



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**Zonificación agroecológica para el cáñamo
(*Cannabis sativa L.*) en México**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES



Presenta:

MARÍA DEL REFUGIO REYES BELLO

Bajo la supervisión de:

APROBADA Dr. ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS



Chapingo, Estado de México, 05 diciembre de 2024

ZONIFICACION AGROECOLOGICA PARA EL CAÑAMO
(*Cannabis sativa L*) EN MÉXICO

Tesis realizada por **MARÍA DEL REFUGIO REYES BELLO** bajo la supervisión del Comte Asesor indicado, aprobada por el mismo y acepta como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR _____


DR. ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS

CODIRECTOR _____


DR. ROBERTO RENDON MEDEL

ASESOR _____


DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	4
DEDICATORIAS	6
AGRADECIMIENTOS	7
DATOS BIOGRÁFICOS	8
RESUMEN GENERAL	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 <i>Introducción</i>	1
1.2 <i>Antecedentes</i>	3
1.3 <i>Justificación</i>	4
1.4 <i>Planteamiento del problema:</i>	4
1.5 <i>Objetivos</i>	5
1.6 <i>Preguntas de investigación</i>	6
1.7 <i>Hipótesis</i>	6
1.8 <i>Contenido capitular del documento de titulación</i>	7
<i>Literatura citada</i>	8
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 <i>Marco conceptual</i>	9
2.2 <i>Descripción botánica:</i>	12
2.3 <i>Cáñamo vs Marihuana</i>	13
2.4 <i>Requerimientos Ambientales</i>	18
2.5 <i>Producción del cultivo del cáñamo en México</i>	22
2.6 <i>Zonas Agroecológicas</i>	23
2.7 <i>Zonificación agroecológica en México</i>	24
2.8 <i>Factores determinantes en la zonificación agroecológica</i>	25
2.9 <i>Factores Climaticos</i>	25
2.10 <i>Factores edafológicos</i>	25
2.11 <i>Método de Zonificación Agroecológica</i>	26
<i>Literatura Citada</i>	28
CAPÍTULO III. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CÁÑAMO (<i>CANNABIS SATIVA L.</i>) EN MÉXICO: UNA APROXIMACIÓN GEOESPACIAL	33
<i>RESUMEN</i>	33
<i>INTRODUCCIÓN</i>	34
<i>MATERIALES Y MÉTODOS</i>	36
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	38
<i>CONCLUSIONES</i>	47
<i>LITERATURA CITADA</i>	48
CAPITULO 4 CONCLUSIONES	52
<i>DISCUSIÓN</i>	52
<i>CONCLUSIONES</i>	54
<i>RECOMENDACIONES</i>	55
<i>LITERATURA CITADA</i>	56

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Las explicaciones de los diversos términos en varios diccionarios.....	16
Cuadro 2. Requerimientos edafoclimáticos	40
Cuadro 3. Superficie (Ha) según aptitud para cáñamo	45
Cuadro 4. Calendario y Actividades	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Contenido y estructura de la tesis	7
Figura 2. Ilustración del cáñamo	13
Figura 3. Tipo de Cannabis Sativa	15
Figura 4. Tres especies de la planta Cannabis Sativa L.....	17
Figura 5. Aptitud para el establecimiento del C. sativa.....	41
Figura 6. Aptitud Agroclimática para C. sativa.....	44
Figura 7. Productos obtenidos de C. sativa.....	48

ABREVIATURAS USADAS

Abreviatura	Significado
THC	Tetrahidrocannabinol
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
LGS	Ley General de Salud
ZAE	Zonificación Agroecológica
SIG	Sistemas de Información Geográfica
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
UACH	Universidad Autónoma Chapingo
AIDPC	Asociación Indígena de Productores de Cannabis

DEDICATORIAS

A Dios, por ser la fuente de mi fortaleza, por iluminar mi camino con salud y determinación, y por brindarme las oportunidades para seguir creciendo y aprendiendo.

A mis hermanos, por su afecto inquebrantable, por estar a mi lado en cada etapa de este recorrido, y por siempre creer en mí y en mi potencial.

A mis padres, Juan Cruz Reyes y Ma Carmen Bello, por inculcarme los valores más importantes y por cada palabra de aliento que me ha acompañado en este viaje. Su ejemplo y sabiduría han sido fundamentales en mi vida.

A mi hermano, por su constante apoyo y compañerismo, y a mi misma, por mantener la fuerza y la voluntad de seguir adelante, por nunca rendirme y siempre buscar ser la mejor versión de quien soy.

A mí misma, por todo el camino recorrido hasta llegar aquí, por los días en los que pensé que no lo lograría, pero seguí adelante, por las noches de desvelo y el esfuerzo incansable. Este trabajo es el reflejo de mi constancia, disciplina y el compromiso que he tenido con mis sueños y metas.

Me dedico esta tesis porque sé que cada página escrita ha sido fruto de horas de estudio, de sacrificios personales y del deseo profundo de crecer como profesional y como persona. Agradezco a la persona que soy hoy por no rendirse ante los desafíos, por aprender de los errores y seguir adelante con la cabeza en alto.

Este logro es la culminación de años de esfuerzo, de caídas y levantadas, y representa mucho más que un título: es una prueba de que soy capaz de superar cualquier reto que la vida me presente. Me dedico esta tesis con orgullo, con amor propio, y con la certeza de que este es solo el comienzo de todo lo que puedo alcanzar.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)**, por brindarme el apoyo financiero indispensable para avanzar en mi formación académica y concretar esta investigación, lo que ha sido un impulso clave en mi trayectoria.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, mi alma máter, por abrirme sus puertas y permitirme crecer tanto profesional como personalmente. Es aquí donde he encontrado el ambiente perfecto para formarme como investigadora.

A la **División de Ciencias Forestales**, por ofrecerme sus recursos y la valiosa colaboración de su personal académico y administrativo, quienes estuvieron siempre disponibles para apoyar en el desarrollo de esta investigación.

A mi director de tesis, el **Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas**, por ser no solo un mentor académico, sino también un amigo en este recorrido. Su vasta experiencia, paciencia y constante apoyo fueron fundamentales para llevar a buen término esta investigación.

Al **Dr. Roberto Rendón Medel**, por su generosidad al compartir sus conocimientos, siempre dispuesto a brindar orientación y valiosos consejos que enriquecieron tanto este trabajo como mi formación.

Al **Dr. Javier Ruiz Ledezma**, por permitirme conocerlo y por compartir sus conocimientos de manera desinteresada. Le agradezco profundamente por abrirme las puertas y ofrecerme su valiosa ayuda en el trabajo, facilitando la realización de esta investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: María del Refugio Reyes Bello

Fecha de nacimiento: 27 de marzo de 1999

Lugar de nacimiento: Acámbaro, Guanajuato

CURP: REBR990327MGTYLF01

Profesión: Licenciada en Comercio Internacional

Cedula profesional: 14343824



Desarrollo académico

Bachillerato: 2014-2017 Centro de educación y capacitación 01

Licenciatura: 2017-2022 Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ciencias Económico – Administrativo, Licenciatura en Comercio Internacional, Texcoco, Estado de México.

RESUMEN GENERAL

Zonificación agroecológica para el cáñamo (*Cannabis sativa* L.) en México

El interés por el cáñamo es quizás por los usos potenciales que tiene en diversas industrias. Por ello, el objetivo del presente es presentar una zonificación agroecológica para el cultivo de cáñamo (*Cannabis Sativa*) en México. A través de revisión bibliográfica se identificaron los requerimientos edafológicos y climáticos para el cáñamo. Con herramientas de sistemas de información geográfica se realizó una zonificación agroecológica para determinar las zonas aptas, no aptas y aquellas moderadamente aptas para el cultivo. El procedimiento seguido para la zonificación se basó en la metodología de FAO para evaluación de tierras, combinando criterios físicos y un análisis económico-social de alternativas productivas. Los resultados muestran que 5% de la superficie nacional muestra aptitud para el cultivo de cáñamo. Con algunas limitantes edafoclimáticas se encuentra el 17% del país y el restante 78% de la superficie no cuenta con aptitud. Los estados de Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Veracruz e Hidalgo son los que más superficie apta presentan. El factor climático es la mayor limitante para el cultivo de cáñamo en condiciones de temporal en el país. El modelo de zonificación agroecológica permitió identificar áreas con potencial a la vez que brinda una herramienta valiosa para la planificación territorial del cultivo de cáñamo en el país.

Palabras clave: Agroecología, desarrollo sustentable, SIG, aptitud territorial.

Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: María del Refugio Reyes Bello

Director de Tesis: Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas

ABSTRACT

Agroecological zoning for hemp (*Cannabis sativa* L.) in Mexico

The interest in hemp may be due to its potential use in various industries. Therefore, the objective of this paper is to present an agroecological zoning for hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation in Mexico. Through a literature review, the soil and climatic requirements for hemp were identified. Agroecological zoning was performed using geographic information system tools to identify suitable, unsuitable, and moderately suitable areas for cultivation. The zoning procedure was based on the FAO methodology for land evaluation, combining physical criteria and an economic-social analysis of production alternatives. The results show that 5% of the national territory is suitable for hemp cultivation. About 17% of the country has some edaphoclimatic limitations, and the remaining 78% of the area is not suitable. The states of Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Veracruz and Hidalgo are the most suitable. The climatic factor is the main limiting factor for the cultivation of hemp under rainfed conditions in the country. The agroecological zoning model has made it possible to identify areas with potential and provides a valuable tool for territorial planning of hemp cultivation in the country.

Keywords: Agroecology, sustainable development, GIS, land suitability.

Thesis of Master in Science in Forestry Science, Universidad Autonoma Chapingo
Author: María del Refugio Reyes Bello
Advisor: Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Introducción

Se llama cáñamo a *Cannabis sativa* L. Es considerado su origen en Asia y a partir de ahí se extendió por todo el mundo (Bouby, 2002). Es una planta que crece de forma natural pero también es posible su cultivo. Todas sus partes pueden ser utilizadas para usos industriales, alimenticios y medicinales. Se aprovechan las fibras del tallo para productos textiles, la célula para papel, las flores permiten la obtención de aceites esenciales y esencias, mientras que las semillas recolectadas se consideran una fuente de proteína natural, utilizadas para todo lo que es harinas, pastas y aceites (Broekers, 2002; Zimmer, 1997).

Frecuentemente se compara al cáñamo con la marihuana, pero debe resaltarse que provienen de diferente subespecie y que el primero se refiere al tallo de la planta y el segundo al fruto, el cual contiene los psicoactivos que son usados como droga. Se han identificado tres subespecies: *C. sativa sativa*, *Cannabis sativa indica* y *Cannabis sativa rudelaris*. La subespecie *C. sativa indica* es la que se cultiva para aprovechar su contenido psicoactivo, por su alto contenido de tetrahidrocannabinol (THC). Se utiliza con fines recreativos y medicinales. Por su parte, la subespecie *C. sativa* es la que se conoce como cáñamo industrial o cáñamo agrícola (Díaz Rojo, 2004). Sobre esta última es la que se desarrolla la presente tesis.

Otras diferencias son que se utiliza cáñabis para referirse al contexto botánico, terapéutico, médico y clásico de la planta. El término cáñamo se reserva para el uso industrial y medioambiental, mientras que, en un contexto lúdico y recreativo, se utiliza marihuana. Dado que el cáñamo se refiere al tallo de la planta de *C. sativa*, carece de propiedades psicoactivas y no se clasifica como una droga (Huarcaya Minauro & Escobar Cruz, 2022).

Desde hace algunas décadas el cáñamo y sus derivados industriales han generado espacios importantes dentro de marco legal de diferentes países. Según el artículo 28 de la Convención Única sobre Estupefacientes (1961), las medidas

de fiscalización no se aplican a las plantas de cannabis destinadas a fines industriales. Desde 2006 y poco a poco el cáñamo ha adquirido un papel relevante en el debate regulatorio sobre el cannabis, debido al reconocimiento de su potencial terapéutico por parte de las autoridades. Para 2017, sus amplios usos industriales ya estaban contemplados en la Ley General de Salud. No obstante, el avance más significativo ocurrió recientemente, cuando la Suprema Corte de Justicia de la Nación dictaminó a favor de los productos derivados del cáñamo, permitiendo que al menos una empresa inicie los procesos de cultivo y transformación de esta planta con fines industriales. Este marco normativo ofrece la posibilidad de establecer una industria del cannabis con el potencial de posicionarse como líder en el mercado global. Actualmente, en octubre de 2024, se sigue discutiendo en la Cámara de Diputados.

En el país la siembra del cáñamo se ha mantenido en un espacio incierto. Poco a poco, se avanza en los debates judiciales para que el cáñamo obtenga el lugar preeminente que le corresponde debido a sus múltiples usos industriales y los beneficios que su aprovechamiento ofrece tanto a los productores como a quienes optan por utilizar sus derivados. Son pocos los lugares que, con fines de investigación, cuentan con aprobación para su cultivo. Por lo anterior, en la presente investigación se desarrolla una propuesta de identificación de áreas con potencial para siembra del cáñamo en México, que impulse el desarrollo del cultivo.

1.2 Antecedentes

A partir de la información recopilada se muestra que cáñamo es un cultivo que poco se ha estudiado en comparación a otros cultivos como el maíz o el sorgo. Apenas existen un puñado de trabajos que muestran los factores meteorológicos sobre la producción de los principios activos de esta planta (Sikora et al., 2011). Se ha reportado para otros países sobre investigaciones, ensayos geográficos y siembras continuas que evalúan los rendimientos (fibra) en diferentes variedades de cáñamo. En México, aún no se conocen trabajos de zonificación potencial para el cultivo, solo se encuentran investigaciones donde se mencionan características edafoclimáticas de la planta en otros países y luego se hace mención sobre la adaptación del cáñamo a esas condiciones en los lugares de estudio (Fassio et al., 2013).

1.3 Justificación

En esta investigación se busca realizar una zonificación agroecológica con base en requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del cáñamo en México. No se conocen estudios similares en el país, menos con cobertura nacional. El cáñamo es una planta que tiene el potencial de convertirse en una fuente de ingresos significativa para quién la produzca, además, es una alternativa para algunos problemas ambientales como la erosión de suelos. Por ello, es necesario identificar las zonas con mejores condiciones para el cultivo bajo condiciones de temporal.

1.4 Planteamiento del problema:

En México las plantaciones de cáñamo (*C. sativa* L.) son muy pocas, principalmente porque aún se considera que esta planta es un peligro para la salud del ser humano. Sin embargo, es importante destacar que el cáñamo es diferente al cannabis utilizada con fines recreativos, es una planta que contiene niveles muy bajos de tetrahidrocannabinol (THC), el componente psicoactivo. Es una planta que puede contribuir a la economía y la parte ambiental del país, pero por falta de una zonificación específica y la normatividad en el cual se rige se ha frenado la expansión en el país. Por ello, esta investigación busca estudiar las condiciones climáticas y edáficas que permiten un cultivo favorable en el país. Dado que aún no se conoce el potencial de zonas a ser impulsadas con el cultivo, la zonificación agroecológica surge como un medio para identificar las zonas más adecuadas para el cultivo en base a las condiciones edafoclimáticas naturales.

En México no existe una zonificación específica para el cáñamo, esto ha sido uno de los factores importantes que han impedido su desarrollo. La falta de información sobre cuales regiones pueden tener algún grado de aptitud para el cultivo del cáñamo limita su expansión en el territorio. La ausencia de una zonificación

agroecológica dificulta tener una identificación de las zonas con las condiciones edafoclimáticas favorables para el cáñamo. Así, también es limitante para fundamentar alguna regulación legal al respecto. Por lo anterior, es necesario realizar una zonificación para determinar en general las áreas con mayor potencial para el cultivo de cáñamo en México, con el fin de impulsar su desarrollo eficiente y planificada.

1.5 Objetivos

Objetivo general

Elaborar una zonificación agroecológica para el cultivo del cáñamo en México, a partir de identificar parámetros edafoclimáticos esenciales hasta la propuesta de zonas geográficas óptimas, contribuyendo así al desarrollo de una industria forestal de cáñamo robusta y sostenible en el país.

Objetivos particulares

- Obtener los requerimientos edafoclimáticos del cáñamo a partir de revisión bibliográfica y consulta a expertos, para contar con información detallada sobre la aptitud del cultivo en el país.
- Analizar las condiciones edafoclimáticas para el cultivo de cáñamo, considerando la interrelación entre las propiedades del suelo y los factores climáticos que influyen en su desarrollo óptimo, para encontrar los requerimientos del cultivo.
- Identificar las regiones en México que presentan las condiciones edafoclimáticas óptimas para el cultivo de cáñamo, basándose en datos climáticos, suelos y análisis de factibilidad, con el propósito de orientar las ubicaciones ideales para el cultivo de cáñamo en el país.

1.6 Preguntas de investigación

Las preguntas que surgen a partir del problema de investigación son las siguientes:

¿Cuáles son las condiciones edafoclimáticas más favorables para el cultivo de cáñamo en México?

¿Qué variables influyen en el éxito del cultivo de cáñamo en diferentes regiones del país?

¿Cómo se puede utilizar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para desarrollar una zonificación efectiva para el cultivo de cáñamo?

¿Qué áreas en México tienen el mayor potencial para el cultivo de cáñamo basado en la zonificación propuesta?

¿Qué desafíos existen en el desarrollo de una zonificación agroecológica para el cultivo de cáñamo en México?

1.7 Hipótesis

La hipótesis principal es que en el país hay condiciones edafoclimáticas adecuadas para impulsar el cultivo de cáñamo, identificando variables cruciales para el éxito del cultivo en México. La investigación se enfocará en verificar esta relación, contribuyendo así a un entendimiento más profundo de las condiciones ideales para el cultivo de cáñamo en el país.

1.8 Contenido capitular del documento de titulación

El documento de titulación incluye el siguiente contenido: El Capítulo primero corresponde a la introducción general, donde se describe la importancia del problema investigado, los antecedentes, justificación, objetivos e hipótesis del estudio. El Capítulo segundo aborda la revisión bibliográfica sobre el estado de conocimiento del problema del estudio. El Capítulo tercero presenta los resultados de la investigación y se escribe en formato de artículo científico. Por último, el Capítulo 4 presenta las conclusiones y discusiones generales. Como se presenta en la siguiente figura:

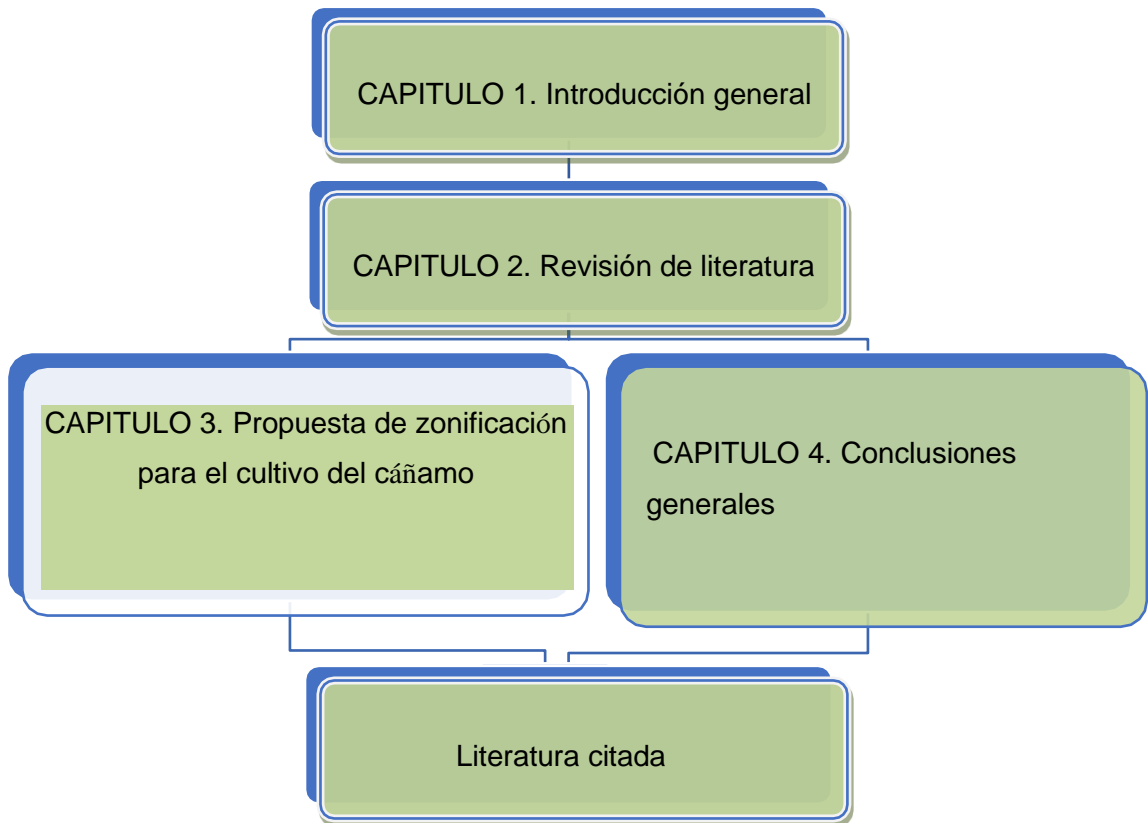


Figura 1. Contenido y estructura de la tesis

Literatura citada

- ADWA Cannabis. (2021). *Cannabis medicinal e industrial no Brasil: Potencial de cultivo*. Disponible en: <https://>. Consultado el 10 de octubre de 2024.
- Amaducci, S., Colauzzi, M., Bellocchi, G., & Venturi, G. (2008). Modelling post-emergent hemp phenology (*Cannabis sativa* L.): Theory and evaluation. *European Journal of Agronomy*, 28(2), 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.006>
- Barbosa, Í. do S., Andrade, L. A., & Almeida, J. A. P. (2009). Zoneamento agroecológico do município de Lagoa Seca, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(5), 623-632.
- Campos-Aranda, D. F. (1996). Programa en BASIC para la estimación del rendimiento climático máximo. *Agrociencia*, 30, 21-30.
- Fassio, A., Rodríguez, M. J., & Ceretta, S. (2013). *Cáñamo (Cannabis sativa L.)*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Disponible en: http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/bd%20103_2013.pdf. Consultado el 20 de agosto de 2024.
- Gallegos Dávila, H. A. (2021). Las aplicaciones del cáñamo como alternativa rentable para la reactivación económica del Ecuador tras la pandemia del Covid-19. *Perfiles*, 1(25), 45-53.
- Huarcaya Minauro, M., & Luis Escobar Cruz, H. (2022). Regulación normativa del uso del cáñamo y sus derivados, para fines industriales en el Perú.
- LABISER. (2021, 17 de mayo). Cómo cultivar cáñamo - Labiser. *Labiser*. <https://www.labiser.com/como-cultivar-ca%C3%B1amo>
- Ospina Pedraza, O. A. (2019). *Diseño de modelo de negocio verde a partir de la producción de ladrillos a base de cáñamo industrial* (Tesis de pregrado, Universidad El Bosque).
- Palma-López, D. J., Cisneros, D. E., Moreno, C. E., & Rincón-Ramírez, J. A. (2007). *Suelos de Tabasco: Su uso y manejo sustentable*. Colegio de Postgraduados-Isprotab-Fruprotab.
- Nozica, G., Henríquez, M., & Paral, R. (1998). Sistemas de información geográfica: Una herramienta para el diagnóstico en la planificación regional. *Universidad Nacional de San Juan*.
- Sikora, P., Chawade, A., Larsson, M., Olsson, J., & Olsson, O. (2011). La mutagénesis como herramienta en genética vegetal, genómica funcional y mejoramiento. *Revista Internacional de Genómica de Plantas*, 2011(1), 314829.
- Trancoso, I., de Souza, G. A. R., dos Santos, P. R., dos Santos, K. D., de Miranda, R. M. D. S. N., da Silva, A. L. P. M., Santos, D. Z., García-Tejero, I. F., & Campostrini, E. (2022). *Cannabis sativa* L.: Crop management and abiotic factors that affect phytocannabinoid production. *Agronomy*, 12(7), 1492. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071492>

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Origen e historia

Los primeros vestigios del uso textil del cáñamo se remontan al sorprendente año 8000 a.C. en Europa y Asia, específicamente en China. Fue en estas regiones donde las comunidades humanas comenzaron a entablar una relación valiosa con esta planta. Al avanzar en el tiempo, los egipcios, alrededor del 4000 a.C., la incorporaron a su cultura, empleándola como una alternativa al papiro en la fabricación de papel y tejidos. La huella del cáñamo también se encuentra en el 100 a.C., cuando los chinos ya estaban elaborando papel a partir de esta versátil planta (Muriel-Páez y Pullas, 2023).

En América, para 1611, el cannabis hizo su entrada en Virginia, marcando el comienzo de una historia rica en los Estados Unidos. Para 1775, ya se había establecido la producción de cáñamo en Virginia y Kentucky impulsó el desarrollo de una floreciente industria de fabricación de cuerdas. Un suceso significativo se registró en 1776 cuando la Declaración de Independencia de los Estados Unidos fue redactada en papel de cáñamo. En 1791, el presidente George Washington, consciente de las virtudes del cáñamo, promovió su cultivo en lugar del tabaco. La expansión del cultivo continuó hasta alcanzar Missouri e Illinois en 1840 (Muriel-Páez y Pullas ,2023).

Durante la década de 1860, la demanda de la industria naval propulsó el cultivo de cáñamo, dado que las velas y los amarres de los barcos generaron una creciente necesidad. Sin embargo, durante 1937, el Congreso validó la Ley de Impuestos sobre el cannabis, imponiendo un control estricto sobre la cultura del cannabis en los Estados Unidos. Durante la Segunda Guerra Mundial, con las restricciones en la importación de abacá y yute, el gobierno estadounidense implementó un plan de acción rápida para reemplazar estas fibras con CAÑAMO

(*cannabis sativa* L.). Al concluir el conflicto, las fibras importadas volvieron a ocupar su lugar en el comercio de Estados Unidos, restableciendo así las restricciones legales (Muriel-Páez y Pullas ,2023). Hasta la mitad del siglo XX, aproximadamente el 80% de los textiles, como cortinas, alfombras, sábanas y toallas, se elaboraban con fibras provenientes del cannabis (Muriel-Páez y Pullas ,2023).

En Europa Occidental, los datos paleobotánicos revelan que el cultivo de cáñamo tenía una presencia significativa en tiempos antiguos, en el siglo VII a.C., los celtas, establecidos en la zona que se extendía desde Massilia (actual Marsella, Francia) hasta el resto de Europa, exportaban productos derivados del cáñamo, como cordones y estopas, a través de su enclave en Massilia hacia toda el área mediterránea (Molina H, 2018). Existen pruebas de que el cannabis fue introducido por primera vez en Europa aproximadamente en el 1500 a.C. En lo que respecta a Inglaterra, el primer cultivo de cannabis se documentó alrededor del 400 d.C. Cuando Cristóbal Colón arribó a América en 1492, el cáñamo ya era empleado en la construcción de velas para las embarcaciones. En 1606, los ingleses introdujeron el cannabis en Canadá. No obstante, en el Reino Unido, su legalidad fue anulada en 1928. En contraste, los Países Bajos adoptaron una postura más permisiva hacia el cannabis, legalizando su cultivo, comercialización y consumo bajo regulaciones específicas en 1976. La revista científica *Nature* dio a conocer en 1980 el descubrimiento de receptores de THC en el cerebro humano. En Alemania, el consumo de pequeñas cantidades de cannabis para uso personal dejó de ser penalizado en 1994. Estos acontecimientos, junto con fechas cruciales en la historia del cannabis en Europa, son expuestos en la investigación de Muriel-Páez y Pullas (2023).

Este cultivo ha desempeñado un papel fundamental, resaltando las prácticas agrícolas tradicionales de la Península Ibérica. En el año 1150, los musulmanes introdujeron el cáñamo en España con el propósito de fabricar papel, estableciendo las primeras fábricas de hilado y enriedo fundamentadas en esta fibra en Alicante. La iniciativa creció rápidamente, dando lugar a la instalación de

nuevas fábricas en Valencia y Toledo. En Europa occidental, el cultivo de cáñamo se realizaba en pequeñas parcelas, y Carlo Magno promovió su siembra mediante el uso de herramientas agrícolas (Muriel-Páez y Pullas, 2023).

El cáñamo (*cannabis sativa L.*) no solo aportó a la grandeza de España, sino que también desempeñó un papel crucial en eventos históricos. En 1492, durante el viaje de Colón a América, las naves no habrían podido llegar a su destino sin cuerdas, redes, velas y otros equipos navales fabricados con cáñamo. En una muestra de reconocimiento por su excepcional resistencia al agua salada, el emperador Carlos V, entre 1519 y 1556, encargó que las jarcias, velas y cabos de las flotas de guerra fueran confeccionados con cáñamo de Tarragona, Lérida y Balager, provenientes de la región reconocida por estas cualidades. A lo largo de los siglos XVII y XVIII, la necesidad de cáñamo en España alcanzó niveles significativos, impulsando el fomento de su cultivo y producción (Alonso Esteban et al., 2022).

El cáñamo (*Cannabis sativa L.*) es considerada una planta con orígenes de Asia y que se extendió por todo el mundo (Bouby, 2002). Es una planta que crece de forma natural en la parte oriental, pero de igual manera era posible encontrarlo en algunas zonas de América, Australia y África (Davidyan, 1972). Esta diversidad geográfica a lo largo de los años ha tenido como resultado una serie de cambios en la planta que han complicado su clasificación (Small, 2015).

2.2 Descripción botánica:

La descripción botánica de la planta del cáñamo es la siguiente:

Familia: Cannabaceae

Especie: *Cannabis sativa* L

Origen: Sus orígenes parte de Europa oriental y en Oeste de Asia, siendo conocida como cañamón desde 1611.

Las hojas de cáñamo son delgadas y completas, son conocidas como estípulas, que se localizan en el tallo en donde nace cada una de las hojas. Las hojas inferiores son opuestas, mientras que las superiores son alternas por pecíolos de 3 a 9 cm de longitud. Cada hoja está formada por 3 a 9 (en ocasiones 11) folíolos que se originan en un mismo punto. Los folíolos son angostos (Catalán, 2005).

La inflorescencia aparece en las axilas de las hojas superiores o en la punta de las ramas, con brácteas herbáceas y glandulares. Las inflorescencias masculinas son ramificadas, abiertas y tienen muchas flores, mientras que las femeninas son compactas, pero con pocas flores (entre 5 y 8) (*Cannabis sativa* - ficha informativa, s. f.).

Las flores no tienen cáliz ni corola claramente diferenciados, sino que presentan un perianto cuyos segmentos se conocen como tépalos. Las flores masculinas son pediceladas, con un perianto de 5 tépalos separados, 5 estambres que se disponen frente a los tépalos, algo más cortos que estos y que caen fácilmente. Las flores femeninas son sésiles, con un perianto completo, membranoso y unido al ovario, el cual se mantiene en el fruto. El ovario contiene un solo óvulo y dos estigmas (*Cannabis sativa* - ficha informativa, s. f.).

El fruto es un aquenio que alberga una única semilla, de forma ovalada y algo aplanada, de color blanco o verde con tonos púrpura, encerrada dentro del perianto (*Cannabis sativa* - ficha informativa, s. f.).

En la siguiente Figura se muestran las distintas partes de la planta.



Figura 2. Ilustración de cáñamo (a: parte apical de un pie masculino; b: flores masculinas; c: parte terminal de una planta femenina; d: porción terminal de una ramilla femenina; e: flor femenina; f: fruto)

[Tomado de: Flora iberica, vol. 3, 2005, lámina 73]

2.3 Cáñamo vs Marihuana

Definición de Cáñamo: El cáñamo se refiere a la fibra extraída de los tallos de la planta *Cannabis Sativa*, con un contenido de THC prácticamente inexistente, lo que significa que no genera efectos psicoactivos Alonso Esteban, J. I. (2021). A diferencia de la marihuana, que se extrae de los mismos frutos de la misma planta y contiene un mayor nivel de THC, generando efectos psicoactivos. (Huarcaya Minauro y Luis Escobar Cruz, 2022).

Definición de Cannabis: Esto hace referencia a la sustancia psicoactiva obtenida de la planta *Cannabis Sativa*. Se emplean la resina, las hojas, los tallos y las flores para fabricar las sustancias ilícitas más consumidas, como el hachís y la

marihuana, cuyos efectos en el cerebro se deben al componente activo del tetrahidrocannabinol (THC) (Ministerio de Sanidad, s.f.).

Marihuana: La marihuana se obtiene tras el secado y triturado de las flores femeninas, luego de extraer la resina. Presenta un contenido de THC que varía entre el 1% y el 3%, y su aspecto es una mezcla de tono gris verdoso (Meng, Z., 2023).

Hachís: El hachís es una resina sólida, prensada y compactada en bloques, tabletas, pastillas o dulces, con tonalidades que van del negro al marrón o verde, y que puede contener hasta un 20% de THC (Jamele, A., 2022).

Diferencias entre Cañamo y Marihuana:

El cáñamo presenta diferencias importantes con respecto a la marihuana, destacándose en cuatro aspectos clave.

La diferencia principal radica en que ambas son partes distintas de la misma planta, "*Cannabis Sativa*". La marihuana constituye la parte con efectos psicoactivos de la planta, empleada como sustancia recreativa y concentrada principalmente en el fruto. Por otro lado, el cáñamo (*el cannabis sativa L.*) se refiere al tallo de la planta de cannabis, careciendo de propiedades psicoactivas y, por ende, no clasificado como una droga (Huarcaya Minauro y Luis Escobar Cruz, 2022).

En lo que respecta al tetrahidrocannabinol (THC), la marihuana sobresale por su elevada concentración de este cannabinoide propio de la planta, responsable de sus efectos psicoactivos. Por el contrario, el cáñamo contiene niveles considerablemente más reducidos de THC.

En relación con los aspectos del cultivo, los ejemplares de cáñamo industrial son cultivadas con el propósito de obtener fibras y/o granos. Estos ejemplares suelen

ser altas, cuentan con tallos delgados y producen semillas o granos, lo que hace la polinización sea un factor clave en su desarrollo. (Vergara-Navarro, E. V., Betancourt-Vásquez, M., & Rodríguez-Yzquierdo, G. A. (2023).

El cáñamo se cultiva con una disposición cercana entre las plantas, considerándose un cultivo de alta densidad. Por otro lado, las plantas de marihuana son de menor altura y presentan tallos más gruesos, siendo cultivadas principalmente por sus flores de cannabis, o cogollos, que son producidos por las plantas femeninas y contienen cannabinoides, especialmente el THC (Vergara-Navarro, E. V., Betancourt-Vásquez, M., & Rodríguez-Yzquierdo, G. A., 2023). En el cultivo de marihuana, es necesario proporcionar espacio adecuado para el desarrollo, ya que estas plantas tienden a tener más ramificaciones laterales y grandes flores. Asimismo, en el cultivo de marihuana se retiran las partes masculinas para evitar la polinización, con el fin de obtener cogollos sin semillas, los cuales son muy demandados tanto para usos medicinales como recreativos.



Figura 3. Tipode *Cannabis Sativa*

Fuente de información: <https://geaseeds.com/blog/tipos-de-cannabis/>

El cáñamo se cultiva para ser empleado como materia prima en diversas industrias, como la alimentaria, farmacéutica y cosmética, así como para fines terapéuticos, como se explicará más adelante. En cambio, la marihuana se cultiva principalmente para la cosecha de sus flores, las cuales se utilizan tanto para fines recreativos como terapéuticos. Diversas investigaciones científicas han respaldado los beneficios del cannabis en el tratamiento de enfermedades graves, como la epilepsia, los trastornos neurodegenerativos e incluso el autismo. En cuanto a la legislación, el cáñamo se considera legal cuando se cultiva para producir menos del 0,3% de THC en su peso, y es ampliamente aceptado en muchas partes del

mundo por los nutrientes que ofrece. Por otro lado, el cultivo extensivo de marihuana es ilegal debido a sus efectos psicoactivos, aunque su legalidad para fines medicinales depende del país, ya que algunos autorizan su uso con propósitos terapéuticos.

En 1783, Lamarck y más tarde el botánico ruso Janischevsky en 1924 identificaron tres subespecies de *Cannabis sativa*: *Cannabis sativa*, *Cannabis sativa indica* y *Cannabis sativa ruderalis*. Estas subespecies han sido sometidas a múltiples cruces y polihibridaciones, lo que ha dado lugar a variedades con características botánicas únicas, condiciones de cultivo particulares y usos variados (Sandiego Villaverde, 2020).

Cannabis Sativa Indica (Cannabis o Cáñamo Medicinal-Psicoactivo): Esta subespecie se cultiva para aprovechar su contenido psicoactivo, especialmente el THC. Conocida comúnmente como "cánnabis", "cáñamo índico" o "cáñamo medicinal-psicoactivo", se utiliza con fines recreativos y medicinales. La planta puede proporcionar marihuana y hachís, y se ha estudiado por sus posibles beneficios terapéuticos en condiciones como la hipertensión ocular, el malestar persistente, las convulsiones y la esclerosis múltiple.

Ante la confusión terminológica que rodea al cannabis, Gaspar Fraga, director de la revista Cáñamo, realiza precisiones fundamentales. Se sugiere emplear el término "cánnabis" para hacer referencia a esta planta en contextos botánicos, terapéuticos, médicos y tradicionales. El término "cáñamo" se reservará para su uso en concepto industrial y medioambiental, mientras que, en un contexto lúdico y recreativo, se utilizará la expresión "marihuana". En este contexto, "cáñamo" seguirá utilizándose para hacer referencia a la planta en un sentido general, sin especificar el tipo o la aplicación en casos en los que hablemos de la especie de manera global.

Cuadro 1. Las explicaciones de los diversos términos en varios diccionarios.

	cáñamo	cáñamo índico	cánnabis
<i>DRAE</i>	1) planta (especie) 2) filamento textil 3) lienzo 4) cosa hecha con cáñamo 5) plantas textiles 6) bramante	planta (variedad para droga)	<i>cannabis</i> (m.) planta (variedad para droga)
<i>DEA</i>	1) planta (variedad textil) 2) fibra textil	planta (variedad para droga)	<i>cannabis</i> (f.) / /kanabis/ planta (variedad para droga)
<i>DUE</i>	1) planta (variedad textil) 2) plantas textiles 3) bramante 4) cosas hechas con cáñamo	planta (variedad para droga)	<i>cánnabis</i> (m.) planta (variedad para droga)
<i>Vox</i>	1) planta (variedad textil) 2) fibra 3) lienzo	polvo (droga)	<i>cannabis</i> (m.) 1) planta (variedad textil) 2) fibra 3) lienzo 4) planta (variedad para droga)
<i>Clave</i>	1) planta (variedad textil) 2) fibra textil		<i>cannabis</i> (m.) planta (especie)

Origen de la información: (Díaz Rojo, 2004)

Adicionalmente, desde una perspectiva clasificatoria basada en criterios morfológicos (biosistemática), se pueden distinguir tres variedades principales:

Cannabis sativa: plantas de gran altura, con pocas ramas y hojas alargadas.

Cannabis indica: plantas de tamaño reducido, con ramas cortas y brotes densos.

Cannabis ruderalis: plantas diminutas, sin ramas y con hojas más pequeñas en comparación con las otras subespecies (Sandiego Villaverde, 2020).



Figura 4: Tres especies de la planta *Cannabis Sativa* L.

Fuente: (Sandiego Villaverde,2020)

Muñoz (2022) realiza una exhaustiva revisión del avance en la investigación y clasificación del cannabis. Este pertenece a la familia botánica Cannabaceae, que

comprende 170 especies diversas. En 1583, los botánicos comenzaron a clasificar el cannabis junto con otras plantas no relacionadas genéticamente, utilizando criterios como su utilidad para el ser humano y la morfología de las hojas.

En un giro revolucionario, el médico, filósofo y botánico italiano Andrea Cesalpino, desafiando las normas establecidas, clasificó las plantas no según sus características estructurales, sino de acuerdo con sus funciones esenciales, como la flor y el fruto. Esta perspectiva estableció una conexión taxonómica entre el cannabis y el lúpulo.

Más tarde, el botánico y lingüista ruso Iván Martynov identificó la relación familiar entre el cannabis y el lúpulo, introduciendo el término "Cannabaceae" para asignarles una clasificación taxonómica. Hoy en día, se entiende que todas las especies de la familia Cannabaceae comparten la particularidad de tener flores sin pétalos y generar frutos de una sola semilla.

2.4 Requerimientos Ambientales

Temperatura: Los rasgos de temperatura óptimos para el cáñamo van desde los 20° y 35° C (Fassio, A, 2013).

Agua: El cultivo necesita de abundante agua para su desarrollo, se sugiere sembrarlo en áreas con una precipitación que va desde los 800 a lo 1200 mm (Fassio, A, 2013).

Luz: La prolongación del ciclo de crecimiento está influida por la reducción en la intensidad lumínica (Fassio, A, 2013).

Clima: No se sugiere implementar cultivos en climas áridos y fríos, ya que suelen enfrentar inconvenientes relacionados con plagas o incluso la muerte de la planta.

Suelos: Se recomienda utilizar suelos que tengan una profundidad mínima de 50 cm, con una textura que puede ser arcilloso limoso. Además, el rango de pH debe encontrarse mínimo entre 5.6 y máximo 8.0 (LABISER, 2021). Suelos no aptos incluyen aquellos con una profundidad menor a 30 cm, texturas arcillosas, un pH menor de 5,5 o con una fase salina.

Utilidad del cáñamo en la actualidad

El proceso de la domesticación del cáñamo llevada por el ser humano ha llevado a tener una evolución de la especie, obteniendo así productos diferentes (Small, 2015). Algunos autores como (Small, 2015) discuten que el grado de desacuerdo que hay entre los distintos tipos de cáñamo tiene un mayor extremo que la mayoría de las especies vegetales, debido a que el cáñamo ha tenido una evolución en la cultura humana durante años y esto ha tenido como consecuencia una evolución biológica. Además, las plantas que son cultivadas por el ser humano pueden establecer colonias y cruces entre ellas o también con plantas silvestres.

El cáñamo (*Cannabis sativa* L.) ha sido una de las fuentes de fibras textiles más antiguas, al igual que el lino, y es considerado una de las principales fibras vegetales (Small, 2015). Según Garrido, S. (2005), en España el cáñamo alcanzó su máximo apogeo en el siglo XVIII, cuando se convirtió en uno de los cultivos más importantes debido a su alta demanda en la industria textil y marina.

A pesar de su relevancia histórica, el cáñamo ha llegado a ser el cultivo predominante en la industria textil a nivel mundial. Sin embargo, la producción de algodón ha sido uno de los cultivos más importantes, pero presenta importantes desventajas ambientales, principalmente debido a la gran cantidad de agua requerida durante su cultivo y procesamiento. Este elevado consumo hídrico ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles. En este contexto, el cáñamo ha resurgido como una opción viable para sustituir al algodón en la producción textil.

El Ing. Gustavo Álvarez señala que el cáñamo requiere aproximadamente la mitad del agua que se utiliza en el cultivo del algodón, además de no necesitar agroquímicos para su crecimiento, a diferencia del algodón, que sí los demanda. Asimismo, la producción de algodón requiere tecnologías más avanzadas en comparación con el cáñamo. No obstante, las fibras de algodón suelen considerarse de mejor calidad en cuanto a suavidad y flexibilidad que las del

cáñamo, lo que mantiene al primero como una fibra preferida en algunos sectores de la industria textil.

El cáñamo es una planta con un aprovechamiento favorable, debido a que todas sus partes pueden ser utilizadas para usos industriales, alimenticios y medicinales. Se aprovecha las fibras del tallo para productos textiles, la célula para papel, las flores permiten la obtención de aceites esenciales y esencias, mientras que las semillas recolectadas se consideran una fuente de proteína natural, proporcionando todo lo que es harinas, pastas y algunos aceites (Broekers, 2002; Zimmer, 1997).

A) Uso alimenticio

La semilla es la parte de la planta que se emplea con fines alimenticios de la cual se derivan harinas, pastas y aceites comestibles destacándose por tener un alto contenido de aminoácidos, los cuales solo se encuentran en la leche materna (Zimmer, 1997).

B) Uso textil

El cáñamo ha venido siendo uno de los principales fibras textiles a lo largo de los años, siendo una de las fibras más resistentes de la naturaleza. Los primeros pantalones Levi's fueron hechos, con fibra de cáñamo. Además, Henry Ford desarrollo el primer prototipo del automóvil utilizando cáñamo como material base (Broekers, 2002). Las fibras de cáñamo poseen un equilibrio térmico y tiene una capacidad de absorción de agua mejor que otras plantas como el algodón (Broekers, 2002). En la actualidad, países en Europa y China han logrado revivir esta industria utilizando tecnologías modernas.

C) Uso medicinal: aplicaciones terapéuticas

Asia: En el año 2700 a.C., Shen Nong, reconocido como el padre de la medicina china, ya hacía referencia al cannabis en sus escritos, según los registros de Muriel-Páez y Pullas (2023). Un manuscrito médico chino del siglo I d.C., atribuido a Shen Nong y fechado 30 siglos antes, indicaba que el consumo excesivo de

cáñamo podría ocasionar alucinaciones, aunque con un uso prolongado, podría generar paz espiritual y relajación corporal (Molina H, 2018).

En el año 800 d.C., Mahoma dio su aprobación al consumo de cannabis, según los datos recopilados (Muriel-Páez y Pullas,2023). (Molina H, 2018) proporciona un relato detallado de la antigüedad del cáñamo en la India, donde se cree que agiliza el pensamiento y se le atribuyen propiedades beneficiosas en la meditación. Además, se utiliza en tratamientos médicos para enfermedades como oftalmía, fiebre, insomnio, tos seca y disentería.

A lo largo de la historia, el cáñamo ha sido empleado para extraer medicinas valiosas, lo que plantea desafíos en el control del cultivo clandestino en varios países de Asia. Incluso las farmacopeas occidentales utilizan el cáñamo para nuevas posibilidades, como la obtención de un antibiótico más eficaz, están siendo descubiertas. En 1964, el químico Mechoulam aisló el principal componente activo de la planta, el tetrahidrocannabinol (THC), y en 1971 se reanudó la investigación sobre sus propiedades psicoactivas.

Estados Unidos:

En 1915, la prohibición del cannabis en California fue oficializada a través del Boletín 404 del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Más tarde, en 1919, Texas también impuso la prohibición del cannabis. En 1924, la Segunda Conferencia Internacional sobre el Opio clasificó al cannabis como una droga y sugirió su regulación. En 1931, Harry J. Anslinger, director de la Oficina Federal de Estupefacientes de Estados Unidos, manifestó una firme oposición al consumo de cannabis.

En 1951, el Boletín de Estupefacientes de las Naciones Unidas indicó que ya existían 200 millones de consumidores de cannabis a nivel mundial, a pesar de su clasificación como droga desde 1924. Hasta 1975, persistía la lucha por una mayor investigación científica sobre el cannabis. En ese mismo año, el Tribunal Supremo de Alaska afirmó que el derecho a la intimidad protege la posesión de cannabis en

el hogar, evidenciando la evolución de las percepciones legales en torno a esta sustancia (Muriel-Páez y Pullas, 2023).

Las flores del cáñamo son la parte más relevante en el ámbito medicinal y terapéutico, contienen el Tetrahidrocannabinol delta-9 (THC), un compuesto que genera efectos psicoactivos. El uso del cáñamo para fines medicinales dio inicio desde la antigua China donde se utilizaba para tratar dolores de cabeza y para facilitar el parto (Broekers, M. 2002).

2.5 Producción del cultivo del cáñamo en México

Desde hace algunas décadas el cáñamo y sus derivados industriales han generado espacios importantes dentro del marco legal. Según el artículo 28 de la Convención Única sobre Estupefacientes (1961), las medidas de fiscalización no se aplican a las plantas de cannabis destinadas a fines industriales. En México la siembra del cáñamo se ha mantenido en un espacio incierto. Poco a poco, se avanza en los debates judiciales para que el cáñamo obtenga el lugar preeminente que le corresponde debido a sus múltiples usos industriales y los beneficios que su aprovechamiento ofrece tanto a los productores como a quienes optan por utilizar sus derivados.

En México, el cáñamo ha adquirido un papel relevante en el debate regulatorio sobre el cannabis, debido al reconocimiento de su potencial terapéutico por parte de las autoridades desde 2006. Para 2017, sus amplios usos industriales ya estaban contemplados en la Ley General de Salud. No obstante, el avance más significativo ocurrió recientemente, cuando la Suprema Corte de Justicia de la Nación dictaminó a favor de los productos derivados del cáñamo, permitiendo que al menos una empresa inicie los procesos de cultivo y transformación de esta planta con fines industriales.

El proceso de regularización del cáñamo y sus derivados en México continúa avanzando. Las recientes resoluciones de la Suprema Corte de Justicia, junto con el respaldo de los legisladores mexicanos, auguran un progreso favorable que permitirá a distintos sectores industriales planificar sus inversiones en el país. Este marco normativo ofrece la posibilidad de establecer una industria del cannabis con el potencial de posicionarse como líder en el mercado global.

2.6 Zonas Agroecológicas

Zonas Agroecológicas: Antecedentes y Metodologías

La zonificación de la tierra para la planificación del uso de los recursos rurales es esencial, implicando la separación de áreas con potencialidades y limitaciones similares para el desarrollo (FAO, 1997). En 1978, surgió el proyecto Zonas Agroecológicas (ZAE), pionero en aplicar la evaluación de tierras a nivel continental. La metodología innovadora empleada cuantifica información climática, de suelos y otros factores físicos para prever la productividad potencial de los cultivos, identificando unidades geográficas con potencial ecológico mediante tipologías (Espinosa y Roquera, 2007; Gabriel, 2003).

Las zonas agroecológicas se definen por combinaciones similares de clima y características de suelo, indicando potencial biofísico común para la producción agrícola y presentando limitaciones y potencialidades específicas (FAO, 1997). La zonificación agroecológica se interpreta como la delimitación cartográfica de la capacidad natural para un cultivo, basándose en características agroclimáticas y fisio- edáficas, así como en las necesidades específicas del cultivo (FAO, 1997).

La FAO ha desarrollado metodologías respaldadas por sistemas automatizados de procesamiento de datos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la zonificación agroecológica, empleando capas de información espacial para definir zonas (FAO, 1997). La definición detallada de una zona varía según la escala del estudio y la capacidad del equipo de procesamiento de datos.

En cuanto a la zonificación del cultivo de cañamo, se han realizado diversos estudios, considerando variables climáticas e hídricas. En Europa se clasificaron áreas según temperaturas y deficiencias hídricas para evaluar la viabilidad del cañamo. En Cuba, Suárez Venero et al. (2006) y González et al. (2001) utilizaron parámetros como la distribución anual de precipitaciones y la profundidad efectiva del suelo para zonificar áreas de potencial agroecológico para el cañamo.

Estudios posteriores en Canada, como los de González, H., & Hernández, J. (2016) ampliaron los criterios considerando la profundidad del suelo, precipitación, temperatura, altitud, pendiente, contenido de materia orgánica y grado de erosión para determinar zonas óptimas. Estas investigaciones demuestran la importancia de considerar diversos factores en la zonificación agroecológica para comprender y optimizar el potencial de la tierra para la producción forestal y agrícola.

Se refiere a aquellas zonas que presentan una combinación adecuada de clima y características del suelo. Estas áreas exhiben un rango específico de limitaciones y oportunidades en relación con el uso del suelo para fines agrícolas (FAO, 1997).

La zonificación agroecológica es el proceso de delimitación cartográfica que define la capacidad natural de una región para un cultivo específico. Este proceso considera las características agroclimáticas y fisio-edáficas de cada zona, evaluando su adecuación a las necesidades ambientales del cultivo en cuestión. Asimismo, incluye el análisis de la capacidad del área para conservar su potencial productivo a lo largo del tiempo (González y Hernández, 2016).

2.7 Zonificación agroecológica en México

La zonificación agroecológica en condiciones naturales en México se da a una escala de 1:250,000 y 1:1,000,000. El enfoque se centra en la agroecología, cuyo objetivo es gestionar sistemas agrícolas que sean sostenibles, económicamente

equitativos y ambientalmente responsables. Además, la agroecología fomenta la adopción de prácticas de agricultura climáticamente inteligente, que no solo contribuyen a la seguridad alimentaria, sino que también apoyan la adaptación y mitigación frente al cambio climático.

La zonificación tiene como objetivos principales:

- Evaluar las capacidades del territorio mexicano en condiciones naturales para diversas alternativas de uso sostenible.
- Fomentar una explotación racional de los recursos.
- Implementar rotaciones de cultivos de manera efectiva.
- Optimizar y planificar el uso adecuado de las tierras (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2015).

2.8 Factores determinantes en la zonificación agroecológica

El desarrollo y crecimiento de las plantas dependen de varios factores, si los cultivos no están recibiendo elementos requeridos para un buen desarrollo se puede afectar y limitar su crecimiento (FAO, 1997).

2.9 Factores Climaticos

El factor clima desempeña un papel importante en el suministro de la energía y nutrientes que son esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Este factor les permite que los procesos como fotosíntesis, reproducción sexual y los procesos metabólicos puedan ejecutarse de forma adecuada. El clima como factor natural se caracteriza por las variables tales como la temperatura, humedad, precipitación, entre otras (FAO, 1997).

2.10 Factores edafológicos

El suelo es el factor por naturaleza que tiene relación con las características

climáticas de una zona determinada para así determinar su aptitud agrícola. Esta capa de la tierra se va desarrollando la vida de las raíces de las plantas (FAO, 1997).

La interacción que se encuentra entre el tipo de suelo, la capacidad de retención de agua y nutrientes influye directamente en la viabilidad de los diferentes cultivos. Además, Arce y colaboradores (2015) hacen la mención de que el suelo está formado por un conjunto de procesos tanto biológicos, químicos, físicos que actúan sobre la roca madre, originando su meteorización.

La meteorización ocurre debido a la erosión de la roca provocada por factores atmosféricos como cambios de temperatura y la exposición continua a la intemperie. Este proceso puede ser de tipo físico, cuando la roca se fragmenta por efectos mecánicos que generan grietas o fisuras; o de tipo químico, cuando la roca se descompone a través de reacciones químicas, como la disolución, hidratación, hidrólisis, carbonatación u oxidación, que modifican sus minerales originales, transformándolos en otros (Arce, G. A., Alberto, J. A., Gómez, C. V., & Sánchez, M. E. (2015).

De esta manera, la zonificación agroecológica basada en factores edafológicos permite identificar zonas con las características óptimas para el desarrollo de algunos cultivos, garantizando así el uso eficiente de los recursos naturales.

2.11 Método de Zonificación Agroecológica

El modelo de zonificación agroecológica se desarrolla basándose en el sistema de referencia World Geodetic System - WGS84.

Se examinan variables que tienen relación con el clima, relieve y suelo siempre en función de los requerimientos agroecológicos del cultivo, utilizando así el método desarrollado por la FAO en 1976. El enfoque se emplea para identificar las áreas

o zonas con los niveles de aptitud Apto, Moderadamente apto y No apto, con el objetivo de evaluar la viabilidad de diferentes cultivos a escala regional y nacional (1:250 000).

Durante el análisis y el procedimiento de los mapas de zonificación agroecológica se combinan las zonas con aptitud bajo condiciones naturales en conjunto a la evaluación cualitativa de la infraestructura de apoyo a la producción (Aguilar et al., 2014). El resultado es un análisis de posibilidades y limitaciones agroecológicas para el territorio para el cultivo (Aguilar et al., 2014).

Herramientas SIG para la Zonificación Agroecológica

La zonificación agroecológica (ZAE) es un enfoque metodológico sugerido por la FAO en 1978, que se puede implementar mediante el uso de software especializado como Arc Map. Para la determinación, es esencial superponer diversas capas de información geoespacial, con el objetivo de identificar zonas con diferentes niveles de aptitud. Las investigaciones más avanzadas sobre las zonificaciones agroecológicas integran bases de datos que tienen vinculación al sistema de información geográfica (SIG) y modelos computarizados (FAO, 1997).

Los sistemas de Información Geográfica (SIG) se entiende como un conjunto de hardware, software para facilitar la captura, gestión, manipulación, análisis, y visualización de datos estadísticos, espaciales y temporales, con el fin de resolver problemas complejos relacionados con el manejo y uso de la tierra (Fernández y Sumano, 1992; Nozica et al., 1997).

El objetivo de las SIG es generar resultados confiables que apoyen a la toma de decisiones mediante un análisis de interpretación de amplios volúmenes de datos biofísicos, estadísticos y socioeconómicos en dimensiones espaciales, esto permite producir productos como tablas y mapas (Fernández y Sumano, 1992; Nozica et al., 1997).

La utilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se basa en la capacidad de elaborar modelos o representaciones reales del mundo a partir de una base de datos digital.

Este modelo se convierte en una herramienta para analizar y establecer los factores que afectan las tendencias, así como evaluar las posibles implicaciones de la toma de decisiones de planificación respecto a los recursos aprovechables en una zona de interés (Carmona y Monsalve, 2000). Los SIG permiten facilitar el almacenamiento de la información espacial, lo que facilita su actualización y el acceso directo por parte de varios usuarios Romeu Carrasco, A., Rey Pérez, A. D., & Montesinos Lajara, M. (2012).

El uso de las SIG para la elaboración de zonificaciones agroecológicas se ha expandido en los últimos años. Las últimas investigaciones que se sustentan en este tipo de sistemas siguen siendo muy limitadas. Entre ellas, se pueden mencionar los estudios realizados por Carbonell et al. (2001), Díaz et al. (2000) y Villa et al. (2001).

Literatura Citada

- Aguilar, D., Ayala, O., Castro, J., Cobos, M., & Tapia, G. (2014). *Zonificación agroecológica económica del cultivo de maíz duro (Zea mays) en el Ecuador a escala 1:250,000*. Quito, Ecuador.
- Aguirre Rojas, C. A. (2003). *Emmanuel Wallerstein, crítica del sistema-mundo capitalista* (1ra ed.). Ediciones Era.
- Alexander Cardoza, V., Rivas Jiménez, M., & Hernández Mejía, E. (2022). Revisión narrativa de las propiedades del cáñamo en cosmética. *Revista Con Ciencia Sanitaria*, 1(1), 50-59. <https://concienciasanitaria.medicamentos.gob.sv/index.php/cs/article/view/13>.
- Alonso Esteban, J. I., Sánchez Mata, M. D. C., & Torija Isasa, E. (2022). Alimentos derivados de semillas de cáñamo (*Cannabis sativa L.*) en el mercado español. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, (1), 135–155. <https://doi.org/10.24197/reeap.1.2022.135-155>.
- Apolo, C. (2022, diciembre 22). Extremadura acogerá el primer laboratorio estatal de

- análisis de cáñamo industrial y medicinal. *El Economista*.
<https://www.proquest.com/newspapers/extremadura-acogerá-el-primer-laboratorio-estatal/docview/2757522864/se-2?accountid=14744>
- Arce, G. A., Alberto, J. A., Gómez, C. V., & Sánchez, M. E. (2015). Meteorización. Parte II: meteorización química, procesos y formas resultantes. *Geográfica digital*, 12(24), 1-33.
- Arroyave Zapata, L. C., & Soto Lorza, P. Y. (2016). Fibra natural de cáñamo con aplicación en una línea de accesorios de moda [Trabajo de grado, Institución Universitaria Pascual Bravo]. *El Repositorio Institucional de la Institución Universitaria Pascual Bravo*. <https://repositorio.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/725>
- Arroyo, F. (2020, septiembre 6). Siempre bien / CBD y deporte. *CE Noticias Financieras*.
<https://www.proquest.com/wire-feeds/siempre-bien-cbd-y-deporte/docview/2440610873/se-2>
- Arzola, V. (2021, agosto 8). *CBD a detalle*. CE Noticias Financieras.
<https://www.proquest.com/wire-feeds/cbd-detalle/docview/2559625357/se-2>
- Bayón Álvarez, Á. (2021, septiembre 20). *El negocio de cannabis medicinal de Torreal amplía pérdidas*. Cinco Días.
https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/09/17/companias/1631903481_512766.html
- Bayón Álvarez, Á. (2022, agosto 29). *La apuesta de Abelló por el cannabis medicinal: ocho millones de pérdidas y uno de ingresos*. Cinco Días.
https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/08/26/companias/1661528017_301862.html
- Baudrillard, J. (2004). *El sistema de los objetos* (18ª ed.). Siglo XXI Editores. (Original publicado en 1969).
- Beltrán Barragán, F., & Vallejo Cuervo, L. (2021). La creación de una cadena de valor sostenible a partir del cáñamo [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. *Repositorio Institucional Séneca*. <http://hdl.handle.net/1992/53806>
- Bouby, L. 2002. Le chanvre (*Cannabis sativa L.*): une plante cultivée à la fin de l'âge du Fer en France du Sud-Ouest? *Comptes Rendus Palevol*, 1: 89-95. doi: 10.1016/S1631-0683(02)00015-5
- Braudel, F. (1968). *La historia y las ciencias sociales*. Alianza Editorial.
- Broeckers, M. (2002). *Hanf, Hemp, Chambre, Cáñamo* (K. Kaemmerer, Trad.). Ediciones Cáñamo.
- Brümmer, M. (2014). El cáñamo en la construcción: antecedentes, materiales y técnicas.

Construcción Sostenible. <http://www.ecohouses.es/wp-content/uploads/2015/06/el-canamo-en-la-construccion.pdf>

- Catalán, P. (2005). Cannabis L. En: Castroviejo, S. (Ed.). Flora Ibérica, Vol. 3, 2ª ed. Madrid: CSIC-Real Jardín Botánico, Madrid. p. 258-261.
- Cannabis sativa* - ficha informativa. (s. f.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/cannabaceae/cannabis-sativa/fichas/ficha.htm>
- Carbonell, J., Amaya, B., Ortiz, J., Torres, R., Quintero, R., & Isaacs, H. (2001). Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el Valle del río Cauca. *Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia*, 29, 1-19.
- Carmona, J., & Monsalve, R. (2000). Sistemas de Información Geográfica.
- Convención Única sobre Estupefacientes, 1961. (1961). Tratado internacional sobre estupefacientes adoptado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Estupefacientes de 1961. <https://www.unodc.org/unodc/es/commissions/CND/conventions.html>
- Cengicaña, D. (2004). *Avances del proyecto de zonificación agroecológica en la zona cañera de Guatemala*. Guatemala: Zafra.
- Davidyan, G. G. 1972. Hemp: biology and initial material for breeding. *Trudy po Prikladnoj Botanike, Genetikei Selekcii*, 48: 1-160.
- Díaz, H., Plascencia, R., Arteaga, R., & Vázquez, P. (2000). Estudio y zonificación agroclimáticos en la región Los Altos de Chiapas, México. *Investigaciones Geográficas*, 42, 7-27.
- Escohotado, A. (1995). *Aprendiendo de las drogas: Usos y abusos, prejuicios y desafíos* (2da ed.). Anagrama.
- Espinosa, J. y A., Roquera (2007), "Zonificación agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en las provincias de Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua", *Revista Rumipamba* vol. 21, núm. 1, pp. 54-56.
- FAO. (1997). *Zonificación agro-ecológica. Guía general*. Roma, Italia: Dirección de Fomento de Tierras y Aguas.
- Fernández, P., & Sumano, L. (1992). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Garrido, S. (2005): Cáñamo gentil. Una indagación sobre los condicionantes del cambio técnico de la agricultura», *Historia Agraria*, 36: 287-310.
- González, H., & Hernández, J. (2016). Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el

- municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas*, 90, 8-11.
- Huarcaya Minauro, M., & Luis Escobar Cruz, H. (2022). Regulación normativa del uso del cáñamo y sus derivados, para fines industriales en el Perú.
- Jamele, A. (2022, 30 junio). Cáñamo o algodón: una discusión ambiental en la industria textil. *Revista THC*. <https://revistathc.com/2022/06/30/canamo-o-algodon-una-discusion-ambiental-en-la-industria-textil/>
- Laboratorio LABISER. (2024, 18 julio). *Cómo cultivar cáñamo - Labiser*. Labiser. <https://labiser.es/como-cultivar-canamo/>
- Meng, Z. (2023). Producción de cáñamo en Andalucía destinado a productos de Salud y bienestar. Un estudio de viabilidad.
- Molina , M. (2008). EL CANNABIS EN LA HISTORIA: PASADO Y PRESENTE. *Cultura y droga*, 95 - 110.
- Molina , M. M. (15 de Diciembre de 2019). Biblioteca virtual en adicciones . Obtenido de http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/Historia7.pdf
- Mönckeberg, F. (2014). Los pro y contra de la legalización de la marihuana . *Chil Pediatr*, 229 -237.
- Mora, P. S., solicitó al Mgs, S. C. T., & Moncayo, E. F. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- Muñoz Almeida, P. I. (2022). Situación actual para la producción del cultivo Cáñamo (*Cannabis sativa*) en Ecuador (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- Muriel-Páez, M., & Pullas, M. (2022). El cáñamo, una fibra textil sostenible. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 12155-12182.
- Ortiz Guerrero, L. E. (2023). Microencapsulación de mezcla de aceites de cáñamo, girasol y sacha inchi rico en CBD (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Biotecnología).
- Romeu Carrasco, A., Rey Pérez, A. D., & Montesinos Lajara, M. (2012). Implantación de Geoportales con soporte técnico profesionalizado en software libre.
- Sandiego Villaverde, P. (2020). Técnicas de extracción y caracterización de cannabinoides a partir de la planta de cannabis sativa L.
- Schultes, R. E., & Hofmann, A. (2000). *Las plantas de los dioses: La fuerza mágica de las plantas* (A. Blanco, Trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Serrera Contreras, R. (1974). *Cultivo y manufactura de lino y cáñamo en la Nueva España*

- (1777-1800). Escuela de Estudios Hispano-Americanos.
- Small, E. 2015. Evolution and classification of *Cannabis sativa* (Marijuana, Hemp) in relation to Human Utilization. *The Botanical Review*, 81: 189-294. doi: 10.1007/s12229-015- 9157-3
- Suárez Venero, G. M. (2014). *Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 36-44.
- Suárez Venero, G. M., Avendaño Arrazate, C. H., Hernández Ramos, M. A., Rodríguez Larramendi, L. A., Estrada de los Santos, P., & Salas Marina, M. Á. (2021). Zonificación edafoclimática del cultivo de cacao en el estado Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(4), 629-641.
- Vergara-Navarro, E. V., Betancourt-Vásquez, M., & Rodríguez-Yzquierdo, G. A. (2023). Artropofauna asociada al cultivo de *Cannabis sativa* L., 1753 (Urticales: Cannabaceae) medicinal en Antioquia, Colombia. *Revista chilena de entomología*, 49(1), 131-144.
- Zimmer, L., & Morgan, J. P. (1997). *Marihuana myths, marihuana facts: A review of the scientific evidence*. Lindesmith Center.

CAPÍTULO III. Zonificación agroecológica para el cáñamo (*Cannabis sativa L.*) en México: una aproximación geoespacial

Artículo enviado

Reyes-Bello María del Refugio, Rendon-Medel Roberto y Monterroso-Rivas Alejandro Ismael.
2024. Zonificación agroecológica para el cáñamo (*Cannabis sativa L.*) en México: una aproximación geoespacial. *Current Topics in Agronomic Science*. En revisión.

RESUMEN

Introducción: En los últimos años ha resurgido el interés por el cáñamo (*Cannabis sativa L.*) en México, quizás por los usos potenciales que tiene en diversas industrias.

Objetivo: Determinar las zonas más aptas para el cáñamo en todo el territorio nacional, mediante la aplicación del método de zonificación agroecológica.

Materiales y métodos: A través de revisión bibliográfica se identificaron los requerimientos edafológicos y climáticos para el cáñamo. Con herramientas de sistemas de información geográfica se realizó una zonificación agroecológica para determinar las zonas aptas, no aptas y aquellas moderadamente aptas para el cultivo.

Resultados: Los resultados muestran que 5% de la superficie nacional muestra aptitud para el cultivo de cáñamo. Con algunas limitantes edafoclimáticas se encuentra el 17% del país y el restante 78% de la superficie no cuenta con aptitud. Los estados de Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Veracruz e Hidalgo son los que más superficie apta presentan. El factor climático es la mayor limitante para el cultivo de cáñamo en condiciones de temporal en el país.

Conclusiones: Se presenta una zonificación agroecológica para el cáñamo que muestra las regiones con aptitud para el crecimiento del cultivo. Sin embargo, es necesario que el marco regulatorio sea más claro para el cáñamo, y diferente que aquel para la marihuana.

Palabras clave: requerimientos edafoclimáticos, aptitud, factibilidad, Oaxaca.

INTRODUCCIÓN

El cáñamo, *Cannabis sativa L.*, es una planta versátil con aplicaciones industriales y medicinales. Sus orígenes se remontan a Asia, cerca del año 8000 a. C. donde se han encontrado restos del uso textil del cáñamo. También, se han encontrado vestigios de su uso en Egipto, alrededor del 4000 a. C., quienes la emplearon como alternativa del papiro en la fabricación de papel y tejidos Muriel-Páez, M., & Pullas, M. (2022). El cáñamo es fruto de controversia ya que de la misma planta se obtiene la marihuana.

Es posible señalar algunas diferencias entre cáñamo y marihuana, pero la que debe resaltar es que, el primero se refiere al tallo de la planta y el segundo al fruto, que contiene psicoactivos que son usados como droga. En este punto cabe aclarar que se utiliza el término cáñabis para referirse al contexto botánico, terapéutico, médico y clásico. El término cáñamo se reserva para el uso industrial y medioambiental, mientras que, en un contexto lúdico y recreativo, se utiliza marihuana. Dado que el cáñamo se refiere al tallo de la planta de *C. sativa*, carece de propiedades psicoactivas y no se clasifica como una droga (Huarcaya Minauro, M., & Luis Escobar Cruz, H. 2022). El contenido de tetrahidrocannabinol (THC) define los efectos psicoactivos de la marihuana. El cáñamo presenta un contenido significativamente bajo de THC, y su cultivo puede ser legal si se produce con menos de 0.3% en peso de THC.

Se han reconocido tres subespecies: *C. sativa sativa*, *Cannabis sativa indica* y *Cannabis sativa ruderalis*. Todas ellas han sido sometidas a cruces y polihíbridos, cada uno con características botánicas, requisitos de cultivo y aplicaciones particulares (Sandiego Villaverde, P. 2020). La subespecie *C. sativa indica* es la que se cultiva para aprovechar su contenido psicoactivo, por su alto contenido de THC. Se utiliza con fines recreativos y medicinales. Por su parte, la subespecie *C. sativa sativa* es la que se conoce como cáñamo industrial o cáñamo agrícola, ya que se puede utilizar para la industria de producción de papel, textiles, materiales de construcción (como bioplásticos y tableros aglomerados) y alimentos (Díaz Rojo, J. A. 2004). Las semillas, conocidas como cañamones, son ricas en proteínas y grasas, con propiedades terapéuticas.

El cáñamo está catalogado como uno de los cultivos más interesantes, en la industria textil el cáñamo es opción frente al algodón, muestra una calidad superior, siendo hasta diez veces más resistente que la fibra de algodón (Muriel-Páez, M., & Pullas, M. 2022). Se utiliza para fabricar toldos, lonas y estructuras para casetas (Arroyave Zapata, L. C., & Soto Lorza, P. Y. 2016). En la industria papelera el cáñamo presenta resistencia y durabilidad semejantes al papel tradicional obtenido de madera, y mantiene su color durante muchos años. El cultivo de cáñamo también produce celulosa anualmente. De hecho, se ha propuesto que una hectárea de cáñamo puede generar entre cuatro y cinco veces más papel que una hectárea de bosque (Hernández, Y. V. V., & Munguía, A. R. 2022).

El cáñamo también tiene potencial aplicación en la construcción sostenible. Es posible elaborar hormigón de cáñamo que ofrece beneficios como un crecimiento ecológico libre de pesticidas, protección contra diversas radiaciones y reducción de campos electromagnéticos (Brümmer, M., 2015). El cáñamo es fuente eficiente de biocombustibles, incluyendo tanto bioetanol como biodiésel (Toro Santos, M. S., & Huertas Cárdenas, S. 2021). En el ámbito agrícola, el cáñamo destaca en la fitorremediación, una técnica para sanar tierras contaminadas. Su corto ciclo de crecimiento de 100 días lo hace una opción más sostenible en comparación con otras plantas empleadas en la fitorremediación (Mariana, T. S.R 2017).

En México el cáñamo fue introducido por los españoles en el siglo XVI y tuvo su auge hacia el siglo XVIII, cuando se sembraba junto con otras fibras como lino y algodón. Para el siglo XIX decayó la producción y hacia inicios del siglo XX el cáñamo cayó en la misma prohibición que la marihuana (Florescano, 1995). Fue en 1920 que en el país se prohibió el uso de cáñamo industrial (Astorga, 2005).

En los últimos años ha resurgido el interés por el cáñamo, quizás por las tendencias globales y potenciales usos antes señalados. En el año 2017 en el país se aprobó una reforma a la Ley General de Salud que permite el uso medicinal y científico del cannabis, incluyendo al cáñamo con bajo contenido de THC (DOF, 2017). Más recientemente, en 2021 se aprobó una ley para regular el uso industrial del cáñamo, buscando proveer de un marco regulatorio para el cultivo, su siembra

y producción, así como comercialización (Cámara de Diputados, 2021). Por ello, es relevante conocer aquellas regiones que tienen potencial para ser cultivadas con cáñamo y el método de zonificación agroecológica ha mostrado ser el adecuado.

Las zonas agroecológicas se describen como aquellas que tienen una clasificación similar con base a propiedades del clima y las características del suelo, y mismo rendimiento agroecológico, mostrando la escala específica sobre las limitaciones y potencialidades para el manejo de tierras (Benacchio, 1984; FAO, 1997). Conforme a este principio, la zonificación agroecológica se define como como la delimitación cartográfica de la capacidad natural para un cultivo específico, en conformidad con las características agroclimáticas y fisio-edáficas de cada área y con las necesidades de dicho cultivo bajo ciertas condiciones ambientales (FAO, 1997).

Así, ante el potencial que tiene el cáñamo, el presente tiene como objetivo realizar una zonificación agroecológica del cáñamo para México, identificando parámetros biofísicos que requiere la planta bajo condiciones de cultivo exterior y de temporal, para encontrar zonas geográficas con aptitud, contribuyendo así al potencial desarrollo de una industria de cáñamo robusta y sostenible en el país. La hipótesis es que México cuenta con aptitud potencial de la Tierra para el cultivo en condiciones de temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología:

El trabajo consistió en cuatro etapas: identificar los requerimientos del cultivo, procesamiento cartográfico, zonificación agroecológica y verificación en campo. Son mejor descritas a continuación:

Requerimientos del cultivo:

Los requerimientos edafoclimáticos que definen el establecimiento y desarrollo del cáñamo fueron obtenidos de consulta bibliográfica. Los medios consultados

incluyeron preferentemente artículos científicos y referencias en línea, como revistas de divulgación. Las palabras clave que se definieron para la búsqueda fueron: cáñamo, zonificación de cáñamo, requerimientos de cáñamo, *C. sativa*, requerimientos del cultivo cáñamo. Las referencias bibliográficas proporcionaron los parámetros edafoclimáticos, los cuales fueron organizados y clasificados en niveles de aptitud para el cultivo.

Se elaboró un cuadro especificando los requerimientos de suelo, clima según etapa fenológica de *C. sativa*. Cabe señalar que no se consideró variedad específica, sino más bien se tomó en cuenta de forma general para la especie. Los requerimientos se clasificaron detallando tres niveles de aptitud: no apto, moderadamente apto y apto. Lo anterior siguiendo la recomendación de FAO (1997) para estudios de zonificación agroecológica.

Insumos cartográficos. Se consideró que la escala de trabajo fuera el continuo nacional a escala 1:1 000,000. Los principales insumos cartográficos a esa escala o bien, a escala 1:250,000 fueron: mapa de temperatura media anual y precipitación total media anual (CONAFOR-UACH, 2013; Monterroso y Gómez, 2021), tipos de suelos (INEGI, 2006), así como datos de profundidad del suelo, textura, pH, salinidad tomados de INEGI (2004). Los tipos de clima según Köppen modificado fueron tomados de García (2004). Toda la cartografía utilizada fue gestionada utilizando el software ArcGIS 10.8 (Esri, 2020).

Zonificación agroecológica. A partir de los requerimientos del cultivo primero se generaron mapas de aptitud por cada una de las variables. Este proceso evalúa las características edafoclimáticas individuales, pero también permite identificar los limitantes para la producción (FAO, 1997). Después, se unieron los mapas para obtener un solo mapa de aptitud para *C. sativa* en México. De este modo se delimitaron las zonas más adecuadas para el cultivo, pero también aquellas con limitantes para su producción. Cabe señalar que el criterio que se siguió fue el de cultivo bajo condiciones de temporal o sin riego.

Verificación en campo. Se visitó la comunidad de Santa Martha Chichihualtepec, Oaxaca ya que ahí se encuentra una de las organizaciones pioneras en el cultivo

y promoción de *C. sativa* en México. Se seleccionó esta comunidad ya que esta región se identificó en los primeros resultados como con aptitud favorable para el cáñamo, así como el conocimiento previo de la organización. En la región, el cultivo de *C. sativa* está experimentando un crecimiento debido a la combinación favorable de clima y suelo, así como el apoyo legal para el cultivo.

El trabajo consistió en verificar los requerimientos edafoclimáticos, así como conocer la percepción de los productores locales en la producción de cáñamo. Para lo anterior se corroboraron las condiciones del terreno y climáticas comparándolas con los requerimientos previamente identificados. Incluyó observación directa de las características del suelo y clima. Para la percepción de los productores se realizaron entrevistas abiertas a productores de la comunidad. Fueron 16 entrevistas seleccionadas bajo el método de bola nieve, que consiste básicamente en comenzar con un productor y continuar con el siguiente bajo la recomendación del primero. El cuestionario consistió en preguntas abiertas que incluían: Cuales son los principales requerimientos del cultivo que puede identificar; Cual es la motivación que hubo detrás de la toma de decisiones para cultivar esta planta; Cuales son las principales experiencias y desafíos que enfrenta durante el ciclo de cultivo y Cual es el impacto económico y beneficios que ha obtenido por la producción de este.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Requerimientos del cultivo.

En el Cuadro 1 se presentan los requerimientos edafoclimáticos para *C. sativa* en México. Se observa que el cultivo se desarrolla mejor cuando las temperaturas son entre los 20°C y 25°C así como lluvia total anual entre los 800 mm y 1200 mm. Estos datos indican que los climas que prefiere *C. sativa* incluyen aquellos templados húmedos y con fórmula Cf, Cw, y Cb según la clasificación de Köppen (García, 2004). Se destaca que el cultivo prospera en climas cálidos y secos, aunque con ciertas limitaciones.

Cuadro 2. Requerimientos edafoclimáticos para *C. sativa* y nivel de aptitud.

Tipo	Variable	Unidad	No apto	Tipo de Aptitud Moderadamente Apto	Apto	Referencia
Suelo	Profundidad del Suelo	cm	Menor a 30	De 30 a 50	Mayor de 50	Acosta, 2017; LABISER, 2021
	Textura	Adimensional	Arcillosos		Arenosos y limosos	Acosta, 2017; LABISER, 2021
	pH	Adimensional	Menor de 5.5 y Mayor de 8	de 5.6 a 6 y de 7.5 a 8	De 6 a 7.5	Acosta, 2017; LABISER, 2021; Duke, 1982
	Salinidad	Fase	Fase salina			Acosta, 2017; Werf et al., 1999
Clima	Insolación	Horas	Menor de 8 y Mayor de 13	De 8 a 9 y De 12 a 13	de 10 a 12	Werf et al., 1999; Struik, 2000; Lisson, 2000
	Temperatura	°C	Menor de 15 y Mayor de 29	De 15 a 19 y De 25 a 29	De 20 a 25	Haberlandt, 1879; Duke, 1982; LABISER, 2021
	Temperatura mínima	°C	Menor de 13	De 13 a 15	Mayor de 15	Duke, 1982; Frank 1988
	Precipitación	mm	Menor de 500 y Mayor de 1500	De 500 a 800 y De 1200 a 1500	De 800 a 1200	Duke, 1982; Ranalli 2004
	Tipo clima Koeppen	Tipo	Áridos y Fríos	Cálidos y Secos	Templado húmedo	Werf et al., 1999; Acosta, 2017
	Fórmula clima Koeppen	Adimensional	E	Am, Aw, Ax Bs, B	Cf, Cw, Cb, Ca,	Werf et al., 1999

Los criterios anteriores permitieron identificar zonas con algún grado de aptitud según cada variable para el cultivo *C. sativa*.

Aptitud para el cañamo en México.

En la Figura 5 se muestran los mapas de aptitud por cada variable edafoclimática. Las regiones clasificadas como aptas en cada mapa muestran aquellos lugares con las mejores condiciones para el cultivo. Es decir, existen pocas o mínimas limitantes según esa variable, lo que facilita la identificación del potencial ecológico para su valoración (Espinosa, J., & Roquera, A. 2007). Por otro lado, las regiones con condiciones moderadamente aptas son áreas con desafíos o limitantes importantes para la producción de *C. sativa*.

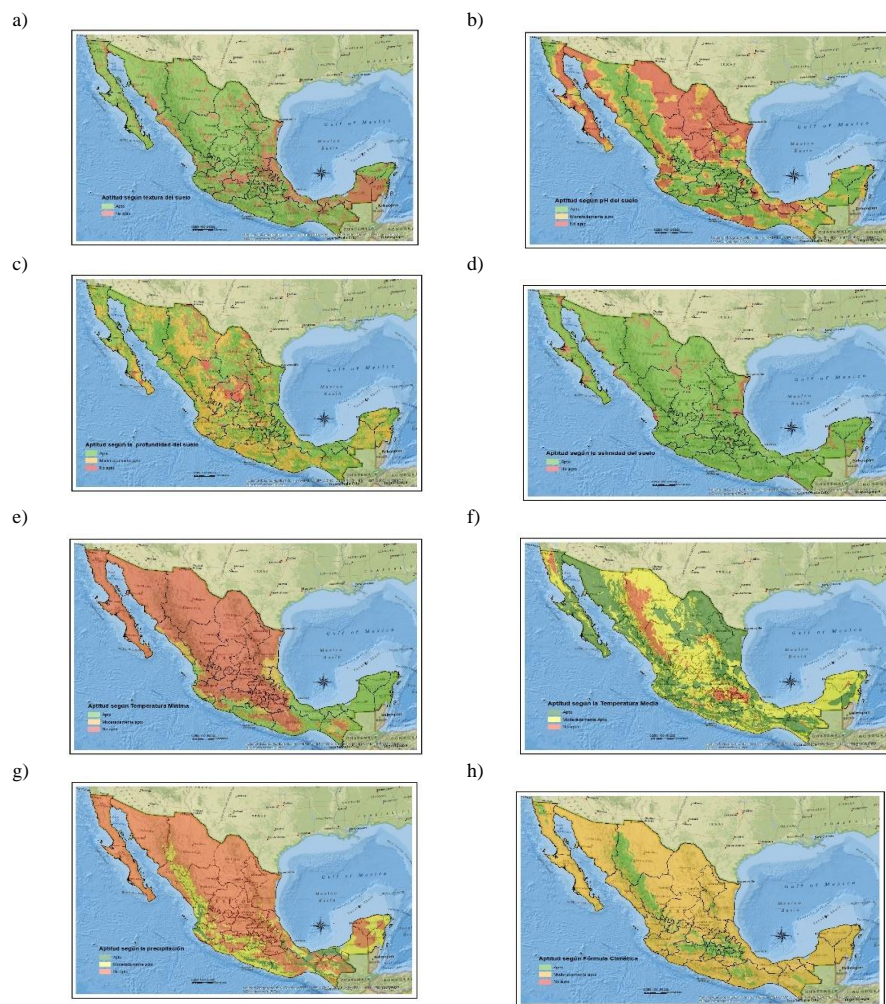


Figura 4. Aptitud para el establecimiento de *C. sativa* según a) textura del suelo, b) pH del suelo c) profundidad del suelo, d) salinidad, e) temperatura mínima, f) temperatura media, g) precipitación, h) fórmula climática.

Se observa que el suelo muestra condiciones de moderadas a aptas para la producción de cáñamo. En el caso de la textura, se obtuvo que el 69% es apto, y según el pH, el 35% tiene aptitud para el cultivo. Para profundidad y presencia de salinidad en el suelo, se encontró algún tipo de aptitud en 59% y 92% de la superficie nacional, respectivamente. Estos resultados se parecen a lo encontrado por Bart (2017) quién encontró que el suelo debe de ser suelto para que el agua pueda escurrir fácilmente y beneficie al cáñamo. Los niveles de salinidad en suelo pueden afectar al buen crecimiento de la planta. En suelo con alto contenido de arcilla puede inundarse el sistema radicular y provocar encharcamientos (Bart, 2017). Además, el valor del pH es importante porque si es demasiado alto o bajo, las plantas no podrán absorber todos los nutrientes que necesitan, lo que puede provocar deficiencias en su crecimiento. Un buen pH se encuentra entre 6 hasta 7.5 lo que permite a las plantas de cáñamo extraer adecuadamente los nutrientes del suelo (Bart 2017). En siglos pasados se destacaba la importancia de suelo profundo y bien abonados, así como la necesidad de una humedad constante para un crecimiento adecuado del cáñamo (Alexander, 2016; Lanz et al., 2016; Murnion, 2015).

Las variables climáticas mostraron ser las principales limitantes para el cultivo C sativa en México. La figura 1 muestra la aptitud que cada una de las variables por separado presenta para el cultivo. Se resalta que el color rojo o las zonas no aptas, predomina para tres variables de las cuatro analizadas: temperatura, precipitación y tipo de clima. Es decir, estas regiones tienen limitaciones climáticas para el cultivo. En particular, se encontró que el 68% y el 12% del país no es apto según temperatura mínima y media, respectivamente. Para precipitación, que es la mayor limitante, se encontró que el 89% del país no es adecuado debido a la falta de humedad por lluvias. Estos resultados son semejantes a los reportados por Bart (2017) quien señaló que el clima es uno de los principales factores que afectan el desarrollo del cultivo. En este sentido, Bart (2017) encontró que para los cultivos que se siembran al aire libre es primordial controlar las temperaturas y la exposición del sol.

El clima más adecuado para el cultivo es templado húmedo, con temperaturas diurnas entre 20 y 25°C, y una humedad relativa alta. Durante el día, la planta prospera mejor entre los 20 y 25°C, mientras que en la noche tolera entre 13 y 15°C. Si las condiciones se desvían de estos rangos, la planta puede experimentar estrés biótico, lo que reduce su rendimiento. El cáñamo es particularmente sensible a las bajas temperaturas y a las heladas tardías, especialmente en las primeras etapas de desarrollo. No se debe sembrar antes de que las temperaturas medias superen los 12°C. Aun así, Pérez (2017) menciona que la planta es capaz de sobrevivir en un rango extremo de temperaturas, desde los 2 hasta los 45°C.

La Figura 2 muestra los mapas detallados de aptitud agroclimática para *C. sativa* en México. En la caracterización de la figura 2a se muestran los principales limitantes que se tendrían en la producción de cáñamo. Es decir, hace énfasis en las zonas moderadamente aptas y que estarían señalando los insumos a ser requeridos por el cultivo, ya sean climáticos o edáficos. La caracterización es una clasificación agroclimática semidetallada para México. La mayor parte del territorio mexicano se ubica en una categorización no apta. En las zonas del suroeste y sur del país se obtuvo categorización más favorable para la plantación de *C. sativa*. Las zonas con las mejores condiciones para plantaciones se encuentran en los estados de Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Tabasco y el sur de la Península de Yucatán.

El factor climático es el que limita en gran medida la distribución del cultivo del cáñamo, de tal manera que únicamente pequeñas porciones de territorio nacional, localizadas en el sureste se consideran como aptas. Estas áreas, aunque muestran viables para el cultivo, podrían requerir un manejo agrícola, incluyendo desde la selección de las variedades del cáñamo adaptada al tipo de clima de la zona, hasta la aplicación de prácticas de manejo del suelo que mejoren su fertilidad y estructura. Estos resultados son semejantes a lo encontrado por Castaño y colaboradores (2010) quienes señalaron que para definir zonas con climas aptos para el cultivo es necesario conocer el comportamiento de las variables climáticas. Para el cultivo es importante la caracterización del régimen de heladas y es importante diferenciar las heladas meteorológicas de las heladas

agrometeorológicas (García, M. S., Leva, P. E., & Valtorta, S. E. 2008). Las primeras se producen cuando la temperatura mínima registrada en el termómetro es inferior a 0°C (Hirschhorn, 1958) y las heladas agrometeorológicas son las registradas en el termómetro ubicado a 5 cm del suelo (Shindoi, M. M., Sotelo, C. E., Galdeano, F., & Prause, J. 2003).

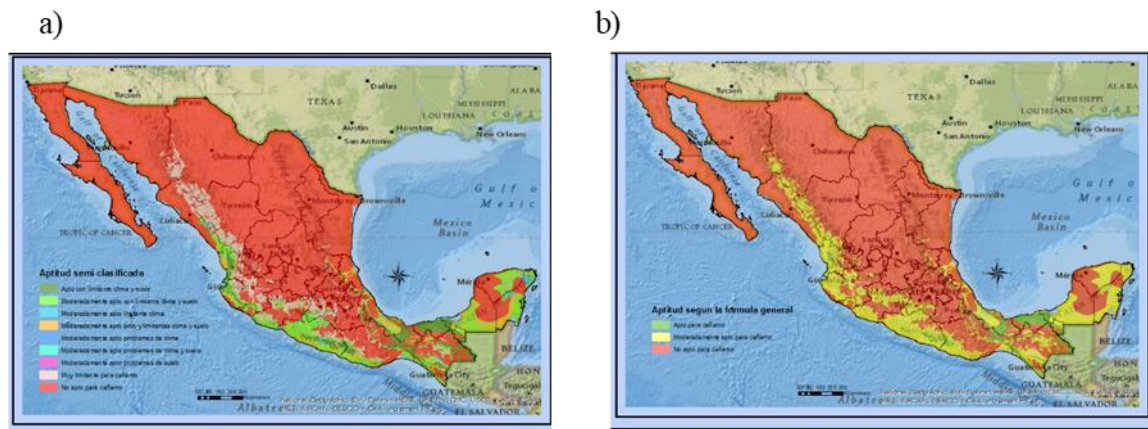


Figura 6. Aptitud agroclimática para *C. sativa* en México: a) caracterización que muestra limitantes de producción y b) mapa de aptitud general para el cultivo.

Las regiones según entidad federativa que muestran algún grado de aptitud se presentan en el Cuadro 2. Se observa que los estados de Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Veracruz e Hidalgo son los que más superficie apta presentan para el cultivo de *C. sativa*. También, los resultados indican que bajo condiciones de temporal en gran parte del norte y centro del país el cultivo de cáñamo no es apto. Lo anterior a excepción de algunos lugares reducidos y bien localizados. Lo anterior es posible identificarlo con color rojo, que cubre aproximadamente el 65% de la superficie nacional en la Figura 2.

Cuadro 3. Superficie (hectáreas) según aptitud para cáñamo por entidad federativa en México.

Entidad Federativa	Apto	Moderadamente Apto	No Apto
Aguascalientes			562,799
Baja California			7,209,132
Baja California Sur			6,910,840
Campeche	241,824	2,865,988	2,401,295
Chiapas	1,840,957	1,943,145	3,437,342
Chihuahua		1,998,162	22,975,723
Coahuila	21,267	43,523	84,524
Colima			15,076,267
Durango	29,758	270,516	254,499
Guanajuato	74,702	2,907,542	9,456,362
Guerrero		15,480	3,046,294
Hidalgo	1,055,694	4,154,930	1,092,899
Jalisco	2,927	128,676	1,948,982
México	735,116	2,650,590	4,474,491
Ciudad de México	106,728	1,137,680	989,378
Michoacán	354,356	2,513,964	2,975,369
Morelos	27,102	224,252	236,152
Nayarit	748,431	1,483,239	519,368
Nuevo León		9,502	6,402,220
Oaxaca	1,477,158	2,580,838	5,149,359
Puebla	38,995	347,578	3,042,990
Querétaro		20,554	1,147,835
Quintana Roo		2,626,539	1,578,386
San Luis Potosí		200,376	5,913,071
Sinaloa	4,126	1,554,002	3,972,714
Sonora		123,655	18,175,555
Tabasco	1,516,932	286,476	605,396
Tamaulipas		72,342	7,554,284
Tlaxcala		38,228	361,197
Veracruz	1,309,507	1,841,010	3,823,565
Yucatán		1,658,061	2,328,434
Zacatecas		112,750	7,436,148
Nacional	9,585,582	33,809,597	151,142,870

Percepción social para la producción de cáñamo.

Se visitó la comunidad de Santa Martha Chichihualtepec, en el municipio de Ejutla de Crespo en el estado de Oaxaca. Es una región donde se cultiva cáñamo, pero

también es posible encontrar cultivos de maíz, frijol, café y hortalizas. Hay ganadería y producción de artesanías locales. El turismo es una actividad en desarrollo ya que es un área en gran medida agrícola (INEGI, 2014).

En la comunidad de Santa Martha Chichihualtepec un grupo de mujeres forma parte de la Asociación Indígena de Productores de Cannabis (AIDPC). Algunas de ellas cuentan con invernaderos familiares en los que han hecho plantaciones de *C. sativa*. Oaxaca se coloca como las primeras entidades del país que impulsan el cáñamo con fines de bioconstrucción y la transformación a productos sustentables. El objetivo principal es poder proporcionar a las mujeres de estas comunidades acceso a nuevas oportunidades de trabajo, para tener otra fuente de ingresos (Ramírez, 2024).

Las observaciones en campo coinciden que las zonas identificadas en la propuesta de zonificación para el cáñamo cumplen con los criterios históricos en la comunidad. Por ejemplo, las entrevistadas indican que no es necesario utilizar fertilizantes, ni pesticidas para el control de maleza en el cultivo. Quizás el mayor desafío que señalan es el control de plagas, en este caso de roedores, que les ha generado pérdidas significativas en el rendimiento.

En la comunidad los entrevistados cuentan con autorización para la siembra de cáñamo. La autorización sanitaria N° COFEPRIS-CAS-DEREPSQ-7947-2022, que se apega al Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario para la producción, investigación y uso medicinal del cannabis y sus derivados farmacológicos (Decreto Presidencial, 12 de enero de 2021).

La variedad de cáñamo que se siembra son conocidas como Yuma, Puma 3 y Hanma, de origen chino (Isidro, 2024). Son ampliamente conocidas por su idoneidad para la producción de fibra. Son variedades con contenido inferior a 1% de THC conforme al decreto publicado en 2017 (DOF, 2017). Cabe señalar que son variedades no narcóticas y no producen algún efecto al consumirlas. Normalmente se siembra en el mes de junio y la cosecha se realiza en enero del siguiente año. Un resumen del calendario y proceso productivo se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Calendario y actividades productivas relacionadas con la siembra de cáñamo, Santa Martha Chichihualtepec, Oaxaca.

Actividad	Descripción
Fecha de siembra	Junio, en tipo de suelo Luvisol
Preparación del suelo	Se utiliza 'bocashi' (sustrato con avena) y otra mezcla que incluye levadura y melaza
Método de siembra	Con tractor y sembradora de plato grande, originalmente utilizada para maíz
Densidad de siembra	La densidad es cercana a 12,000 plantas por hectárea
Cantidad de semilla	Se sembraron 600 kg de semilla de cáñamo
Distancia entre surcos	55 cm para evitar maleza entre ellos
Eliminación de Maleza	Dos meses después de la siembra; única vez realizada
Fertilización	No se aplicó fertilizante
Plagas	La planta no tuvo plagas, pero enfrentó dificultades con chapulines en su primera etapa. Roedores.
Floración	En septiembre; los machos crecieron más que las hembras
Cosecha	A final de enero, manualmente

El municipio se ubica cercano a una zona montañosa, con riqueza en biodiversidad. Es posible encontrar bosques de pino-encino y fauna silvestre como venados. De ahí, que los entrevistados comenten que la siembra de cáñamo es una alternativa para reducir presión al bosque y conservarlo (Isidro, 2024). Comentan que la planta tiene capacidad para descompactar y remediar suelos contaminados, lo que abre posibilidad a impulsar nuevos estudios.

Los productores indican que llevan a cabo el cultivo de forma piloto, con cuidado y siendo meticulosos. Incluso, llevan registros y estadísticas. Reconocen que aún persiste un vacío legal en el control del cáñamo, a pesar de no poseer niveles psicoactivos debe ser regulado de manera diferente que la marihuana (Ramírez, 2024). Comenta el coordinador del proyecto: *“Estamos trabajando para explicar esta situación a las autoridades pertinentes y obtener las autorizaciones necesarias para continuar con nuestro cultivo”*.

La percepción de los productores es que el cáñamo tiene alto potencial de uso y beneficios socioeconómicos para las comunidades. Particularmente hacen mención a la reciente legislación que permite su uso industrial. Esta normativa abre nuevas oportunidades para aprovechar los beneficios de esta planta, como

en la industria textil y de construcción (Figura 3). Es posible tener acceso a materia prima de alta calidad a la vez que se fomentan las economías locales. Recientemente se sabe del surgimiento de mas iniciativas en diferentes partes del país, como en el estado Morelos y en Yucatán. Algunos de ellos enfrentan dificultades propias de su región, como la ausencia de lluvia o riego. En el caso de la comunidad de Santa Martha Chichihualtepec, en el municipio de Ejutla de Crespo, han logrado sortear esos obstáculos de manera efectiva. El futuro es aún incierto, pero ellos continuarán cultivando y demostrando que el cáñamo es viable para México.



Figura 7. Productos obtenidos de *C. sativa*: hilo cáñamo (izquierda) y maletín (derecha).

CONCLUSIONES

El objetivo de zonificar el país agroecológicamente, para conocer si el cáñamo tiene aptitud en México se alcanzó. Se mostró información relevante sobre las áreas mas aptas para este cultivo, considerando variables del clima y suelo. Se encontraron regiones con algún grado de aptitud, aquellas que cumplen con los requisitos edafoclimáticos necesarios para el crecimiento del cáñamo. Estos hallazgos hasta ahora desconocidos son relevantes para impulsar la producción, pero también para fomentar el desarrollo de esta industria, particularmente en regiones con potencial natural.

Los resultados también se alinean con el conocimiento histórico y tradicional que mostraron los productores que ya siembran el cáñamo en la región central de

Oaxaca. Sin embargo, es necesario que el marco regulatorio sea mas claro para el cáñamo, y diferente que aquel para la marihuana. El cáñamo, al no tener sustancias psicotrópicas, presenta potencial de uso en diversas industrias.

Las propiedades del cáñamo y su uso potencial aún deben ser estudiado por diversas ramas, lo que abre un potencial de trabajos futuros. Los fabricantes de ropa y vehículos requieren conocer sus desempeños, así como los agrónomos y edafólogos el potencial para restaurar suelos contaminados y degradados.

A medida que la tecnología y la legislación en la materia continúa evolucionando es esperable que el cáñamo juegue cada vez un papel más importante en la industria nacional.

LITERATURA CITADA

- Antoine, J. (1994). Vinculación sistemas de información geográfica (SIG) y los modelos de zonas agroecológicas (ZEE) de la FAO valoración de los recursos de la tierra. En Actas del taller regional sobre Metodología y Aplicaciones de las Zonas Agroecológicas (pp. 35-52). FAO.
- Antonio, J., & Rojo, D. (2003). Las denominaciones del cáñamo: Un problema terminológico y lexicográfico. s.l., s.e.
- Arroyave Zapata, L. C., & Soto Lorza, P. Y. (2016). Fibra natural de cáñamo con aplicación en una línea de accesorios de moda.
- Astorga, L. (2005). El siglo de las drogas: El narcotráfico, del Porfiriato al nuevo milenio. *Revista Mexicana de Sociología*, 67(1), 197-222.
- Bart, B. (2017). Traído para ti por Soft Secrets: Cultivo para novatos. s.l., s.e. Disponible en <https://www.seedsdirect.to>
- Benacchio, S. (1984), Zonificación agroecológica de cultivos en áreas bajas del trópico húmedo de Venezuela, Simposio do Trópico Umido Pará, Brasil, pp. 2-17.
- Bioline. (2022). Cáñamo - Bioline Iberia: España, Portugal y Marruecos. Bioline. <https://biolineagrosceienceses.com/canamo/> (Consultado el 29 de agosto de 2024).
- Brümmer, M. (2015, junio 1). El cáñamo en la construcción. Ecohouses.es. <https://www.ecohouses.es/wp-content/uploads/2015/06/el-canamo-en-la-construccion.pdf>
- Cámara de Diputados. (2021). Dictamen con proyecto de decreto por el que se expide la

- Ley Federal para la Regulación del Cannabis.
- Cámara, I. L. (2017). Cultivo y usos etnobotánicos del cáñamo (*Cannabis Sativa L.*) en la ciencia árabe (siglos VIII-XVII). *Asclepio*, 69(2), p197-p197.
- Chiquito, M. (2020). Bioseguridad, inocuidad y fitosanidad en el cultivo de cáñamo industrial en la costa ecuatoriana. Consultado el 27 de agosto de 2024.
- Comisión Nacional Forestal, & Universidad Autónoma Chapingo. (2013). Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación: Informe final. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo.
- Contratiempo. (2019). Breve historia del cáñamo. *Contratiempo*. <https://contratiempo.org/breve-historia-del-canamo/> (Consultado el 30 de agosto de 2024).
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2017). Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General de Salud y del Código Penal Federal.
- Díaz Rojo, J. A. (2004). Las denominaciones del cáñamo: un problema terminológico y lexicográfico.
- Espinosa, J., & Roquera, A. (2007). Zonificación agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en las provincias de: Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua. *Revista Rumipamba*, 21(1), 54-56.
- FAO (1997), Zonificación Agroecológica. Guía general Roma, 9-16 p.
- Florescano, E. (1995). *Historia General de México* (5.ª ed.). El Colegio de México.
- Fuentes Pérez, E., & Acurio Arcos, L. (2020). El cáñamo (*Cannabis sativa L.*) para uso industrial y farmacéutico: Una visión desde la industria alimentaria. *CienciAmérica*, 1-
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (5.ª ed.). UNAM.
- García, M. S., Leva, P. E., & Valtorta, S. E. (2008). Caracterización del régimen agroclimático de heladas para la provincia de Santa Fe durante el período 1979-2004. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 28(1), 53-26.
- Gutiérrez, C. (2020). El potencial del cáñamo industrial en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 24(46), 123-138.
- Hernández, R., Sampiere, F., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Hernández, Y. V. V., & Munguía, A. R. (2022). Chaya: fuente emergente de potencial nutraceútico y funcional. *Tlatemoani: revista académica de investigación*, 13(40),

140-151.

- Hirschhorn, E. (1958). Simplificación de una clase de funciones booleanas. *Revista de la ACM (JACM)*, 5(1), 67-75.
- Huarcaya Minauro, M., & Luis Escobar Cruz, H. (2022). Regulación normativa del uso del cáñamo y sus derivados, para fines industriales en el Perú.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2004). Información nacional sobre perfiles de suelo (versión 1.2). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). Encuesta Nacional Agropecuaria 2014. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825073923>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2006). Mapa edafológico de México: Escala 1: 250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Isidro. (2024, marzo). Proyecto de "Asociación Indígena de Productores de Cannabis, Oaxaca". Comunicación personal.
- Laursen, L. (2015). The cultivation of weed. *Nature*, 525(24), 4-5.
- Lozano Cámara, I. (1996). Terminología científica árabe del cáñamo. En C. Álvarez de Morales (Ed.), *Ciencias de la naturaleza en al-Andalus: Textos y estudios* (pp. 147-164). CSIC-Escuela de Estudios Árabes.
- Lozano Cámara, I. (2017). Cultivo y usos etnobotánicos del cáñamo (*Cannabis sativa L.*) en la ciencia árabe (siglos VIII-XVII). *Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*, 69(1), 1-12. <https://doi.org/10.3989/asclepio.2017.01>
- Lozano Cámara, I. (1996). Análisis de la terminología árabe sufí conectada con el uso ritual del cáñamo. *Anaquel de Estudios Árabes*, VII, 87-108.
- Mariana, T. S. R. Cáñamo, sustentabilidad a través de la agricultura en México y su implicación global en la cooperación entre países.
- Monterroso-Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana*, 39, e774. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- Muriel-Páez, M., & Pullas, M. (2022). El cáñamo, una fibra textil sostenible. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 12155-12182.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2019). El cáñamo industrial como oportunidad para el desarrollo sostenible
- Ramírez, D. (2024, marzo). Coordinador de proyecto de "Asociación Indígena de Productores de Cannabis, Oaxaca". Comunicación personal.
- Sandiego Villaverde, P. (2020). Técnicas de extracción y caracterización de

cannabinoides a partir de la planta de *cannabis sativa L.*

Shindoi, M. M., Sotelo, C. E., Galdeano, F., & Prause, J. (2003). Régimen de Heladas para el área de influencia de Colonia Benítez (Chaco).

Toro Santos, M. S., & Huertas Cárdenas, S. (2021). Obtención y caracterización de biodiesel a partir de aceite de *Cannabis Sativa L.*(Cáñamo) (Bachelor's thesis, Ingeniería Química).

CAPITULO 4 CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

Labiser (2019) menciona que la temperatura óptima para el cultivo *del Cannabis sativa* L oscila entre los 17 y 25 °C, y la nocturna no debe ser inferior a 12 °C. Sin embargo, la mayoría de los expertos en este tema sugieren que el rango ideal es de 15 a 19 °C para asegurar un crecimiento óptimo del cultivo y evitar el estrés de la planta (Haberlandt, 1879; Duke, 1982;), lo que podría convertirse en una limitante si estas condiciones varían significativamente.

Al analizar las variables edafoclimáticas para este cultivo, como la temperatura y la precipitación, se observa que esta última ejerce la mayor influencia sobre la aptitud para cáñamo (Brendel, Bohn, & Piccolo, 2017). En condiciones naturales, si la precipitación es inferior a 500 mm, el cultivo no podrá prosperar. En cuanto a la temperatura, no se detecta una influencia tan marcada; en México, el clima es relativamente estable para el cáñamo, con temperaturas que no alcanzan extremos prolongados (Acosta, 2017). Además, no se han observado efectos adversos causados por temperaturas elevadas. Diversos autores coinciden en que el rango óptimo de temperatura para *Cannabis sativa* L. es no menor a 13 °C (Duke, 1982; Frank 1988).

En cuanto a la precipitación, algunos autores sugieren que el cáñamo requiere una media anual de entre 800 y 1000 mm (Duke, 1982; Ranalli 2004), mientras que otros indican que su necesidad oscila entre los 500 y 1500 mm anuales, siempre que esté bien distribuida (Duke, 1982; Ranalli, 2004). En muchas zonas, la distribución de las precipitaciones apenas alcanza los límites inferiores de estos valores. También se destaca que el potencial de rendimiento del cultivo aumenta significativamente cuando se desarrolla en condiciones óptimas de lluvia y temperatura (Werf et al.,1999).

A partir de este análisis, se estableció un primer nivel de zonificación, definido principalmente por la temperatura media y la precipitación, siendo esta última un

factor clave dentro del rango óptimo para la especie.

En estas condiciones naturales, se priorizan las áreas con niveles adecuados de precipitación como la variable más determinante. Otro aspecto crucial para la zonificación es, sin duda, el tipo de suelo, cuya aptitud para el cultivo se define primero por sus características físicas (LABISER, 2021). En segundo lugar, es esencial considerar la profundidad efectiva del suelo, dado que el cáñamo requiere suelos con una profundidad entre 30 y 50 cm (Acosta, 2017). En el caso de México, se determina que los suelos deben tener una profundidad mínima de 30 cm para ser considerados aptos para el cultivo (Acosta, 2017).

En América se han realizado varios estudios de zonificación, aunque no se cuenta con referencias específicas para el cultivo de cáñamo en México. Este enfoque se considera el más completo, ya que integra diversos factores clave. En uno de estos estudios, se recopiló información sobre los suelos de un distrito, se realizó un análisis climático de temperaturas y precipitaciones, y se evaluaron los requerimientos del cultivo según rangos de aptitud (Prakash, 2011; Kunah et al., 2018; McCarl et al., 2001).

Lo más destacado de esta metodología es que se ha desarrollado con base en referencias bibliográficas validadas en zonas donde se cultiva cáñamo bajo diferentes condiciones agroecológicas. Además, ha sido aplicada exitosamente en la zonificación agroecológica del *Cannabis sativa* en el país (FAO, 2019) y puede adaptarse para la zonificación de otros cultivos, siempre que se definan los requerimientos agroecológicos específicos de cada especie. La verificación de campo en la comunidad de Santa Martha Chichihualtepec permitió observar que el cultivo de cáñamo se ha convertido en una fuente importante de ingresos para la comunidad. A pesar de que esta región presenta condiciones favorables para el cultivo, los resultados que se obtuvieron en el mapa final con base en nueve variables detectaron que esta zona no es adecuada para la siembra. A pesar de eso, el cáñamo se produce exitosamente en esta localidad, sin embargo, se está llevando la práctica, el cáñamo se ha venido cultivando exitosamente en esta zona

de Oaxaca, lo que nos indica que a nivel local, las condiciones edafoclimáticas permiten el crecimiento de la planta. Por consiguiente, los mapas generalizados pueden no siempre reflejar las realidades locales, por lo que es esencial llevar a cabo un análisis más detallado del potencial del cáñamo en México. Además de esto, se demuestra que el cultivo de cáñamo es una herramienta de empoderamiento para las mujeres ya que ellas lo producen y lo comercializan.

CONCLUSIONES

El uso de la metodología de la ZAE junto con los sistemas de información geográfica (SIG) han cumplido en la zonificación del cultivo del cáñamo permitiendo así la detención de las zonas aptas, moderadamente aptas, no aptas para el cultivo.

Este estudio técnico contribuye a los planes de ordenamiento territorial en México, facilitando hacer una planificación mas adecuada en las zonas productoras.

Para que el cultivo de cáñamo tenga un buen desarrollo en zonas identificadas como aptas dependerá mucho de la colaboración entre los actores como productores, gobierno, investigadores e ingenieros para así asegurar que la política y los programas públicos promuevan un enfoque inclusivo del cultivo. Este enfoque tiene un gran potencial a largo plazo beneficiado tanto al ámbito económico como social.

Esta tesis aporta un enfoque innovador al análisis de la zonificación agrícola mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG), lo cual mejora la precisión en la identificación de áreas adecuadas para el cultivo de cáñamo.

Los hallazgos de este estudio son relevantes para el sector agrícola y las políticas de desarrollo rural, ya que permiten identificar regiones con alto potencial para el cultivo de cáñamo, que podrían favorecer la diversificación agrícola y la sostenibilidad económica.

Es fundamental que las autoridades nacionales colaboren para desarrollar una normativa específica para el cultivo de cáñamo, ya que actualmente se regula bajo el mismo marco legal que la marihuana, lo cual genera limitaciones y confusiones.

RECOMENDACIONES

- Emplear la metodología multicriterio para la zonificación agroecológica sobre el cáñamo o cualquier otro cultivo, considerando factores como clima, tipo de suelo, entre otros para así maximizar el rendimiento del cultivo
- Utilizar los resultados de la investigación como un aporte valioso para los programas de desarrollo para el campo, promoviendo la reactivación agropecuaria y la diversificación del cultivo.
- Se recomienda fomentar la investigación sobre este cultivo para así mejorar las prácticas para su manejo, especialmente para la conservación del uso del suelo, la gestión de agua y también la integración en el enfoque agroecológico para así promover la biodiversidad en México.
- Creación de una red del conocimiento entre los investigadores, productores, gobierno y los actores del mercado para así garantizar que las investigaciones realizadas sean difundidas ampliamente, potenciando así el sector del cáñamo en México.

LITERATURA CITADA

- Acosta, X. (2001). Agroecología del cáñamo. *La Fertilidad de la Tierra: Revista de agricultura ecológica*, 6.
- Acosta de la Luz, L. (2003). Principios agroclimáticos básicos para la producción de plantas medicinales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 8(1), 0–0.
- Antoine, J. (1994). Vinculación sistemas de información geográfica (SIG) y los modelos de zonas agroecológicas (ZAE) de la FAO: Valoración de los recursos de la tierra. En Actas del taller regional sobre Metodología y Aplicaciones de las Zonas Agroecológicas (pp. 35-52). FAO.
- Brendel, A., Bohn, V. Y., & Piccolo, M. C. (2017). Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina).
- Fassio, A. (2013). BD 103. Cáñamo (*Cannabis sativa* L.) – Latu. Cáñamo (*Cannabis sativa* L.). Disponible en: https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2348 (Consultado el 21 de agosto de 2024).
- LABISER. (2021, 17 de mayo). Cómo cultivar cáñamo. Labiser. <https://www.labiser.com>