al., 2022; Guevara-Gutiérrez et al., 2024). En un estudio sobre suelos dentro de la región de la Denominación de Origen del Tequila (DOT), Espinoza-Angulo et al. (2022) documentaron concentraciones elevadas de trazadores inorgánicos y residuos químicos, lo que evidencia una degradación progresiva del suelo.

Por otro lado, la homogeneización genética del cultivo ha reducido la capacidad adaptativa del agave frente a estreses ambientales. Varios autores han advertido que la expansión de plantaciones comerciales de *Agave tequilana* y su propagación mayoritariamente asexual han provocado una reducción de la

diversidad genética en los cultivos; esta baja variabilidad está relacionada con una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades y con impactos negativos sobre procesos edáficos y servicios ecosistémicos. Por tanto, subrayan la necesidad de estrategias de conservación genética y prácticas agrícolas regenerativas para mitigar estos riesgos (Abraham-Juárez et al., 2009; Chávez-Sánchez et al., 2022; Davis & Ortiz-Cano, 2023).

No obstante, pese al creciente interés académico en los impactos del agave, aún persisten vacíos en la comprensión de cómo la escala de producción (pequeños, medianos o grandes productores) influye en los efectos ambientales percibidos en el suelo.

Este enfoque perceptual resulta relevante, ya que la manera en que los productores reconocen los cambios en su entorno condiciona su disposición a adoptar prácticas sostenibles (Pérez-Akaki et al., 2021). En regiones como Pénjamo, Guanajuato, donde la superficie cultivada con agave se ha expandido aceleradamente, es probable que el monocultivo intensivo del *Agave tequilana* Weber genere impactos significativos en diversas áreas del medio ambiente, principalmente en la degradación del suelo en Pénjamo, donde estos efectos son más notorios entre los pequeños productores debido al uso limitado de prácticas de manejo y conservación de suelo. Por ello, este estudio tiene como objetivo analizar la relación de los efectos ambientales percibidos en los suelos asociados a los niveles de cultivo del *Agave tequilana* Weber en el municipio de Pénjamo, Guanajuato.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Área de estudio

La investigación se efectuó en el municipio de Pénjamo, Guanajuato, México, localizado entre los paralelos 20° 38' y 20° 11' de latitud norte, y los meridianos 101° 35' y 102° 06' de longitud oeste, a una altitud promedio de 1700 m. s. n. m. (INEGI, 2020). El municipio forma parte de la región suroeste del estado, dentro de la zona geográfica conocida como Bajío, caracterizada por su relevancia agrícola e industrial.

La zona presenta un clima semicálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 19.3°C y una precipitación promedio de 674.1 mm (CONAGUA, 2020). De acuerdo con las edafoclimáticas, el uso predominante del suelo corresponde a la agricultura de temporal y cultivos industriales, destacando al *A. tequilana* como una de las principales plantaciones comerciales (Secretaría de Seguridad Pública, 2023).

Pénjamo fue seleccionado como área de estudio debido a su inclusión dentro de la DOT, condición que le confiere una importancia estratégica dentro del sistema agavero nacional (CRT, 2015). Esta característica lo convierte en el sitio clave para analizar la relación entre las prácticas de cultivo y los impactos ambientales percibidos por los productores locales. El trabajo de campo se efectuó entre los meses de abril y agosto de 2025.

3.4.2 Población y muestra

La población considerada en el estudio estuvo conformada por productores activos de agave en el municipio elegido. Para la determinación del tamaño muestral se adoptó un diseño de muestreo aleatorio simple (MAS), de manera que cada productor de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado (Cochran, 1977; Hernández-Sampieri et al., 2014).

De acuerdo con el departamento de Desarrollo Agropecuario y Rural Pénjamo (2025), el número total de productores en el municipio se estableció en $N = 1450$. Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula del tamaño de muestra para proporciones con corrección por población finita, apropiada cuando se aplica muestreo aleatorio simple y se conoce el tamaño de la población (Cochran, 1977; Lohr, 2010):

$$n = \frac{Z^2 p q N}{E^2(N - 1) + Z^2 p q}$$

Donde:

N = tamaño de la población (productores);

Z = valor crítico para el nivel de confianza (95%; $Z = 1.96$);

p = proporción esperada (se adoptó $p = 0.5$ por no disponer de información previa);

$q = 1 - p$;

E = margen de error permisible ($0.09 = 9\%$). (Cochran, 1977; Hernández-Sampieri et al., 2014).

Sustituyendo los valores empleados en este estudio:

$N = 1450$, $Z = 1.96$, $p = 0.5$, $q = 0.5$, $E = 0.09$

$$n = \frac{(1.96)^2(0.5)(0.5)(1450)}{(0.09)^2(1450 - 1) + (1.96)^2(0.5)(0.5)} = \frac{1392.58}{12.6973} = 109.6752853 \approx 110$$

Por tanto, el tamaño muestral requerido, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error permisible del 9%, es de 110 encuestas (Cochran, 1977; Lohr, 2010). En concordancia con este cálculo, en el presente estudio se aplicaron 110 encuestas efectivas a productores seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple a partir del marco muestral disponible (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Para mantener la transparencia metodológica, se aclara que la proporción $p = 0.5$ se adoptó por ser la opción conservadora en ausencia de información previa sobre la característica de interés (Cochran, 1977).

3.4.3 Material utilizado

Las herramientas empleadas consistieron en un cuestionario estructurado. Durante las visitas, las respuestas se registraron en una tableta electrónica, y, de manera complementaria, se realizó una grabación de audio, bajo la autorización de cada productor, mediante un teléfono celular. Los datos recolectados fueron digitalizados y organizados en Microsoft Excel 365 para facilitar su manejo y sistematización.

3.4.4 Variables de estudio

En este estudio se consideraron dos variables principales. La primera fue el nivel de producción, clasificado en tres categorías: bajo, medio y alto. Los productores con menos de 5 hectáreas plantadas se ubicaron en la categoría de “bajo”,

aquellos entre 5 y 15 hectáreas en la categoría “media”, y los que superaban las 15 hectáreas en la categoría de “alta”.

La segunda variable correspondió al impacto ambiental percibido en el suelo, determinado con tres niveles: leve, moderado y severo, adaptado de la metodología de García-Fajardo et al. (2024). Los productores se clasificaron como “leve” cuando reportaron cambios mínimos en el suelo, “moderado” cuando observaron erosión ligera y empobrecimiento del suelo, y “severo” cuando se identificó compactación y erosión visible en el suelo. Esta clasificación se determinó a partir de la percepción del propio productor y su experiencia manejando cultivos diferentes ante el nivel de desgaste del suelo, considerando si la compactación y la erosión eran percibidas como “poca”, “media” o “mucho”.

Además de las variables principales, durante la aplicación del cuestionario se recopilaron datos complementarios como la edad, escolaridad, tiempo de experiencia en la producción, superficie plantada y rentada, así como la edad del agave más antiguo plantado. También se indagó sobre la pérdida o aparición de especies de flora y fauna, con el objetivo de contextualizar los posibles efectos ambientales asociados al nivel de producción.

3.4.5 Procedimiento

Para la aplicación de las encuestas, se realizó una selección inicial de comunidades basada en el conocimiento previo de la zona y en la identificación de aquellas con mayor presencia potencial de productores de *Agave tequilana* Weber. Posteriormente, se acudió con las autoridades locales, principalmente los comisariados ejidales de cada comunidad, con el propósito de solicitar los listados de productores y conocer los lugares donde podían ser localizados.

A partir de dichos listados se conformó un marco muestral preliminar. Con esta información, se seleccionaron de manera aleatoria los productores que serían visitados para la aplicación de la encuesta, siguiendo el procedimiento del muestreo aleatorio simple.

Antes de la aplicación definitiva, se llevó a cabo una encuesta piloto, entre los meses de mayo y julio de 2024. Esta fase permitió evaluar la claridad, pertinencia y extensión de las preguntas. La encuesta piloto sirvió para identificar las variables más relevantes, eliminar aquellas que resultaban innecesarias y ajustar el lenguaje de las preguntas para facilitar su comprensión. Con base en los resultados obtenidos, se obtuvo la versión final del instrumento.

Cada encuesta se realizó de manera presencial. La visita a cada productor contaba con una duración promedio de 40 minutos por entrevista. Se informó a los participantes que los datos personales serían tratados de manera confidencial y exclusivamente con fines académicos, asegurando su consentimiento informado.

Una vez concluidas las encuestas, la información recolectada fue transcrita y organizada en el office elegido. Se asignó una hoja de cálculo a cada productor, y posteriormente se consolidaron los datos en una tabla general, donde se incluyeron variables como el número de cuestionario, nombre del productor, superficie plantada, superficie rentada, además del total de hectáreas plantadas.

Posteriormente, se ordenaron los registros de mayor a menor superficie, lo que permitió establecer el primer criterio de clasificación del nivel de producción. A esta base se añadió una columna adicional para registrar el nivel de impacto ambiental percibido en el suelo, con base en la información proporcionada por cada productor.

Una vez integradas las bases de datos de todas las comunidades, se elaboró un archivo general para la realización del análisis estadístico, con los datos sistematizados se llevó a cabo la prueba de ji-cuadrada, estableciendo una hipótesis nula (H_0) y una alternativa (H_a).

3.4.6 Análisis estadístico

La prueba de ji-cuadrada (X^2) de independencia se empleó debido a que esta herramienta permite analizar si dos variables categóricas se encuentran relacionadas o son independientes entre sí (Agresti & Finlay, 2009; Siegel &

Castellan, 1995). La elección de esta prueba se justifica porque las variables principales (nivel de producción e impacto ambiental percibido sobre el suelo) son de naturaleza cualitativa ordinal, clasificadas en tres categorías cada una (Daniel & Cross, 2013).

La prueba de ji-cuadrada permite contrastar la hipótesis nula (H_0), que establece la independencia entre las variables, frente a la hipótesis alternativa (H_a), que propone la existencia de una relación estadísticamente significativa (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

- H_0 : El nivel de cultivo y el impacto ambiental sobre el suelo son independientes.
- H_a : El nivel de cultivo y el impacto ambiental sobre el suelo están relacionados.

El nivel de significancia establecido de $p < 0.05$, es el criterio convencional en las ciencias sociales y ambientales para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula (Montgomery, 2013; Triola & Pineda Ayala, 2009; Zar, 2014).

Para el análisis se elaboró una tabla de contingencia o de frecuencias observadas (FO), en la que se organizó la información cruzando ambas variables (Agresti & Finlay, 2009). En las columnas se colocaron los niveles de producción (bajo, medio y alto) y en las filas los niveles de impacto ambiental percibido (leve, moderado y severo). Cada celda muestra el número de productores que coinciden en cada intersección, permitiendo observar la distribución conjunta de ambas variables.

Posteriormente, se calcularon las frecuencias esperadas (FE), que representan la distribución teórica de casos si no existiera relación entre las variables, obtenidas mediante la fórmula:

$$FE = \frac{Total\ fila * Total\ columna}{Total\ general}$$

Una vez obtenidas las frecuencias esperadas, se aplicó la fórmula general de la prueba de ji-cuadrada:

$$X^2 = \sum \frac{(FO - FE)^2}{FE}$$

El resultado del estadístico X^2 se comparó con el valor crítico obtenido de la tabla de ji-cuadrada correspondiente al nivel de significancia de 0.05 y a los grados de libertad (gl), calculados mediante:

$$gl = (\text{número de filas} - 1) * (\text{número de columnas} - 1)$$

La decisión estadística se toma al comparar el valor calculado con el valor crítico:

- Si X^2 calculado $> X^2$ crítico, se rechaza la hipótesis nula, indicando que existe una relación significativa entre las variables.
- Si X^2 calculado es $< X^2$ crítico, no se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que no hay evidencia estadística suficiente de relación entre ellas.

Este procedimiento permitió analizar objetivamente la posible asociación entre la escala de producción y el impacto ambiental percibido por los productores. La aplicación rigurosa de esta técnica sigue las recomendaciones metodológicas de Siegel & Castellan (1995) para pruebas no paramétricas y los lineamientos de diseño de investigación cuantitativa de Hernández-Sampieri et al. (2014) y los fundamentos estadísticos de análisis categórico propuestos por Agresti & Finlay (2009).

3.5 Resultados

Los encuestados presentaron una edad promedio de 47 años, con predominio de escolaridad básica y una experiencia superior a los 10 años en el cultivo, lo que refleja la consolidación de esta actividad como una práctica tradicional de la región.

El 39% de los productores se ubicó en el nivel bajo (menos de 5 hectáreas), el 36% en el medio (entre 5 y 15 hectáreas) y el 25% en el alto (más de 15 hectáreas) como se muestra en el **Cuadro 1**. Esta distribución evidencia que la

producción de agave en Pénjamo se concentra principalmente en unidades pequeñas y medianas, con predominio de sistemas familiares o de autoconsumo, aunque también existen productores con mayor superficie y tecnificación.

Cuadro 1. Número de productores que se encuentran en cada nivel de cultivo.

Nivel de cultivo	Bajo	Medio	Alto
No. de productores	43	40	27

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo 2025.

Los productores evaluaron el grado de impacto ambiental en tres categorías: leve, moderado y severo, tomando en cuenta factores como la erosión y compactación del suelo, la pérdida de flora y fauna, y la degradación del paisaje natural. En general, el 20% percibió impactos leves, el 39% moderados y el 41% severos, como se presenta en el **Cuadro 2**. Sin embargo, el cruce entre las variables reveló una tendencia clara: los productores con menor nivel de producción se concentraron principalmente en la categoría de impacto severo, mientras que los de nivel medio y alto manifestaron impactos moderados y leves, respectivamente.

Cuadro 2. Número de productores que se encuentran en cada nivel de impacto ambiental.

Impactos en el suelo	Leve	Moderado	Severo
No. de productores	22	43	45

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo 2025.

A partir de los datos obtenidos en las encuestas aplicadas a los productores se elaboró la tabla de contingencias o tabla de FO (**Cuadro 3**), que muestra la distribución conjunta del nivel de producción y el impacto ambiental percibido sobre el suelo. Dicha tabla permitió obtener la tabla de las FE (**Cuadro 4**), calculadas en función de los totales de fila y columna, con el propósito de comparar las diferencias entre las frecuencias observadas y las esperadas.

Cuadro 3. Tabla de contingencia o frecuencias observadas (FO).

Nivel de cultivo/Impacto	Leve	Moderado	Severo	Total
Bajo	0	8	33	41
Medio	3	26	9	38
Alto	19	6	0	25
Total	22	40	42	104

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo 2025.

Cuadro 4. Tabla de frecuencias esperadas (FE).

Nivel de cultivo/Impacto	Leve	Moderado	Severo
Bajo	8.67307692	15.76923077	16.55769231
Medio	8.03846154	14.61538462	15.34615385
Alto	5.28846154	9.615384615	10.09615385

Fuente: elaboración propia con base en la tabla de FO.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Una ji-cuadrada calculada (X^2) de: 90.21950053
- Los grados de libertad (gl) de: 4
- Un valor crítico ($\alpha = 0.05$) de: 9.49

Dado que el valor calculado de X^2 (90.22) supera ampliamente el valor crítico (9.49), se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a). Esto confirma la existencia de una relación estadísticamente significativa entre el nivel de producción y el impacto ambiental percibido sobre el suelo. En otras palabras, el nivel de cultivo influye directamente en la manera en que los productores perciben los efectos ambientales derivados de su actividad agrícola.

Las frecuencias esperadas fueron adecuadas para la aplicación de la prueba, ya que en su mayoría superaron el valor mínimo de 5, lo que garantiza la validez estadística del análisis. Asimismo, las diferencias entre las frecuencias observadas y las esperadas fueron notorias, particularmente en la celda correspondiente a *Bajo-Severo* ($FO = 35, FE \approx 17.59$), lo que explica el elevado valor del estadístico X^2 .

3.6 Discusión

El patrón observado indica que los productores con menor superficie cultivada perciben impactos ambientales más severos, mientras que aquellos con mayor superficie tienden a percibirlos como leves. Este resultado puede parecer contradictorio en un primer análisis, ya que se esperaría que las explotaciones de mayor escala generaran una presión ambiental más intensa. Sin embargo, esta diferencia puede explicarse por diversos factores.

La percepción y escala de observación son factores determinantes en la comprensión del deterioro ambiental. Los pequeños productores, trabajan directamente sus parcelas, observan de manera más cercana los cambios en el suelo, la erosión o la pérdida de vegetación. Esto incrementa su sensibilidad y percepción del deterioro ambiental, aun cuando la magnitud real del impacto sea menor (Franco, 2008; González et al., 2003; Rodríguez-Cruz & Niles, 2021).

La capacitación y el manejo técnico son determinantes en la capacidad de respuesta ambiental de los productores. Los pequeños productores tienen limitada la asistencia técnica (Robles Berlanga, 2018). En cambio, los productores con mayores extensiones de terreno suelen tener acceso con mayor facilidad a asesoría técnica, maquinaria y prácticas de manejo más eficientes, lo que contribuye a mitigar los efectos negativos sobre el ambiente (Castillo et al., 2021; Pérez López et al., 2023; SADER, 2021).

A pesar de que estudios como el de Schoijet (2008), donde argumenta que es la agricultura mecanizada la que contribuye con mayor intensidad el deterioro de los suelos, debido al uso intensivo de maquinaria y a su fuerte dependencia de insumos energéticos derivados de combustibles fósiles. Desde esta perspectiva, los sistemas productivos tecnificados no solo deterioran su base productiva, sino que además profundizan problemas ambientales más amplios, como la erosión, la pérdida de fertilidad, la contaminación y la reducción de la agrobiodiversidad. En la misma línea, Pat Roy (2002, citado en Ruiz, 2006) sostiene que la erosión ambiental deriva de prácticas como la expansión de monocultivos, la

deforestación y el mal manejo de los suelos, elementos que suelen estar asociados a modelos agrícolas intensivos.

Sin embargo, existe literatura que plantea que los pequeños productores, al depender más directamente de sus tierras y contar con recursos económicos limitados, tienden a recurrir a prácticas que aceleran la degradación del suelo, como la quema de residuos agrícolas, el sobre laboreo o el uso no controlado de agroquímicos, estas acciones, a menudo, son el resultado de presiones económicas que obligan a adoptar estrategias de supervivencia a corto plazo (FAO, 1999), suelen asociarse a bajos niveles de tecnificación y escasa disponibilidad de insumos sostenibles, lo que incrementa la vulnerabilidad ambiental de sus parcelas (Nuñez-Peñaloza et al., 2023; SEMARNAT, 2018; Toledo & Barrera Bassols, 2009).

Estos hallazgos coinciden parcialmente con estudios previos realizados en otras regiones agaveras del país, los cuales destacan que los sistemas productivos menos tecnificados tienden a presentar mayores problemas de erosión, compactación y pérdida de cobertura vegetal. (Castelán Vega et al., 2017; SEMARNAT, 2018). En ese sentido, los resultados de la presente investigación refuerzan la idea de que la sostenibilidad del cultivo de agave depende no solo del tamaño de la producción, sino también del tipo de manejo aplicado y del nivel de conciencia ambiental del productor (Bueno-Hurtado et al., 2025).

3.7 Conclusiones

Los resultados de esta investigación permiten confirmar que existe una relación significativa entre el nivel de producción del *Agave tequilana* Weber y el impacto ambiental percibido sobre el suelo por los productores del municipio de Pénjamo, Guanajuato. En términos interpretativos, esto significa que el modo en que los productores experimentan y valoran los efectos ambientales de su actividad está estrechamente vinculado con la escala de su producción. Los productores con menores extensiones muestran una percepción más aguda de la degradación del suelo, mientras que aquellos con mayor superficie tienden a considerar los impactos como menos severos. Este hallazgo comprueba y evidencia el limitado

manejo de conservación del suelo y un impacto más significativo por parte de los pequeños productores. Lo que confirma el cumplimiento del objetivo general y la aceptación de la hipótesis, al evidenciar la relación entre las prácticas productivas y las afectaciones ambientales percibidas en el territorio.

El significado de estos resultados radica en que la sostenibilidad del sistema agavero penjamense no depende únicamente del tamaño de las parcelas, sino del manejo técnico y del grado de conciencia ambiental de los productores. En este sentido, los datos revelan la necesidad de fortalecer las capacidades locales, promover prácticas agrícolas más sostenibles y fomentar la adopción de tecnologías que reduzcan la compactación y erosión del suelo. Además, la percepción ambiental se consolida como un indicador social clave para comprender cómo las comunidades productoras interpretan los efectos ecológicos de su propia actividad, lo que puede ser decisivo para orientar estrategias de conservación y uso racional de los recursos naturales en el ámbito rural.

Este estudio aporta una aproximación empírica al análisis de la relación entre producción agrícola e impacto ambiental percibido sobre el suelo, utilizando la prueba de ji-cuadrada como herramienta estadística para identificar asociaciones significativas entre variables cualitativas. Asimismo, el diseño del cuestionario y el enfoque en percepciones locales contribuyen al enriquecimiento de los métodos de diagnóstico socioambiental en regiones agrícolas tradicionales, ofreciendo una alternativa práctica y replicable para investigaciones que busquen vincular las dimensiones productiva ecológica.

Finalmente, se recomienda profundizar en estudios futuros que integren variables biofísicas —como análisis de suelo, cobertura vegetal o calidad del agua— con los componentes sociales de percepción y manejo. De manera semejante, se sugiere implementar programas de educación ambiental y acompañamiento técnico dirigidos a los pequeños productores, con el fin de impulsar la transición hacia un modelo de producción de agave más sustentable y resiliente. Futuras investigaciones podrían ampliar el alcance territorial del estudio, comparar

regiones con distinto grado de tecnificación o analizar los impactos de políticas públicas sobre la gestión ambiental en los sistemas agaveros.

3.8 Literatura citada

Abraham-Juárez, M. J., Ramírez-Malagón, R., Gil-Vega, K. D. C., & Simpson, J. (2009). Aflp analysis of genetic variability in three reproductive forms of *Agave tequilana*. *Nota Científica Rev. Fitotec. Mex*, 32(3), 171–175.

Agresti, A., & Finlay, B. (2009). *Statistical methods for the social sciences* (4a ed.). PEARSON.

Bueno-Hurtado, P., Seidou, O., & López-Santos, A. (2025). Impacts of soil moisture and tillage on short-term erosion in agricultural lands of north central Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.6100>

Castelán Vega, R. D. C., López Teloxa, L. C., Tamariz Flores, J. V., Linares Fleites, G., & Cruz Montalvo, A. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 35(3), 229. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i3.134>

Castillo, M., Cazzuffi, C., Chamorro, C., Pérez-Silva, R., Sandoval, D., & Sepúlveda, M. (2021). Strengthening smallholder producers' skills and market access. In *Strengthening smallholder producers' skills and market access*. FAO and IFPRI. <https://doi.org/10.4060/cb6534en>

Chávez-Sánchez, C., Mancilla-Margalli, N. A., Montero-Cortés, M. I., Gutiérrez-Miceli, F. A., Briceño-Félix, G. A., Simpson Williamson, J. K., & Avila-Miranda, M. E. (2022). Asexually propagated *Agave tequilana* var. azul exhibits variation in genetic markers and defence responses to *Fusarium solani*. *AoB PLANTS*, 14(3). <https://doi.org/10.1093/aobpla/plac027>

Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

- CONAGUA. (2020). *Base de datos climatología nacional*. CONAGUA. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales9120/gto/nor9120_11003.txt
- CRT. (2015). *Denominación de origen*. Crt.Org. <https://www.crt.org.mx/tequila-denominacion-de-origen/>
- Daniel, W. W., & Cross, C. L. (2013). *Biostatistics. A Foundation for Analysis in the Health Sciences* (10th ed.). WILEY.
- Davis, S. C., & Ortiz-Cano, H. G. (2023). Lessons from the history of Agave: ecological and cultural context for valuation of CAM. *Annals of Botany*, 132(4), 819–833. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad072>
- Desarrollo Agropecuario y Rural Pénjamo. (2025). *Comunicación personal sobre el número de productores de agave en el municipio*.
- Espinoza-Angulo, C., Warren-Vega, W. M., Muñoz-Miranda, M., Sánchez-Franco, S. G., Carrasco-Marín, F., Miguel-Cruz, F., Zárate-Guzmán, A. I., & Romero-Cano, L. A. (2022). Determination of inorganic tracers in agave plants and agricultural soils as an auxiliary parameter to ensure the authenticity of the region that grants the Denomination of Origin of Tequila. *Industrial Crops and Products*, 187, 115401. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115401>
- FAO. (1999). *Poverty alleviation and food security in asia lessons and challenges*.
- Franco, A. J. (2008). Percepción de la erosión agraria. *Facultad de Ciencias Agrarias*, XL(2), 49–60. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837643007>
- García-Fajardo, B., Nava-Bernal, G., Álvarez-Arteaga, G., & Franco-Maass, S. (2024). *Resiliencia del suelo en los sistemas agrícolas del municipio de Calimaya Soil resilience in agricultural systems in the Calimaya municipality Nota científica*. <https://doi.org/10.19136/era.a11n3.3466>
- González, R., Ortiz, C., Volke, V., González, J., & Manzo-Ramos, F. (2003). Conocimiento local de pequeños productores sobre la erosión del suelo en

el ejido El Tomatal, Guerrero, México./ Indigenous knowledge about soil erosion among small farmers at El Tomatal, Guerrero, Mexico. *ResearchGate*.

Guevara-Gutiérrez, R. D., Mancilla Villa, Ó. R., Olguín-López, J. L., Torres-Romero, J. G., Rosales-Almendra, M. P., Barreto-Garcia, O. A., Palomera García, C., Avelar Roblero, J. U., & Hernández Vargas, O. (2024). Prácticas sustentables, alternativas para la conservación del suelo en Agave tequilana Weber. *Nova Scientia*, 16(32). <https://doi.org/10.21640/ns.v16i32.3450>

Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGRAW-HILL.

INEGI. (2020). *Visión en cifras de Pénjamo*.

Lohr, S. L. (2010). *Sampling: Design and Analysis* (2nd ed.). Brooks/Cole.

Montgomery, D. C. . (2013). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc.

Núñez-Peñaloza, J. L., Pérez-Nieto, J., & Prado-Hernández, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6), e3148. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>

Pérez López, E., Maroto Pérez, Y., Muraira Soto, M., Aguirre Alonso, R. O., Rodriguez Roy, S., & Contreras Cisneros, J. C. (2023). Impacto de la capacitación a los productores agropecuarios de la Cuenca del Papaloapan. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 3194–3207. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8912

Pérez-Akaki, P., Vega-Vera, N. V., Enríquez-Caballero, Y. P., & Velázquez-Salazar, M. (2021). Designation of Origin Distillates in Mexico: Value Chains and Territorial Development. *Sustainability*, 13(10), 5496. <https://doi.org/10.3390/su13105496>

- Robles Berlanga, H. M. (2018). *La organización económica de los pequeños y medianos productores presente y futuro del campo mexicano* (232). www.rimisp.org
- Rodríguez-Cruz, L. A., & Niles, M. T. (2021). Awareness of climate change's impacts and motivation to adapt are not enough to drive action: A look of Puerto Rican farmers after Hurricane Maria. *PLOS ONE*, 16(1), e0244512. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244512>
- Ruiz, S. (2006). *La milpa en el siglo XXI: biodiversidad, saberes y cultura*. UNAM.
- SADER. (2016, September). *Agave, planta de las maravillas*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/agave-planta-de-las-maravillas>
- SADER. (2021, November 18). *Programas de la Secretaría de Agricultura 2021*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/programas-de-la-secretaria-de-agricultura-2021-260371>
- Schoijet, Mauricio. (2008). *Límites del crecimiento y cambio climático*. Siglo XXI.
- Secretaría de Seguridad Pública. (2023). *Atlas de Riesgos del Municipio de Pénjamo*. https://rmgir.proyectomesoamerica.org/AtlasMunPDF/2023/11023_PENJAMO_2023.pdf
- SEMARNAT. (2018). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. *Gobierno de México*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap3_Suelos.pdf
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1995). *Estadística no paramétrica, aplicada a las ciencias de la conducta* (4a ed.). Editorial Trillas.
- Toledo, V. M., & Barrera Bassols, N. (2009). La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. *Ciencias*, 96. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/17958>

Triola, M. F. ., & Pineda Ayala, L. Esther. (2009). *Estadística*. Pearson Educación.

Zar, J. H. . (2014). *Biostatistical analysis*. Pearson Education Limited.

4 CONCLUSIONES GENERALES

El cultivo del *Agave tequilana* Weber en el municipio de Pénjamo, Guanajuato, representa una actividad agrícola de suma importancia económica y social. Sin embargo, su expansión ha traído consigo impactos ambientales perceptibles, especialmente en la calidad y equilibrio del suelo. Acorde con la información recabada mediante las encuestas aplicadas a los productores, se identificó que el grado de impacto ambiental sobre el suelo varía de acuerdo con el nivel de producción y el tipo de manejo implementado en cada proceso de producción.

Los resultados del análisis estadístico revelaron que existe una asociación significativa entre el nivel de producción y los efectos ambientales percibidos por los productores sobre el suelo, lo que evidencia que el manejo agrícola influye directamente en la degradación de los recursos edáficos. Asimismo, se demostró que los pequeños productores tienden a generar mayores afectaciones al suelo debido a prácticas menos tecnificadas, la ausencia de análisis de fertilidad y la falta de rotación o descanso de las parcelas.

El estudio expone la necesidad de fortalecer la capacitación y asistencia técnica hacia los productores de menor escala, fomentando estrategias agroecológicas que permitan equilibrar la rentabilidad económica con la sostenibilidad ambiental. De igual forma, destaca la relevancia de promover políticas públicas que incentiven un manejo más responsable del cultivo del agave, preservando los recursos naturales que sostienen la productividad a largo plazo.

4.1 Conclusiones respecto al objetivo planteado

Se concluye que existe una relación directa y significativa entre los niveles de producción del *Agave tequilana* Weber y los efectos ambientales percibidos por los productores sobre el suelo. El análisis cuantitativo mediante la prueba de ji-cuadrada permitió establecer que las prácticas agrícolas y el grado de tecnificación son factores determinantes para el nivel de afectación ambiental.

Los productores con mayor nivel de producción tienden a aplicar prácticas más controladas y planificadas, como el uso de análisis de suelo, fertilización racional

y rotación de terrenos, lo que contribuye a mitigar la degradación. En contraste, los pequeños productores, al carecer de asesoría técnica y recursos económicos más limitados, recurren a métodos de cultivo más agresivos y menos sostenibles, generando una mayor compactación, erosión y pérdida de materia orgánica en el suelo.

Es con esto que se confirma la hipótesis plantada: los pequeños productores generan mayores impactos negativos en el suelo que los productores de gran escala, debido a la limitada implementación de prácticas de manejo y conservación del suelo.

4.2 Conclusiones respecto a los objetivos particulares

De acuerdo con el primer objetivo, se identificaron tres niveles de producción (bajo, medio y alto), definidos principalmente por la superficie cultivada de cada productor. La mayoría de los productores se ubican en los niveles bajo y medio, lo que refleja una estructura productiva fragmentada y con limitaciones técnicas.

En el segundo objetivo, los productores reconocen efectos como la compactación, erosión, pérdida de materia orgánica y disminución de la flora y fauna del suelo. Estos impactos son más notorios en parcelas con menor manejo técnico y mayor tiempo de uso continuo sin descanso del terreno.

Para el objetivo tres, el análisis de la ji-cuadrada evidenció una relación estadísticamente significativa entre ambas variables, lo que respalda la existencia de una conexión entre el nivel de producción y la magnitud del impacto ambiental percibido.

Finalmente, para el cuarto y último objetivo, se propone fomentar la adopción de prácticas agroecológicas como la rotación de cultivos, la incorporación de materia orgánica y el descanso del suelo. Asimismo, se recomienda fortalecer la educación ambiental y la asistencia técnica a los pequeños productores, con el apoyo de instituciones locales y del sector tequilero, para promover un manejo sostenible del agave en el municipio.

5 LITERATURA CITADA

- Abraham-Juárez, M. J., Ramírez-Malagón, R., Gil-Vega, K. D. C., & Simpson, J. (2009). Aflp analysis of genetic variability in three reproductive forms of *Agave tequilana*. *Nota Científica Rev. Fitotec. Mex*, 32(3), 171–175.
- Agresti, A., & Finlay, B. (2009). *Statistical methods for the social sciences* (4a ed.). PEARSON.
- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan-Comunidad.
- Álvarez- Sánchez, M. E., Velázquez-Mendoza, J., Maldonado-Torres, R., Almaguer-Vargas, G., & Solano-Agama, A. L. (2010). Diagnóstico de la fertilidad y requerimiento de cal de suelos cultivados con agave azul (*Agave tequilana* Weber). *TERRA LATINOAMERICANA*, 28, 287–293. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300012
- Arellano-Plaza, M., Paez-Lerma, J. B., Soto-Cruz, N. O., Kirchmayr, M. R., & Gschaedler Mathis, A. (2022). Mezcal Production in Mexico: Between Tradition and Commercial Exploitation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.832532>
- Boletines Guanajuato. (2022). *Fortalecen desarrollo del sector tequilero de Guanajuato*. Guanajuato, Gobierno de La Gente.
- Bueno-Hurtado, P., Seidou, O., & López-Santos, A. (2025). Impacts of soil moisture and tillage on short-term erosion in agricultural lands of north central Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.6100>
- Butler, R. (2017, July 14). Scientists condemn expansion of industrial monocultures at expense of traditional gardens in Mexico. *MONGABAY*. <https://news.mongabay.com/2017/07/scientists-condemn-expansion-of-industrial-monocultures-at-expense-of-traditional-gardens-in-mexico/>

- Candelaria Martínez, B., Rosado, O. R., Gallardo López, F., Pérez Hernández, P., Becerra, M., & Vargas Villamil, L. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. In *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (Vol. 14).
- Castelán Vega, R. D. C., López Teloxa, L. C., Tamariz Flores, J. V., Linares Fleites, G., & Cruz Montalvo, A. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 35(3), 229. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i3.134>
- Castillo, M., Cazzuffi, C., Chamorro, C., Pérez-Silva, R., Sandoval, D., & Sepúlveda, M. (2021). Strengthening smallholder producers' skills and market access. In *Strengthening smallholder producers' skills and market access*. FAO and IFPRI. <https://doi.org/10.4060/cb6534en>
- Chávez-Sánchez, C., Mancilla-Margalli, N. A., Montero-Cortés, M. I., Gutiérrez-Miceli, F. A., Briceño-Félix, G. A., Simpson Williamson, J. K., & Avila-Miranda, M. E. (2022). Asexually propagated Agave tequilana var. azul exhibits variation in genetic markers and defence responses to Fusarium solani. *AoB PLANTS*, 14(3). <https://doi.org/10.1093/aobpla/plac027>
- CNIT. (2020). *El tequila*. Tequileros.Org. <https://www.tequileros.org/el-tequila/#:~:text=caracter%C3%ADsticas%20paisaj%C3%ADsticas%20%C3%BAnicas.-,Denominaci%C3%B3n%20de%20Origen%20Tequila,elaborar%2C%20envasar%20y%20comercializar%20Tequila.>
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- CONAGUA. (2020). *Base de datos climatología nacional*. CONAGUA. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales_Climatologicas/Normales9120/gto/nor9120_11003.txt
- CRT. (2015). *Denominación de origen*. Crt.Org. <https://www.crt.org.mx/tequila-denominacion-de-origen/>

- CRT. (2025). *Estadísticas CRT*. Crt.Org.
- Daniel, W. W., & Cross, C. L. (2013). *Biostatistics. A Foundation for Analysis in the Health Sciences* (10th ed.). WILEY.
- Davis, S. C., & Ortiz-Cano, H. G. (2023). Lessons from the history of Agave: ecological and cultural context for valuation of CAM. *Annals of Botany*, 132(4), 819–833. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad072>
- De La Mora-Orozco, C., Flores-Garnica, J. G., Vega-Ramírez, L. M., González-Acuña, I. J., Nápoles-Armenta, J., & Martínez-Orozco, E. (2021). Total Organic Carbon Assessment in Soils Cultivated with Agave tequilana Weber in Jalisco, Mexico. *Sustainability*, 13(1), 208. <https://doi.org/10.3390/su13010208>
- Desarrollo Agropecuario y Rural Pénjamo. (2025). *Comunicación personal sobre el número de productores de agave en el municipio*.
- Dingwall, K. (2020, December 31). Big sales, no Agave: A look at 2020 in the Tequila Industry. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/katedingwall/2021/12/31/big-sales-no-agave-a-look-at-2020-in-the-tequila-industry>
- DOF. (2012). *Norma oficial mexicana NOM-006-SCFI-2012, bebidas alcohólicas-tequila-especificaciones*. <https://www.crt.org.mx/wp-content/uploads/2024/01/NOM-006-SCFI-2012.pdf>
- Espinoza-Angulo, C., Warren-Vega, W. M., Muñoz-Miranda, M., Sánchez-Franco, S. G., Carrasco-Marín, F., Miguel-Cruz, F., Zárate-Guzmán, A. I., & Romero-Cano, L. A. (2022). Determination of inorganic tracers in agave plants and agricultural soils as an auxiliary parameter to ensure the authenticity of the region that grants the Denomination of Origin of Tequila. *Industrial Crops and Products*, 187, 115401. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115401>
- FAO. (1999). *Poverty alleviation and food security in asia lessons and challenges*.
- Franco, A. J. (2008). Percepción de la erosión agraria. *Facultad de Ciencias Agrarias*, XL(2), 49–60. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837643007>

- Fregoso-Zamorano, B. E., Mancilla-Villa, O. R., Guevara-Gutiérrez, R. D., Moreno-Hernández, A., Figueroa-Bautista, P., Can-Chulim, Á., Hernández-Vargas, O., Cruz-Crespo, E., Ortega-Escobar, H. M., Khalil Gardezi, A., & Villalvazo-López, V. M. (2023). Caracterización edafológica con cultivo de agave azul (Agave tequilana Weber) en Tonaya y Tuxcacuesco, Jalisco, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1592>
- García-Fajardo, B., Nava-Bernal, G., Álvarez-Arteaga, G., & Franco-Maass, S. (2024). *Resiliencia del suelo en los sistemas agrícolas del municipio de Calimaya Soil resilience in agricultural systems in the Calimaya municipality Nota científica*. <https://doi.org/10.19136/era.a11n3.3466>
- GIZ. (2022). *Estrategia nacional de suelo para la agricultura sostenible (ENASAS)*. www.gob.mx/agricultura
- GIZ. (2024). *Guía para transitar a un sistema sostenible de producción Agave-Mezcal*.
- Gobeille, A., Yavitt, J., Stalcup, P., & Valenzuela, A. (2006). Effects of soil management practices on soil fertility measurements on Agave tequilana plantations in Western Central Mexico. *Soil and Tillage Research*, 87(1), 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.033>
- Gobierno del Estado de Guanajuato. (2022). *Economía para todos*. 5to Informe de Gobierno Del Estado de Guanajuato.
- González, R., Ortiz, C., Volke, V., González, J., & Manzo-Ramos, F. (2003). Conocimiento local de pequeños productores sobre la erosión del suelo en el ejido El Tomatal, Guerrero, México./ Indigenous knowledge about soil erosion among small farmers at El Tomatal, Guerrero, Mexico. *ResearchGate*.
- González-Venegas, S. E., Tapia-Guerrero, L. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., & Toledo-López, A. (2023). Resiliencia agrícola en los pequeños productores

- de agave en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 197–209. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3055>
- Grepperud, S. (1997). Soil conservation as an investment in land. *Journal of Development Economics*, 54(2), 455–467. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(97\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(97)00051-5)
- Guevara-Gutiérrez, R. D., Mancilla Villa, Ó. R., Olguín-López, J. L., Torres-Romero, J. G., Rosales-Almendra, M. P., Barreto-García, O. A., Palomera García, C., Avelar Roblero, J. U., & Hernández Vargas, O. (2024). Prácticas sustentables, alternativas para la conservación del suelo en Agave tequilana Weber. *Nova Scientia*, 16(32). <https://doi.org/10.21640/ns.v16i32.3450>
- H. Congreso del Estado de Guanajuato. (2023). *Dictamen que la comisión de desarrollo urbano y obra pública presenta al pleno del congreso, de la iniciativa suscrita por diputad y diputados integrantes del grupo parlamentario del partido revolucionario institucional por la que se reforman los artículos 1, fracciones I y XII y 9 y se adiciona una fracción XIII al artículo 1 del código territorial para el estado y los municipios de Guanajuato (ELD 543/LXV-I)*. <https://udgtv.com/noticias/jalisco-guanajuato-prohiben-plantaciones-de-agave-bosques-deforestados>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGRAW-HILL.
- Herrera, F. (2006). Innovaciones tecnológicas en la agricultura empresarial mexicana. Una aproximación teórica. *Gaceta Laboral*. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-85972006000100005
- Herrera Pérez, L., Valtierra Pacheco, E., Ocampo Fletes, I., Tornero Campante, M. A., Hernández-Plascencia, J. A., & Rodríguez-Macías, R. (2017). Prácticas agroecológicas en Agave tequilana Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 18, 3711–3724. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i18.216>

- Herrera-Pérez, L., Valtierra-Pacheco, E., Ocampo-Fletes, I., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Plascencia, J. A., & Rodríguez-Macías, R. (2023). Evaluation of the sustainability of two types of Agave tequilana Weber var. blue agroecosystems in Tequila, Jalisco. *Agrociencia*. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i8.2638>
- INEGI. (2020). *Visión en cifras de Pénjamo*.
- INTAGRI. (2019). *El cultivo de agave azul (Agave tequilana Weber var. azul) en México*. Intagri.Com. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-cultivo-de-agave-azul-en-mexico>
- Lohr, S. L. (2010). *Sampling: Design and Analysis* (2nd ed.). Brooks/Cole.
- Montgomery, D. C. . (2013). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Morales Ventura, A. G., Crespo Stupková, L., Garibay Orozco, C., & Urquijo Torres, P. S. (2024). *Agroextractivism and land grabbing in the production of Agave tequilana Weber Blue variety in Penjamo, Guanajuato, Mexico*. 36–41. <https://doi.org/10.32725/978-80-7694-053-6.05>
- Núñez-Peñaloza, J. L., Pérez-Nieto, J., & Prado-Hernández, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6), e3148. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- Ortiz García, S., Saynes Santillan, V., Bunge Vivier, V., Anglés-Hernández, M., Pérez, M. E., & Prado, B. (2022). Soil governance and sustainable agriculture in Mexico. *Soil Security*, 7, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100059>
- Pérez López, E., Maroto Pérez, Y., Muraira Soto, M., Aguirre Alonso, R. O., Rodríguez Roy, S., & Contreras Cisneros, J. C. (2023). Impacto de la capacitación a los productores agropecuarios de la Cuenca del Papaloapan. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 3194–3207. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8912

- Pérez-Akaki, P., Vega-Vera, N. V., Enríquez-Caballero, Y. P., & Velázquez-Salazar, M. (2021). Designation of Origin Distillates in Mexico: Value Chains and Territorial Development. *Sustainability*, 13(10), 5496. <https://doi.org/10.3390/su13105496>
- Raveloaritiana, E., & Wanger, T. C. (2024). Decades matter: Agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services over time. *Cornell University*. <http://arxiv.org/abs/2403.05599>
- Robles Berlanga, H. M. (2018). *La organización económica de los pequeños y medianos productores presente y futuro del campo mexicano* (232). www.rimisp.org
- Rodríguez-Cruz, L. A., & Niles, M. T. (2021). Awareness of climate change's impacts and motivation to adapt are not enough to drive action: A look of Puerto Rican farmers after Hurricane Maria. *PLOS ONE*, 16(1), e0244512. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244512>
- Ruiz, S. (2006). *La milpa en el siglo XXI: biodiversidad, saberes y cultura*. UNAM.
- SADER. (2016, September). *Agave, planta de las maravillas*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/agave-planta-de-las-maravillas>
- SADER. (2018). *Prioridad la tecnificación de riego para incrementar la rentabilidad y competitividad en el campo: Baltazar Hinojosa*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/prioridad-la-tecnificacion-de-riego-para-incrementar-la-rentabilidad-y-competitividad-en-el-campo-baltazar-hinojosa>
- SADER. (2021, November 18). *Programas de la Secretaría de Agricultura 2021*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/programas-de-la-secretaria-de-agricultura-2021-260371>
- SADER. (2023a). 5 *Informe de labores*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/854499/5IL_2023_AGRICULTURA_compressed.pdf

- SADER. (2023b). *Panorama Agroalimentario 2023* [Broadcast]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=EAUG_b1lk6A&t=1121s
- SADER. (2024, June 11). *Expectativas agroalimentarias 2024*. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/expectativas-agroalimentarias-2024>
- Schoijet, Mauricio. (2008). *Límites del crecimiento y cambio climático*. Siglo XXI.
- Secretaría de Seguridad Pública. (2023). *Atlas de Riesgos del Municipio de Pénjamo*.
https://rmgir.proyectomesoamerica.org/AtlasMunPDF/2023/11023_PENJAMO_2023.pdf
- SEMARNAT. (2018). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.
Gobierno de México.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap3_Suelos.pdf
- SIAP. (2021). *Panorama Agroalimentario 2021*.
https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_siap/2021.pdf
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1995). *Estadística no paramétrica, aplicada a las ciencias de la conducta* (4a ed.). Editorial Trillas.
- Toledo, V. M., & Barrera Bassols, N. (2009). La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. *Ciencias*, 96.
<https://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/17958>
- Triola, M. F. ., & Pineda Ayala, L. Esther. (2009). *Estadística*. Pearson Educación.
- Zar, J. H. . (2014). *Biostatistical analysis*. Pearson Education Limited.