

Análisis comparativo entre los cultivos de cannabis indoor y outdoor en Colombia

Elaborado por:

Jenny Fernanda Prada Peña

Angélica Gómez Corzo

Cristian Esteban Alarcón

Andrés Felipe Molina Peña

Universidad EAN

Especialización en Gerencia de Proyectos

Seminario de Investigación de Postgrado

Bogotá

2023

Resumen

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo hacer un análisis comparativo entre los cultivos outdoor y los cultivos indoor en Colombia teniendo en cuenta factores como el impacto ambiental, las propiedades fisicoquímicas de los diferentes tipos de cultivo y a partir de estos evaluar el desarrollo de estrategias que permitan el uso de recursos o tecnologías maximizando el beneficio a los cultivadores. Basándonos en un modelo comparativo que permita tener un panorama asertivo y realista del funcionamiento de estos.

Palabras clave: Cultivos de cannabis, impacto ambiental, viabilidad, sostenibilidad, indoor, outdoor.

Tabla de contenido

Resumen.....	2
Problema de Investigación.....	5
Objetivos	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Justificación.....	9
Marco Teórico	10
Cultivos en exterior (“outdoor”).....	11
Cultivos en interior (“indoor”).....	13
Diferencias entre cultivos Indoor y Outdoor	15
Ventajas y desventajas entre cultivos interior (“Indoor”) y exterior (“Outdoor”) a alto nivel ...	17
Metodología	19
<i>Enfoque, alcance y diseño de la investigación</i>	19
<i>Definición de Variables</i>	20
Definición conceptual y Operacional.....	21
<i>Población y Muestra</i>	22
Segundo nivel	23
<i>Selección de métodos o instrumentos para recolección de información</i>	23
Entrevista	23
Revisión de Literatura	24
Encuesta a cultivadores.....	25
<i>Técnicas de análisis de datos</i>	25
Análisis de Contenido	26
Análisis Descriptivo	26
Análisis Narrativo	27
Análisis Cualitativo	27
Análisis y discusión de los resultados	28
Condiciones del suelo	28
Consumo de recursos (agua y energía).....	32
Condiciones meteorológicas	35
Control de plagas y enfermedades	38
Análisis de costos.....	41
Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la flor.....	42

Posibles alternativas de sostenibilidad en los cultivos de cannabis	44
Conclusiones.....	45
Recomendaciones y Sugerencias	47
Referencias	48
ANEXOS	53
ANEXO 1. Modelo de entrevista a expertos	53
ANEXO 2. Modelo de encuesta	56
ANEXO 3. Resultados encuesta	62

Lista de figuras

Figura 1 Uso de energía en la producción de cannabis	6
Figura 2 Niveles de PH (Hanna Colombia, 2022)	29
Figura 3 Disponibilidad de nutrimentos y el pH del suelo (Intagri, 2021).....	30
Figura 4 Rango de concentración de acidez o alcalinidad.....	31
Figura 5 Distribución de licencias de cultivos en Colombia	36
Figura 6 Estudio sobre rendimiento del cultivo de cannabis en región Andina	37
Figura 7 Años de experiencia de los expertos	62
Figura 8 Tipos de cultivo.....	62
Figura 9 Control de cultivos	63
Figura 10 Costos de producción.....	64
Figura 11 Presupuesto.....	64
Figura 12 Impacto ambiental	65
Figura 13 Fuentes de consumo cultivos outdoor	65
Figura 14 Fuentes de consumo cultivos indoor.....	66
Figura 15 Diferencias en cultivos debido a patógenos y microorganismos	66
Figura 16 Ciclo de crecimiento de las plantas.....	67
Figura 17 Selección de cultivo.....	67
Figura 18 Prácticas de los cultivos para reducir el impacto ambiental	68

Lista de tablas

Tabla 1 Diferencias entre cultivos indoor y outdoor	16
Tabla 2 Ventajas y desventajas entre cultivos Indoor y Outdoor	17
Tabla 3 Definición conceptual y operacional de variables	21
Tabla 4 Consumo de agua por tipo de clima.....	33
Tabla 5 Diferencia entre control químico y biológico.....	38
Tabla 6 Resumen comparativo de variables entre tipos de cultivo.....	39

Problema de Investigación

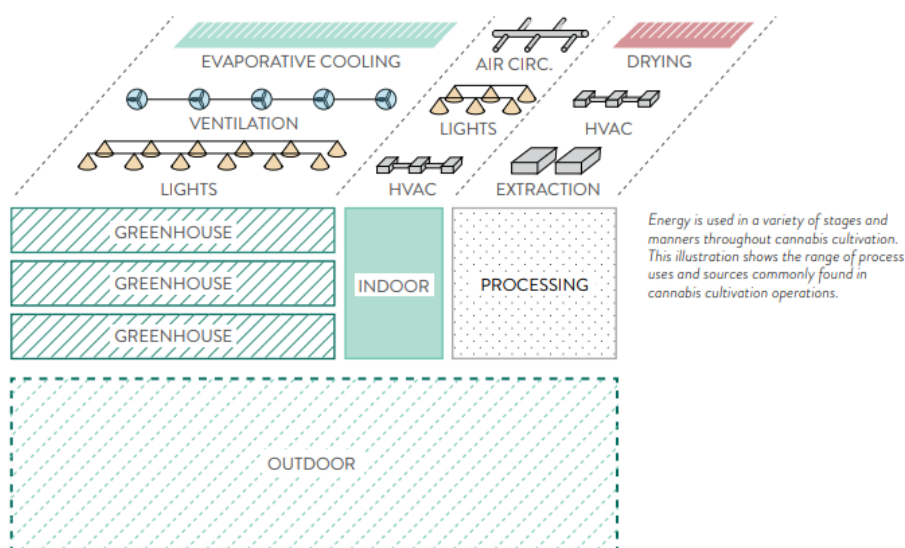
Actualmente la industria del cannabis ha presentado un crecimiento económico en Colombia, a pesar de ser una industria nueva se ha observado un aumento en la fabricación de productos a base de esta planta. Se ha evidenciado un desarrollo regulatorio para las compañías quienes desean incursionar en el mercado de cannabis, por ejemplo, para la fabricación de derivados de cannabis, licencias de semilla para siembra y grano, etc. Entre esta se encuentra la resolución 315 de 2020 la cual clasifica los productos farmacéuticos elaborados del cannabis que son de control especial, el decreto 811 de 2021 el cual reglamenta el seguimiento y control a las actividades de cultivo, producción, fabricación y uso de títulos para almacenamiento de cannabis psicoactivo, derivados no psicoactivos del cannabis para fines industriales, alimenticios, hortícolas, adicionales a los médicos y científicos, entre otras. (*ABC DE LA INDUSTRIA DEL CANNABIS EN COLOMBIA*, s. f.)

De acuerdo con el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), se han inscrito 740 cultivadores de cannabis los cuales se pueden sembrar en diversas regiones del país, así mismo Colombia cuenta con más de 438 registros como productores de semillas seleccionada y el mercado del cannabis cuenta con permiso de admisión en Estados Unidos, Canadá, Uruguay, Perú, Argentina y Reino Unido (*El ICA, soporte de la producción y exportación del creciente negocio del cannabis medicinal | ICA*, s. f.). A pesar de estos avances en el mercado de cannabis, las compañías han vivido retos debido a la incursión en un nuevo mercado y la mayoría no cuentan con la experticia necesaria en la producción y transformación de esta planta, lo que representan un gran consumo de energía, agua, pesticidas para controlar plagas y les dificulta obtener una producción sostenible.

Se ha observado que el cultivo de cannabis se está desarrollando en exteriores (outdoor), pero también se evidencia un crecimiento en el cultivo indoor (Wartenberg, 2021), estos tipos

de producción representan un mayor impacto, por ejemplo, el cultivo indoor requiere una combinación de sistemas de iluminación en procesos de control de temperatura y humidificación, usos de fertilizantes para su proceso de producción y agua para la hidratación de estos cultivos. En el proceso de producción outdoor existe un menor consumo de energía, pero el desaprovechamiento de estos recursos genera un daño al ecosistema. (New Frontier Data, 2022)

Figura 1 Uso de energía en la producción de cannabis (New Frontier Data, 2022)



Obtenido de : *The Cannabis Energy Report: The Current and Evolving State of Cannabis Energy Consumption*. New Frontier Data, 2018

Estos sistemas han generado problemas de contaminación en componentes orgánicos que ayudan en la formación de ozono, el consumo del agua es otro factor que afecta la sostenibilidad del medio ambiente, ya que el cultivo indoor consume más de 2 millones de litros de agua al año y en el caso de los outdoor se consume la mitad de los indoor. (Thc, 2021).

El uso de pesticidas es otro factor que afecta no solo a la sostenibilidad ya que conlleva a impactos en ecosistemas terrestres y acuáticos, sino que genera impactos en la salud humana. De acuerdo con el laboratorio de análisis y muestreo Hidrolab “Las personas que entran en contacto con los agentes tóxicos de los plaguicidas o pesticidas, pueden presentar intoxicaciones agudas, subagudas o crónicas, en el caso del cannabis este puede variar su composición física y química.” (Hidrolab, 2022).

Por todo lo anterior, es necesario realizar una investigación entre la diferencia de los cultivos indoor y outdoor de cannabis en Colombia, con el fin de diseñar diversas estrategias que proporcionen a las empresas herramientas para responder a: *¿Cuál es el impacto de los métodos de cultivo indoor y outdoor en la calidad y sostenibilidad para los cultivos de cannabis en Colombia?*

Objetivos

Objetivo general

Realizar un análisis comparativo del impacto ambiental y las propiedades fisicoquímicas de cannabis en los cultivos indoor y outdoor, con el fin de desarrollar estrategias para el uso de los recursos ambientales y tecnológicos.

Objetivos específicos.

- Identificar las principales diferencias entre los modelos de cultivos de cannabis indoor y outdoor.
- Evaluar los impactos ambientales que generan las dos modalidades de cultivos de cannabis outdoor e indoor a nivel nacional.
- Evaluar las variaciones de las propiedades microbiológicas y fisicoquímicas en la planta de cannabis con ambos tipos de cultivo indoor y outdoor.
- Proponer posibles alternativas de mejora en los dos cultivos outdoor e indoor para reducir el impacto ambiental y mantener las condiciones óptimas para la producción de cannabis.

Justificación

La evaluación de los cultivos de cannabis en Colombia, tanto en su modalidad outdoor (al aire libre) como indoor (en espacios controlados), toma importancia trascendental en múltiples dimensiones. En primer lugar, Colombia se ha convertido en un actor clave en la producción de cannabis a nivel mundial, gracias a sus condiciones climáticas y geográficas. Desde una perspectiva económica ha abierto un mercado en crecimiento generando fuerza de trabajo e ingresos fiscales. En segundo lugar, la calidad y seguridad del producto final también son factores cruciales, ya que, en un contexto de creciente regulación y demanda de productos de cannabis de alta calidad, conocer las diferencias entre el cultivo outdoor e indoor es esencial para garantizar la satisfacción y la seguridad de los consumidores. Sin olvidar que la sostenibilidad o conciencia ambiental en este tipo de cultivos se debe desarrollar de manera responsable y respetuosa.

En resumen, evaluar los métodos de cultivo de cannabis en Colombia es esencial para optimizar su producción, garantizar la calidad y seguridad de los productos, contribuir al desarrollo sostenible de esta industria en rápido crecimiento y analizar en mayor proporción como afecta la cadena de valor de cannabis en Colombia.

Marco Teórico

El panorama en América latina sobre los cultivos de cannabis ha experimentado notables cambios en las últimas décadas, debido a la legalización del cannabis como uso medicinal y recreativo. En octubre 2020 países como Uruguay, Canadá ,doce estados de Estados Unidos empezaron a comercializar cannabis recreativo y treinta y seis países cannabis medicinal (Bahji , 2019). Estos desarrollos han creado oportunidades y desafíos nacionales e internacionales y se espera que el tamaño del mercado latinoamericano de cannabis alcance 44.8 billones de dólares para el 2025 (Statista Research Department, 2023).

Colombia es el país Latinoamericano con más popularidad y atención de inversión extranjera para la producción de cannabis, sin embargo, a partir del año 2020 ha presentado altibajos. Lo anterior, se debe a que se ha detenido el capital extranjero invertido en la región, como por ejemplo el de las empresas canadienses CANOPY GROWTH y APHIRA. La razón de esto es que, actualmente, es más desafiante obtener licencias de producción, terrenos, equipos y un plan de comercialización nacional (Marijuana Business Daily International, 2020).

Pese al anterior panorama, el país avanza con la implementación del decreto 811 del 2021, visibilizando los diferentes usos de cannabis en Colombia adicionales a los medicinales. Tales como la fabricación de fibras, bebidas, alimentos, biocombustibles, y suplementos dietarios producidos en el país. Paralelamente Colombia avanza en la exportación de flor de uso medicinal y continúan siendo inexistentes las exportaciones de THC. En el 2019 y 2020, las empresas exportaron los primeros aislados y extractos de CBD sin límites de producción y el primer batch de semillas (Marijuana Business Daily International, 2020). En Colombia se han otorgado más de 600 licencias de cultivos para cannabis psicoactivo, no psicoactivo, semillas y derivados de cannabis. Incentivando su producción gracias a que Colombia tiene condiciones

de crecimiento ideales y una ventaja regional como la geografía, el clima, el costo de la mano de obra y los insumos. Del mismo modo, esto se vivió en los años 60 y 70, donde logró ser el primer proveedor mundial de marihuana, circulando cantidades colosales de dinero a través del narcotráfico, esta época es conocida como la 'Bonanza Marimbera'. (Martínez, 2019).

La producción de cannabis se inicia a partir de la siembra de semillas o la utilización de esquejes, en donde la producción se puede desarrollar a través de tres métodos principales de cultivo llamados invernadero, exterior ("outdoor"), e interior ("indoor").

Cultivos en exterior ("outdoor")

El cultivo outdoor es un método tradicional del cultivo de cannabis, este tipo de producción se caracteriza por cultivar al aire libre, en un entorno natural aprovechando las condiciones naturales del ambiente como lo son la luz solar, lluvia y aire para el crecimiento del cultivo. (Zheng, 2021)

Para realizar el cultivo del cannabis se debe tener en cuenta los aspectos que lo afectan cómo lo son el uso de luz solar en donde los cultivos de cannabis dependen de la luz solar para realizar su proceso de crecimiento, por lo que la ubicación geográfica del cultivo es importante y determina el éxito de la producción. Así mismo, estos cultivos pueden presentar variaciones de acuerdo con las condiciones climáticas en las cuales sean cultivados, ya que pueden presentar variaciones en su temperatura, humedad, entre otros factores, por ejemplo, en un clima cálido se puede cosechar una variedad de cannabis Sativa, donde el cultivo presenta grandes ramificaciones y el cultivo en exterior es el propicio para este tipo de plantas, en climas lluviosos es propicio cultivar plantas con ciclo de vida corto y en climas fríos será necesario optar por cultivo de plantas auto florecientes. (Cannabis, 2020)

Del mismo modo, Los cultivos realizados en este tipo de espacio (outdoor) tienen la ventaja de crecer en suelo natural, por lo que es importante conocer las propiedades fisicoquímicas

cómo PH, nutrientes, temperatura, capacidad de retención de humedad, entre otros, para asegurar a la adecuada producción de la planta (HANNA Instruments Colombia, s. f.).

El cultivo en exterior se considera una opción apropiada para cultivos a gran escala debido a varias razones. En primer lugar, no requiere una inversión significativa en equipamiento especializado, lo que reduce los costos iniciales y la complejidad operativa. Esto hace que el cultivo en exterior sea una elección popular para empresas agrícolas que buscan maximizar la eficiencia en la producción.

Además, el espacio disponible en entornos al aire libre permite que las plantas de cannabis crezcan a un tamaño considerablemente mayor en comparación con los cultivos en interiores. Las plantas pueden aprovechar la luz solar directa, lo que fomenta un crecimiento más robusto y una mayor producción de flores. Esta ventaja en el tamaño de las plantas se traduce en una mayor cosecha y, en última instancia, en un rendimiento económico más favorable para los cultivadores a gran escala.

Otro beneficio del cultivo en exterior es que permite un mayor aprovechamiento de los recursos naturales, como la luz solar y el aire fresco. Esto puede reducir aún más los costos operativos, ya que se minimiza la necesidad de electricidad y equipo de control ambiental. Además, el cultivo al aire libre puede ser más sostenible desde el punto de vista ambiental, ya que no implica el uso intensivo de recursos energéticos. (Loteró, 2021)

Una de las principales desventajas que presenta esta modalidad de cultivo (“outdoor”) es su alta vulnerabilidad a los factores climáticos, lo que la convierte en una técnica sumamente desafiante de dominar. La producción al aire libre está intrínsecamente ligada a condiciones climáticas y ambientales impredecibles, lo que significa que los cultivadores tienen menos control sobre el entorno en comparación con otros métodos de cultivo más controlados.

Depender en gran medida de condiciones externas como la temperatura, la humedad, las precipitaciones y la intensidad de la luz solar puede llevar a una serie de desafíos imprevistos.

Por ejemplo, un período de lluvias excesivas podría provocar el desarrollo de moho o hongos en las plantas, mientras que una ola de calor prolongada podría estresar y dañar los cultivos. Además, eventos climáticos extremos como tormentas, granizo o sequías pueden tener un impacto devastador en la cosecha. (Fernández, 2022).

Cultivos en interior (“indoor”)

Partiendo de la información planteada en la descripción de cultivos en exterior ("outdoor"), el cultivo de cannabis involucra una relación fundamental entre la luz solar y la variación estacional. La planta de cannabis utiliza estos factores ambientales para determinar su ciclo de crecimiento y floración, respondiendo al cambio en la duración de los días y la intensidad de la luz. No obstante, existe un mundo aparte donde el sol no es un factor común y allí es donde toma importancia un reino de luces artificiales. Este mundo pertenece a los millones de cultivos de cannabis en interiores ("indoor"), donde las lámparas de diferentes tipos sustituyen la luz solar y orquestan el ritmo de vida de estas plantas. Dentro de este ámbito, se encuentran una variedad de sistemas de iluminación, cada uno con sus propias particularidades, diseñados para adaptarse a diferentes necesidades de cultivo. En este contexto, la luz artificial se convierte en el motor que impulsa el crecimiento y desarrollo de las plantas de cannabis, un tema central en la investigación de cultivos de interior. (Zapata, 2019)

El cultivo en interior ofrece numerosos beneficios, ya que permite un control preciso de las condiciones ambientales, como iluminación, agua, humedad, temperatura y niveles de CO₂, de acuerdo con las necesidades de la planta. Esto reduce significativamente los riesgos relacionados con el clima y la aparición de plagas y enfermedades, convirtiéndolo en un método de cultivo muy seguro. Además, se puede adaptar el cultivo para satisfacer las demandas medicinales específicas. El entorno controlado mejora la eficiencia de la producción, lo que permite obtener múltiples cosechas en un solo año. (García, 2023).

Existen diferentes sistemas de iluminación para cultivo interior y entre los más usados se encuentran:

Tubos fluorescentes y CFL (lámparas de bajo consumo): Son ideales para las etapas iniciales de la planta debido a su bajo consumo y espectro de luz azul. Las potencias varían de 18 a 55W.

Bombillas HID: Lámparas de sodio (HPS) y de halogenuros metálicos (HM): Son complementarias, con las HM adecuadas para el crecimiento y las HPS para la floración. Suelen estar disponibles en 250W, 400W y 600W. Las HPS son eficientes, pero generan calor y requieren ventilación.

Lámparas LED: Aunque tienen una inversión inicial alta, son eficientes energéticamente y generan poco calor. Se pueden ajustar para diferentes fases de crecimiento y alta durabilidad. Algunos modelos incluyen espectros infrarrojo y UVB, pero deben usarse con precaución. Pueden requerir mantas térmicas en invierno debido a su bajo calor generado. (Zapata, 2019).

La temperatura es otro factor importante que considerar en la elección de las lámparas. Las potencias más comunes son de 400W y 600W, pero se debe tener en cuenta que más vatios no siempre significa más producción, especialmente en espacios pequeños o climas cálidos. (Alonso, 2022)

La ventilación es esencial para la salud de las plantas de cannabis, fortaleciendo los tallos y regulando la humedad, temperatura y CO₂ en el ambiente. La transpiración de las hojas libera la mayoría del agua absorbida del suelo, por lo que mantener la humedad entre 40% y 70%, con un óptimo del 60%, es crucial para prevenir plagas y enfermedades. (Monzón, 2022).

Con base en un nuevo estudio de la Universidad Estatal de Colorado, como principal desventaja de los cultivos en interiores se puede mencionar el alto impacto ambiental que estos generan. El estudio revela que la producción masiva de cannabis en interiores tiene una huella de carbono significativamente alta, generando entre 2,2 y 5,1 toneladas de CO₂ por kilogramo

de flor seca. Las emisiones de gases de efecto invernadero se deben principalmente a la producción de electricidad y el consumo de gas natural para el control ambiental en interiores, así como al uso de luces de cultivo intensivas y suministros de dióxido de carbono para el crecimiento rápido de las plantas. Los investigadores también encontraron que los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado son los principales consumidores de energía en estas operaciones. Este estudio proporciona una visión detallada de la huella de carbono del cultivo de cannabis en interiores, destacando su impacto ambiental significativo en comparación con el cultivo en exteriores o invernaderos, que emiten considerablemente menos CO₂. (Agencia Europa Press, 2021)

Diferencias entre cultivos Indoor y Outdoor

Las diferencias entre el cultivo outdoor e indoor son notables, los cultivos indoor demanda el uso de una mayor cantidad de recursos, pero también se reduce las horas de operación del cultivo a diferencia del exterior. (Ricardo, 2021)

La producción de cannabis en Colombia se puede combinar debido a la ventaja de estar ubicados en la línea ecuatorial donde se pueden obtener más de 4 cosechas al año, pero es necesario tener en cuenta los pros y contras de realizar la siembra en cada uno de los ambientes ya mencionados, así como las principales diferencias entre los cultivos. (Ricardo, 2021).

Tabla 1 Diferencias entre cultivos indoor y outdoor

Indoor	Outdoor
Entorno	
Se realizan en espacios cerrados, donde hay un mayor control del cultivo.	El cultivo es realizado en espacios al aire libre como campo, terrenos agrícolas.
Energía	
Se usa luces artificiales como Lámparas LED, bombillas HID, fluorescentes, entre otras, para proporcionar luz a las plantas al no tener acceso a luz natural.	Estas se dan de luz solar, lo que permite un mejor proceso de fotosíntesis
Control ambiental	
Hay mayor facilidad de controlar variables fisicoquímicas del cultivo	Está sujeta a cambios ambientales, por lo cual no se pueden controlar fácilmente
Costos	
Requieren una mayor inversión en equipos de iluminación, riego, controladores ambientales, entre otros.	No es necesaria la adecuación de infraestructura, los recursos naturales son de fácil obtención lo que generan costos operativos bajos.
Control de plagas	
Existe un mayor control al ser un espacio cerrado.	Son más susceptibles a diversas plagas y enfermedades por lo que requieren el uso de pesticidas más fuertes.
Agua	
Existe un control en el riego del cultivo al utilizar sistemas automatizados de acuerdo con la necesidad de la producción, asimismo se puede contar con sistemas de recirculación que permiten un aprovechamiento del recurso hídrico.	Dependen en la mayoría de la producción del agua lluvia, por lo que su disponibilidad depende de condiciones climáticas u estacionales, lo que genera un riego adicional.

Nota: Elaboración propia a partir de Cannabis.es. (2020). Cultivo básico: diferencias entre interior y exterior. Cannabis. <https://www.cannabis.es/pw/2017/08/02/cultivo-basico-diferencias-entre-interior-y-exterior/>

Ventajas y desventajas entre cultivos interior (“Indoor”) y exterior (“Outdoor”) a alto nivel

Aunque el cultivo en interior requiere un mayor consumo de recursos, ofrece la ventaja de reducir las horas de operación en comparación con el cultivo al aire libre o exterior. Por esta razón, tomando como base la información que se describió anteriormente para cada uno de los tipos de cultivo, a continuación, se proporciona una tabla en la que se detallan los pros y los contras de cada tipo de cultivo.

Tabla 2 Ventajas y desventajas entre cultivos Indoor y Outdoor

Aspecto	Cultivo en interior ("Indoor")	Cultivo en exterior ("Outdoor")
Ventajas	Fácil control de factores como luz, agua y nutrientes.	Mayor capacidad de crecimiento de las raíces, lo que conduce a una producción más alta.
	Mayor control sobre el fotoperiodo para la fase de floración.	Mayor altura y número de ramas con flor con un buen manejo agronómico.
	La población es uniforme y la producción se completa al mismo tiempo sin interrupciones.	Mayor densidad de siembra posible.
	Proyecciones de cosecha más precisas.	Labores de fertilización más sencillas debido a la influencia del suelo.
	Menores costos para controlar plagas y enfermedades.	Reducción del riego gracias a la contribución de la lluvia.
		Facilita la eliminación de plantas masculinas en cultivos de semillas.
Desventajas	Mayor inversión inicial requerida.	Las poblaciones pueden no ser homogéneas, lo que puede requerir podas.
	Necesidad de equipos adicionales para mantener el óptimo rendimiento	Necesidad de revisión constante para plagas y enfermedades, y control si es necesario.

(reguladores, plantas de energía, mantenimiento, etc.).	
Requiere protocolos de sanidad estrictos para manipular las plantas debido a la vulnerabilidad a patógenos.	Mayor cantidad de personal necesario para labores de campo .
Alto impacto ambiental con mayor generación de CO2 por tonelada.	Depende de condiciones externas como temperatura, humedad, precipitaciones e intensidad de la luz solar lo que puede llevar a una serie de desafíos imprevistos.
Mayor consumo de recursos como agua y energía.	Requiere inversión en seguridad debido al riesgo de robo de producción.

Nota: Elaboración propia a partir de Mila K. (2020). Requerimientos agronómicos para un modelo productivo de cannabis. Fusagasugá. Obtenido de <https://www.repository.fedesarrollo>

Conociendo las ventajas y desventajas de los dos tipos de cultivo entra en juego el análisis de las propiedades fisicoquímicas de la flor, como su concentración de cannabinoides, terpenos, metales pesados, pesticidas, micotoxinas y carga microbiana. En un cultivo Indoor es posible lograr un mayor control sobre la calidad y el contenido de terpenos por que la luz y el CO2 es controlado a lo largo de su crecimiento maximizando la concentración de cannabinoides y a la vez desarrollando notas frutales de terpenos no usuales en un cultivo outdoor. El cannabis cultivado al aire libre puede tener mayor variedad de terpenos con notas terrosas, plantas con tamaños de cogollos más grandes por la disponibilidad de los nutrientes. Sin embargo, la calidad de la planta se atribuye en mayor proporción en la cepa de la genética, a las condiciones del cultivo y a las buenas prácticas agrícolas.

Los metales pesados, pesticidas, la carga microbiana y micotoxinas son asociadas principalmente a la naturaleza del agua y el suelo, así como la práctica de fertilización y uso de pesticidas.

Metodología

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

La investigación sobre el cannabis en Colombia ha crecido en los últimos años debido a la regulación de su producción y comercialización, una cuestión que surge en este contexto es la diferencia entre los cultivos outdoor e indoor en el país, ambos presentan ventajas y desventajas específicas y saber cuál es el método de producción más adecuado para las condiciones de las empresas colombianas es vital para maximizar los beneficios económicos y ambientales. En este contexto, y de acuerdo con los objetivos establecidos, se delimita que el enfoque de la investigación mixta para explorar aspectos más subjetivos y relevantes, como percepciones de las empresas productoras por medio de entrevistas, regulación gubernamental al realizar un análisis documental y desafíos asociados con cada tipo de cultivo con el fin de obtener una “fotografía” más completa del fenómeno (Hernández & Amilcar, 2018) y así obtener una base para tomar decisiones sobre el tipo de cultivo de cannabis en Colombia. Este enfoque es pertinente en este contexto investigativo ya que los aspectos técnicos están enlazados con factores políticos, sociales y donde se podrá comprender cifras y experiencias humanas en torno a esta industria en crecimiento.

El alcance se centrará en el método cualitativo y cuantitativo y se investigará como estas variaciones afectan los resultados en diversas partes del país, se hará una comparación de los beneficios y desafíos a los que se enfrentan estos métodos, su impacto económico y de rentabilidad, así mismo, se considera el impacto social en donde se tendrá en cuenta la participación de las comunidades y la percepción social del cannabis.

Adicional, se plantea un diseño de investigación en la cual se realizarán un análisis de datos de diversas fuentes consultadas, en donde la población definida para esta investigación son las compañías productoras de cannabis y los entes reguladores, este tipo de investigación será no experimental debido a que no hay manipulación de variables. El diseño de esta investigación busca revelar las ventajas y desventajas de los cultivos indoor y outdoor considerando todos los aspectos involucrados la cual le proporciona una información importante a los empresarios, autoridades reguladoras y a la industria del cannabis en Colombia.

Definición de Variables

Las variables definidas en esta investigación permiten medir, analizar y comparar diversos aspectos de los cultivos de cannabis indoor y outdoor en Colombia ya que son el primer paso para dar respuesta a la pregunta de investigación planteada. Por esta razón se definen las siguientes variables:

- Condiciones del suelo
- Consumo de recursos naturales (agua y energía)
- Condiciones meteorológicas
- Control de plagas y enfermedades
- Análisis de costos (Insumos, Instalaciones, etc.)
- Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la flor.

Definición conceptual y Operacional

A continuación, se describen conceptualmente las variables:

Tabla 3 Definición conceptual y operacional de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional
Condiciones del suelo	Es el estado de la calidad del suelo, la cual es evaluada mediante unas características físicas, químicas y biológicas para cumplir sus funciones naturales y proporcionar un entorno adecuado para el crecimiento de plantas. (Weil & Brady, 2017)	Se medirá a través de juicios de expertos por medio de una entrevista y encuesta complementando con revisión de literatura.
Consumo de recursos naturales (agua y energía)	Cantidad de agua y energía usada por diversos individuos, industrias, entre otros. En un periodo de tiempo para satisfacer sus necesidades.	Se realizará la validación por medio de la encuesta y entrevista a los expertos y se complementará con revisión de literatura.
Condiciones meteorológicas	Son el estado de la atmosfera teniendo en cuenta temperatura, humedad, presión atmosférica, entre otros factores las cuales cambian a través del tiempo y lugar. (National Geographic, n.d.)	Se realizará la búsqueda de literatura sobre las condiciones meteorológicas a las que están inmersas las empresas productoras de cannabis en Colombia.

Análisis de costos	De acuerdo con (Diseño Sistemático de Proyectos, n.d.) el análisis de costos es “el proceso de identificación de los recursos necesarios para llevar a cabo la labor o proyecto del voluntario. El análisis de costo determina la calidad y cantidad de recursos necesarios”.	Se realizará la medición de la variable por medio de la encuesta y entrevista realizada a los expertos
Control de plagas y enfermedades	Proceso mediante el cual por medio del uso de productos pesticidas se busca la eliminación de insectos, microbios u organismos no deseados en las plantas. (<i>Control de plagas</i> , s. f.)	Se realizará la medición por medio de encuestas a empresas dedicadas a la producción de cannabis
Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la flor	Son las características físicas y químicas que posee el cultivo de cannabis, especialmente la flor generada de este	La medición de esta variable se realizará por medio de la búsqueda de literatura.

Nota: Elaboración propia

Población y Muestra

Para el caso de la población y muestra se va a tomar como base central los expertos de la industria en el cultivo de cannabis indoor y outdoor en Colombia, específicamente se van a tomar unidades de muestra con población vinculada a cultivo indoor al igual que unidades de muestra con población vinculada a cultivo outdoor con la utilización de fuentes primarias y secundarias desarrollada desde un enfoque no probabilístico intencional, ya que se

seleccionará la muestra desde un juicio subjetivo y no será una muestra al azar, para el caso de la intencionalidad se basará principalmente en el criterio, credibilidad y capacidades de los expertos, esto permitirá desarrollar una perspectiva amplia de unidades muestrales asertivas, que sean lo más acercado a la realidad de los cultivos en Colombia.

Para la unidad de expertos vinculados con cultivos indoor y outdoor se va a tomar una muestra de 5 personas (para aplicación de encuesta y entrevista) de las empresas seleccionadas descritas en los métodos de recolección de información.

Segundo nivel

Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Para poder realizar un análisis comparativo del impacto ambiental y las propiedades fisicoquímicas de los cultivos de cannabis indoor y outdoor con los objetivos diseñados para esta investigación, se utilizara una metodología exploratoria cualitativa y cuantitativa orientada a la investigación de fuentes primarias de expertos en la industria recolectada a partir de encuesta y entrevista; como también a la investigación secundaria obtenida de base de datos, reportes privados, públicos , artículos científicos y académicos . A continuación, se describen los seleccionados:

Entrevista

Este método implica entrevistar a expertos en cultivo de cannabis con el objetivo de obtener información cualitativa sobre las diferencias clave entre los métodos de cultivo indoor y outdoor. Para la creación, aplicación y análisis del instrumento, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- **Selección de Expertos:** Se van a seleccionar expertos en cultivo de cannabis con experiencia en uno o ambos tipos de cultivo. Estos expertos van a ser profesionales

con conocimiento especializado en el tema de las empresas Nirpharma, Cannagustin, Colombian Organic, Clever leaves, Cannicina.

- **Instrumento de entrevista estructurada:** El equipo investigador diseñara una serie de preguntas estructuradas que guíen la entrevista. Estas preguntas abordaran aspectos como las condiciones del suelo, el consumo del agua y energía, prácticas sostenibles de cultivo, las diferencias en la calidad de la cosecha y cualquier impacto ambiental percibido. **Ver Anexo 1**
- **Tabulación de información:** Después de realizar las entrevistas, se aplicará un análisis narrativo para determinar las tendencias de las variables que impactan con mayor peso en cada uno de los cultivos.

Revisión de Literatura

Este método implica revisar la literatura científica y técnica existente sobre las diferencias que se presentan en los cultivos interiores y exteriores, para lo cual se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- **Búsqueda de Literatura:** Para la cual se usarán bases de datos académicas, revistas científicas, libros y publicaciones técnicas relacionadas con el rendimiento de las plantas de cannabis y el impacto ambiental
- **Criterios de Inclusión:** Con lo cual se buscará seleccionar estudios previos que aborden específicamente las diferencias entre cultivos de cannabis indoor y outdoor en términos de propiedades microbiológicas, fisicoquímicas y el impacto ambiental. Estos estudios podrán incluir análisis de nutrientes, contenido de cannabinoides, niveles de contaminantes, entre otros.

- **Síntesis de Resultados:** Resume los resultados de los estudios seleccionados, identificando las diferencias clave observadas en las propiedades de las plantas cultivadas en ambos entornos.

Encuesta a cultivadores

Con este método se busca realizar una encuesta a cultivadores de cannabis tanto en interiores (indoor) como en exteriores (outdoor) para recopilar información sobre buenas prácticas teniendo en cuenta las variables descritas en la sección “definición de variables”. Para la creación, aplicación y análisis del instrumento, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- **Diseño de la encuesta:** La cual incluirá preguntas relevantes para los objetivos de la investigación. **Ver Anexo 2**
- **Muestra seleccionada:** La selección de muestra se realizará con base a las empresas Nirpharma, Cannagustin, Colombian organic, Clever leaves y Cannicina.
- **Análisis de Datos:** Luego de la recopilación de información, se analizarán las respuestas de las encuestas para identificar tendencias y patrones en las prácticas de cultivo y las percepciones sobre el impacto ambiental.
- **Aplicación de Resultados:** Se usarán los datos de las encuestas para informar las recomendaciones de mejora y sugerencias prácticas relacionadas con los cultivos de cannabis indoor y outdoor. Para lo anterior se realizará el análisis de datos con las herramientas proporcionadas por Google Forms.

Técnicas de análisis de datos

Para llevar a cabo un análisis efectivo de los datos recopilados a través de los métodos de investigación previamente mencionados en la sección anterior, que incluyen entrevistas, análisis de datos gubernamentales, revisión de literatura y encuestas a empresas del sector,

entre otros, es crucial emplear diversas técnicas de análisis de datos que sean adecuadas y estén en consonancia con los objetivos específicos de la investigación. A continuación, se procede a realizar una descripción detallada de algunas de las técnicas de análisis que serán utilizadas de manera específica en cada uno de los mencionados métodos de recopilación de datos.

Análisis de Contenido

Según Aigeneren (2020), el análisis de contenido implica la exploración exhaustiva del contenido de las comunicaciones, con la clasificación en categorías de los elementos o información evidente en el mensaje. Esta técnica se enfoca en el estudio de las ideas transmitidas a través de los conceptos, en lugar de centrarse en las palabras específicas utilizadas para expresar dichas ideas. El análisis de contenido analiza la comunicación o mensaje en el contexto de las interacciones entre el emisor y el receptor.

Un ejemplo para esta investigación sería, el examinar detalladamente datos y registros relevantes sobre las condiciones del suelo, considerando su composición y calidad en relación con el cultivo de cannabis. Además, se analiza el consumo de agua en los cultivos indoor y outdoor para comprender su impacto en la producción y el medio ambiente, con el objetivo de identificar patrones y tendencias que puedan influir en las estrategias de gestión del agua y el suelo.

Análisis Descriptivo

Según Vásquez et al. (2020), el análisis descriptivo implica la descripción de tendencias clave presentes en los datos disponibles y la observación de situaciones que puedan dar lugar a nuevos descubrimientos. Este método se fundamenta en una o varias preguntas de investigación, prescindiendo de la necesidad de una hipótesis inicial. Además, abarca la recopilación de datos pertinentes, su posterior organización, tabulación y descripción de los resultados obtenidos.

Un ejemplo para esta investigación sería, la descripción y la interpretación de datos relacionados con las condiciones meteorológicas, como temperatura, humedad y precipitaciones, así como el consumo de energía en los cultivos de cannabis. El objetivo es comprender cómo los factores meteorológicos y el uso de energía impactan en la producción de cannabis, ayudando a desarrollar estrategias de gestión energética y adaptación al clima.

Análisis Narrativo

Según Samaniego et al (2011), el análisis narrativo es un enfoque de investigación en el cual el investigador se enfoca en un tema particular y examina los datos recopilados de estudios de casos, encuestas, observaciones u otros métodos similares. Una vez recopilados, los investigadores redactan sus hallazgos y los analizan minuciosamente.

Un ejemplo para esta investigación sería, la narración detallada de los datos relacionados con el análisis de nutrientes esenciales para el cultivo de cannabis y el consumo de insumos, como fertilizantes y otros productos agrícolas. El objetivo es identificar patrones narrativos y temáticas relevantes que ayuden a comprender la relación entre la nutrición de las plantas y el uso de insumos, con el fin de optimizar las prácticas de fertilización y el manejo de insumos agrícolas.

Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo representa un proceso mediante el cual los investigadores organizan y manipulan la información recolectada con el fin de establecer relaciones, interpretar los datos, extraer significados y formular conclusiones (Sabiote et al., 2015). En muchas ocasiones, el análisis se convierte en la esencia del proceso, ya que es en este punto donde se comienza a evaluar la eficacia del método aplicado y la posibilidad de alcanzar los objetivos establecidos.

Un ejemplo para esta investigación sería las estrategias para la reducción del impacto ambiental. El objetivo es comprender la efectividad de estas prácticas en la mejora de la

sostenibilidad ambiental y la salud del ecosistema circundante, con el propósito de proponer enfoques innovadores y sostenibles para la gestión ambiental en la producción de cannabis.

Cabe aclarar que los ejemplos descritos en cada una de las técnicas de análisis son solo referencias ya que cada uno evaluará diferentes enfoques de acuerdo con las variables expuestas y los métodos de recolección de información.

Análisis y discusión de los resultados

Condiciones del suelo

Teniendo en cuenta las variables definidas para esta investigación en las que se incluyen las condiciones del suelo. El análisis se puede comenzar con la definición de suelo, la cual según Gómez (2020), el suelo constituye la capa superficial de la corteza terrestre, compuesta por aire, agua, microorganismos, materia orgánica y minerales. Es en este entorno donde se desarrollan las raíces de las plantas.

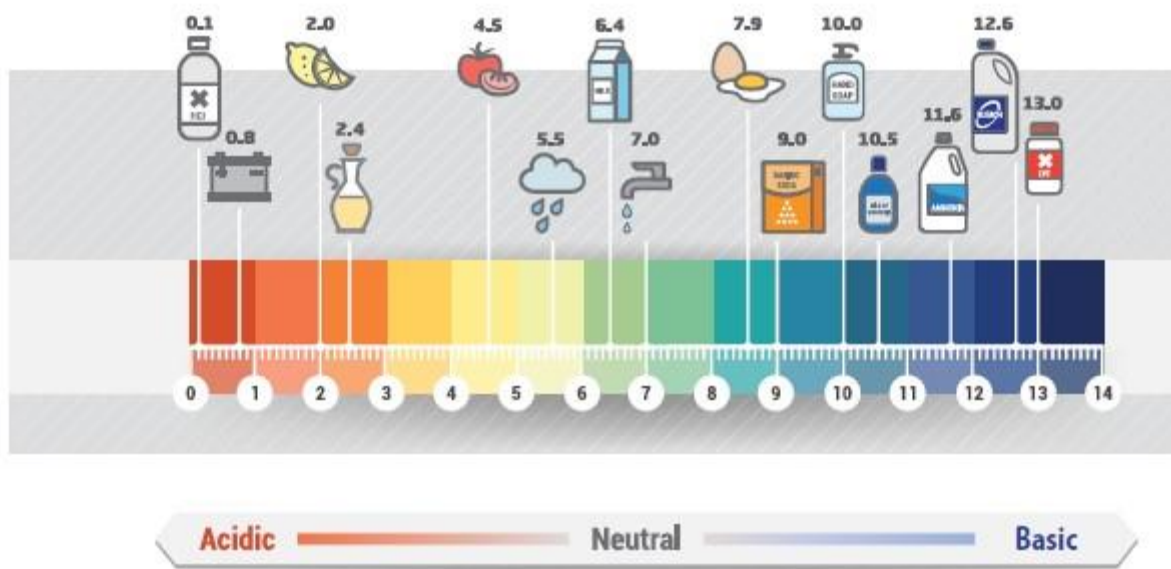
La capacidad de desarrollo de una planta de cannabis en el suelo se ve influenciada por diversos factores como el pH, contenido y disponibilidad de nutrientes, temperatura, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, entre otros. Estos elementos juegan un papel crucial en el crecimiento saludable de la planta y se describen a continuación:

pH

Desde una perspectiva técnica, el pH, o potencial de hidrógeno, se refiere a la actividad de los iones de hidrógeno y se cuantifica en una escala logarítmica de 0 a 14. Cuando el pH es 7, la muestra se considera neutra, indicando que la actividad de los iones de hidrógeno (H⁺) y de los iones hidróxido (OH⁻) es equitativa. En el rango de pH bajo (de 1 a 6), la actividad de los iones de hidrógeno es predominante, haciendo que la muestra sea ácida. En

contraste, en el rango de pH alto (de 8 a 14), la actividad del ion hidróxido es dominante, resultando en una muestra básica.

Figura 2 Niveles de PH (Hanna Colombia, 2022)



Fuente: Obtenido de: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/514>

De acuerdo con la información proporcionada por Gómez (2020) en su artículo, en condiciones óptimas, el pH del suelo para el cultivo de cannabis debería situarse idealmente entre 6.5 y 7.0. Este rango facilita que la planta absorba, asimile y procese de manera eficiente y adecuada los nutrientes necesarios para su crecimiento.

Contenido y disponibilidad de nutrientes

Para un correcto crecimiento y desarrollo de la planta de cannabis, es importante que el suelo cuente con los siguientes nutrientes esenciales:

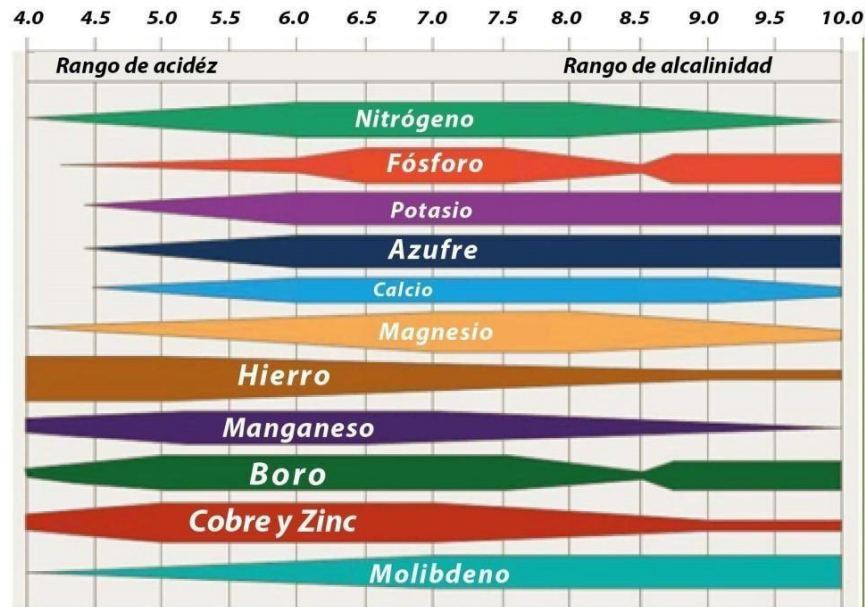
Macronutrientes: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K)

Nutrientes secundarios: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S)

Microelementos u Oligoelementos: Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl), Níquel (Ni), Sílice (Si)

La disponibilidad de nutrientes se mide de acuerdo con su grado de acidez o alcalinidad como se ve a continuación:

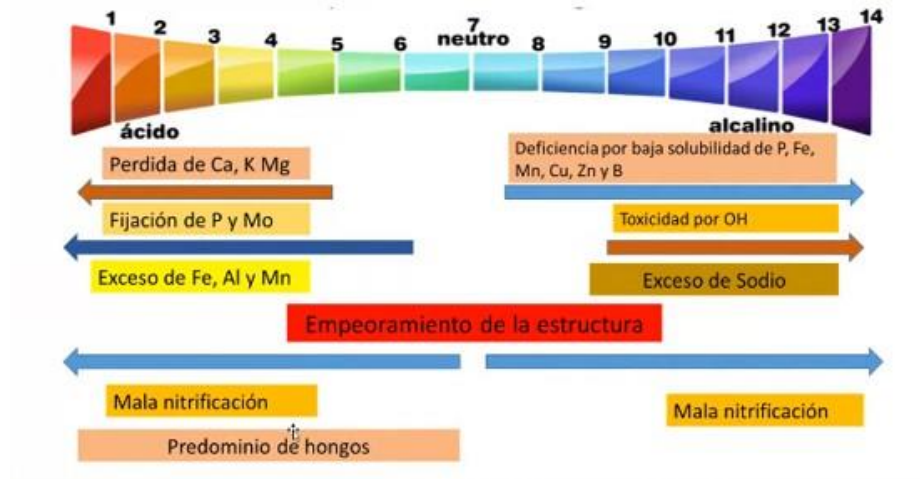
Figura 3 Disponibilidad de nutrimentos y el pH del suelo (Intagri, 2021)



Fuente: Obtenido de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimentos-y-el-ph-del-suelo>

Así mismo el rango de concentración de acidez o alcalinidad pueden generar problemas en el crecimiento y desarrollo de la planta, la siguiente imagen describe la distribución de nutrientes y problemas potenciales de acuerdo con su rango de concentración de acidez o alcalinidad.

Figura 4 Rango de concentración de acidez o alcalinidad



Fuente: Obtenido de: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/514>

Temperatura del suelo

La temperatura del suelo es fundamental en cultivos de cannabis ya que esta estimula la absorción de nutrientes y beneficia el crecimiento de la planta, la temperatura ideal oscila entre los **18 y 26 °C**.

Conductividad eléctrica y salinidad del suelo

Según Cervantes (2007) la conductividad eléctrica, a menudo referida como CE, indica la habilidad de una solución para llevar una corriente eléctrica. Asimismo, se emplea para evaluar la cantidad de sales disueltas presentes en un entorno. Las sales desempeñan un papel esencial en la nutrición de las plantas. No obstante, un exceso de estas sales puede provocar diversas irregularidades, como toxicidad, desequilibrio en la absorción de nutrientes, obstáculos en la absorción de agua, variaciones en el pH y daño a la integridad del suelo.

Luego de este análisis de literatura y teniendo en cuenta el juicio de expertos aplicado en los instrumentos de encuesta y entrevista, se puede añadir que la compra de suelos y sustratos marca una diferencia entre los tipos de cultivo indoor y outdoor, ya que el cultivo

indoor al estar en un ambiente más controlado, requiere que se emulen las características ambientales del suelo que un cultivo outdoor puede obtener de manera natural, los expertos concuerdan en un 100% con que esto incrementa el presupuesto y es un factor clave al momento de tomar una decisión sobre qué tipo de cultivo es más conveniente.

Consumo de recursos (agua y energía)

Realizando una descripción y análisis de la variable de consumo de recursos naturales, teniendo en cuenta que se va a hablar específicamente de consumo de agua y energía, se puede encontrar lo siguiente:

Según New Frontier Data (2021) hay una diferencia significativa entre el consumo de agua para los diferentes tipos de cultivo, basado en un estudio de Resource Innovation Institute y Berkeley Cannabis Research Center deben tenerse en cuenta los siguientes factores para poder medir el agua que se consume en un cultivo de cannabis.

La investigación llevó a cabo diversos cálculos relacionados con la cantidad de galones de agua empleados en los cultivos de cannabis. Es importante tener en cuenta que para el estudio se tomó que un galón de agua equivale a 3,7 litros.

Medición por tipo de cultivo: Según los estudios realizados, los invernaderos con el manejo más eficaz de su programa de cultivo utilizan 1 galón para generar 5,17 gramos de flores. Seguido de este, se encuentran los cultivos de interior, que requieren un galón para obtener 4,84 gramos, y, por último, los cultivos al aire libre, que logran 3,13 gramos con la misma cantidad de agua.

Medición por superficie de cultivo: Considerando la extensión de tierra utilizada para el cultivo y el consumo de agua anual, los cultivos al aire libre (outdoor) son los más eficientes. Un cultivo comercial utiliza aproximadamente 40 litros por pie cuadrado, que es un área un poco más grande que una baldosa de 30 cm x 30 cm. Dependiendo la cantidad de hectáreas,

el consumo de recursos naturales como el agua va a ser excesivo dependiendo el sistema de riego utilizado en los cultivos, siendo poco amigables con el medio ambiente.

Medición por gasto anual: Otro aspecto que ilustra el consumo de agua es el cálculo anual. En este contexto, los datos más evidentes provienen de los cultivos en interiores (indoor). En su versión comercial, estos alcanzan niveles máximos, pudiendo utilizar más de 2 millones de litros al año. Según el estudio, los cultivos al aire libre (outdoor) consumen aproximadamente la mitad de esa cantidad.

Medición por tipo de clima: Según Calderon (2021), En condiciones de clima seco, soleado y ventoso, las plantas experimentan una mayor pérdida de agua en comparación con entornos húmedos y sombríos. La medición de este fenómeno es importante, especialmente considerando la siguiente distribución:

Tabla 4 Consumo de agua por tipo de clima

Clima	Húmedo sombrío frío	Medio	Seco Luminoso cálido
Consumo de agua	1 - 2 Lts/M2/Dia	2 - 3 Lts/M2/Dia	3 - 4 Lts/M2/Dia

Fuente: Duarte et al. (2016)

Según Duarte et al. (2016) las plantas necesitan luz para crecer, y en el mercado hay diversas bombillas y reflectores para el cultivo de cannabis. Las lámparas de vapor de sodio y de halogenuros de mercurio son recomendadas, con opciones que ofrecen diferentes tonalidades de luz blanca, como las denominadas "cool white". Estas opciones brindan flexibilidad en la elección de la luz para un desarrollo óptimo de las plantas. En cuanto a la potencia, se sugiere un mínimo de 400W para las luces de cultivo. Potencias inferiores pueden resultar en cosechas menos abundantes e incluso problemas en el crecimiento de las plantas.

Los ciclos de luz-oscuridad pueden variar según el cultivador. En la fase de crecimiento, mantener una iluminación continua de 24 horas parece aumentar la producción al final. Si no es posible mantener las luces encendidas durante todo el día, se recomienda un mínimo de 18 horas de luz. Una vez que las plantas alcanzan el tamaño deseado, se ajusta el ciclo a 12 horas de luz al día para inducir la fase de floración.

Según uno de los expertos entrevistados de la empresa **Nirpharma S.A.S** el cultivo Indoor realmente impacta en un alto grado ambientalmente hablando, ya que este hace un consumo energía muy alto teniendo en cuenta que son 24 horas al día teniendo lámparas encendidas, des humidificadores, extractores, controladores de temperatura lo que genera un impacto en degradación del ambiente que no se ve simple vista, lo que no se hace cuando tenemos un cultivo Outdoor ya que todo en su mayoría es natural y hoy en día, que muchas de las plantaciones de cannabis no se manejan directamente en suelos si no se manejan en sustratos en materas, entonces no se afecta el terreno, por lo menos no se tiene problema de escorrentía, ni de gases al contrario y cuando se tenían grandes extensiones de cáñamo de cannabis se genera mucho más aire limpio según estudios recientes, eso hace que el impacto ambiental sea positivo y todas las fincas productoras de cannabis deben estar ya certificándose en BPA, BPG, BPM que son buenas prácticas agrícolas donde todos los desechos, todo lo que no es utilizable llamándolo así va a un sitio donde se va a incorporar a un terreno aledaño para una siembra o para mantener estable en cultivo que se tenga alterno al de cannabis.

A su vez, hace alusión a que en el cultivo Indoor se debe tener todo el tema de luces y gamas de colores para proporcionar o tratar de imitar la radiación solar. Eso hace que la planta siempre tenga luminosidad 24 horas y se debe estar pendiente del cambio de gamas de colores si es día o es noche, lo cual se hace un poco más dispendioso y el consumo de energía va a ser bastante elevado, lo cual va a elevar los costos de producción.

El experto menciona también que en Colombia las condiciones climáticas hoy cambian, el clima colombiano es muy variado, y ya no se puede confiar en que digan que hoy va a llover o hacer sol, se debe estar predispuesto al tema, hay genéticas que se pueden sembrar a campo abierto y ella resisten todas las inclemencias del clima mucho sol, mucha lluvia, siempre y cuando se dejen sembradas de tal manera que ella se puedan adaptar y puedan resistir a las diferentes inclemencias del clima, lo que no pasa en el indoor porque en el indoor se puede controlar si está haciendo frío, ya que se pone una calefacción y si está haciendo demasiado calor se pone un extractor o un ventilador, si se tiene demasiada humedad se pone un deshumificador y se mantienen estables las condiciones climáticas en el indoor.

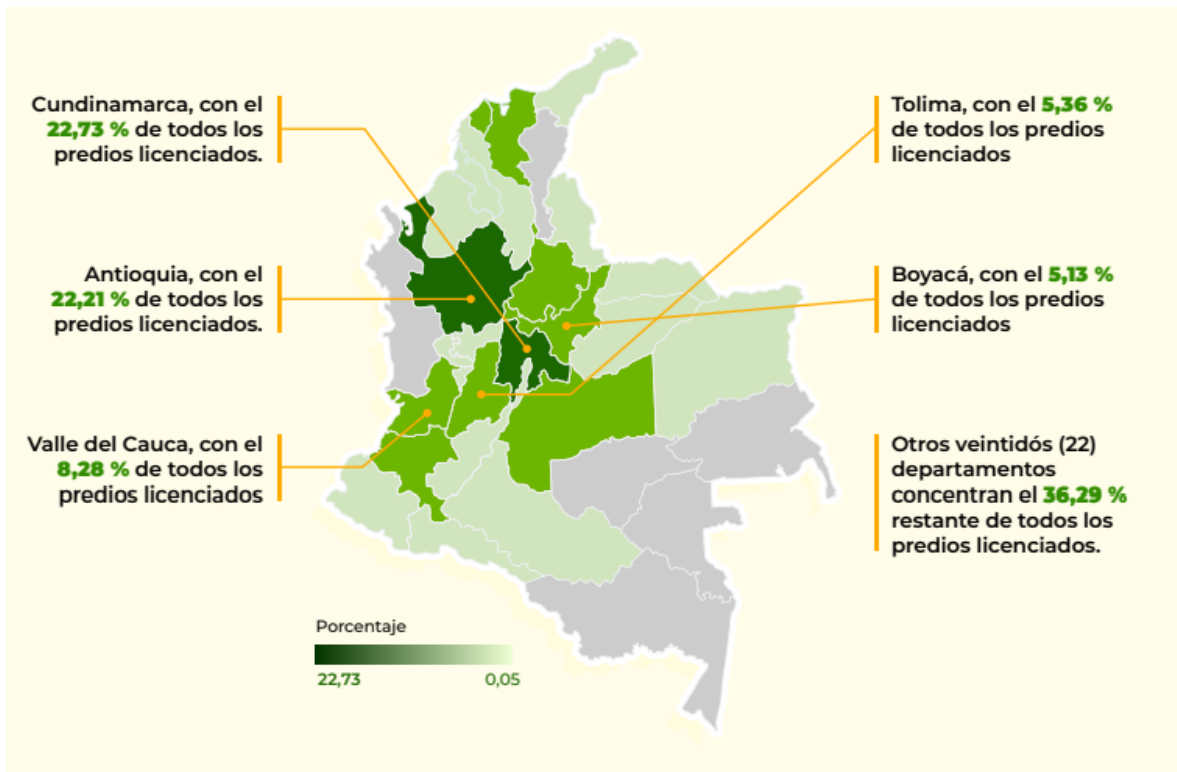
Condiciones meteorológicas

Por otra parte, se realiza la búsqueda de literatura de variables como las condiciones meteorológicas de los cultivos de cannabis indoor y outdoor con el fin de verificar las ventajas y desventajas de estos cultivos.

Colombia es un país con una diversidad de zonas de cultivos de cannabis debido a que presenta diversidad de suelos, a partir de esta variedad, las compañías productoras de cannabis tienen en cuenta características físicas como humedad, temperatura luminosidad en la producción de esta planta.

De acuerdo con el ministerio de Justicia, se han otorgado alrededor de 2403 licencias de cultivo de cannabis y la mayor actividad de producción que cuentan con licencia están ubicados en los siguientes departamentos: Cundinamarca 22.73%, Antioquia 22.21%, Valle del Cauca, 8.28%; Tolima 5.36%, Boyacá 5.13%.

Figura 5 Distribución de licencias de cultivos en Colombia



Fuente: Obtenido de: <https://www.minjusticia.gov.co/ministerio/Documents/Rendicion-Cuentas-2022/Tr%C3%A1mites%20cannabis.pdf>

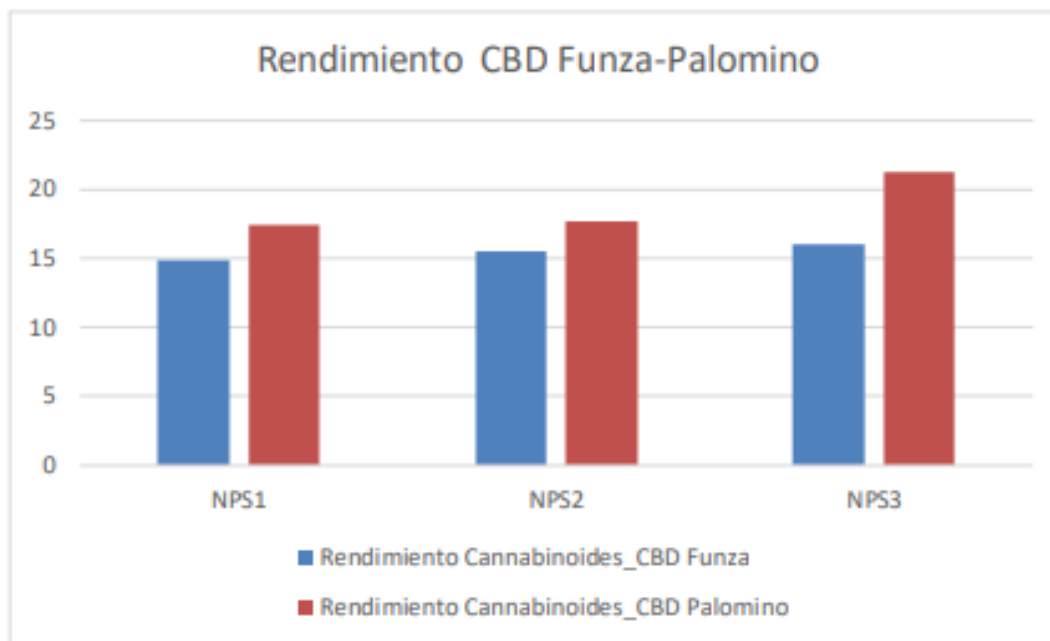
Es importante tener en cuenta en estos departamentos las condiciones meteorológicas que presentan con el fin de seleccionar el mejor suelo para el cultivo, debido al uso que desea tener de la planta de cannabis, entre sus usos se encuentra: Alimentos, fabricación de cosméticos, textiles, medicinas, entre otros. (Minjusticia, 2022)

De acuerdo con un estudio realizado por un grupo de estudiantes de la universidad EAN, sobre la modalidad de siembra de los cultivos de cannabis en diversas regiones del país, con el fin de determinar la mejor zona geográfica para cultivar (Alisson et al., n.d.).

Se tuvieron en cuenta variables como la densidad del cultivo, fotoperiodo, humedad relativa, días de cosecha, entre otros. De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio se evidencia que las plantas cultivadas en una zona geográfica del caribe (Palomino) generan mejores rendimientos (entre 16% y 22%) de cannabinoide (sustancia química que

tiene efectos similares a los producidos por el cannabis), lo que demuestra que “las plantas de cannabis se adaptan mejor a las condiciones agroecológicas del caribe debido a los altos porcentajes de humedad relativa” (Alisson et al., n.d.) y generan mayor THC (Tetrahidrocannabinol-ingrediente psicoactivo principal del cannabis).

Figura 6 Estudio sobre rendimiento del cultivo de cannabis en región Andina y Caribe



Fuente: Tomado de: Alisson, C., Pachón, D., Juan, A., Rojas, P. M., Alejandra, L., Sierra, R., Valderrama, J. E., Jaime, G., & Salazar Peña, O. (n.d.). Diagnóstico de las condiciones agroecológicas requeridas por los cultivos de cannabis medicinal en Colombia.

Pero se evidencia que la temperatura de estas plantas en el caribe aumenta la presencia de enfermedades del cultivo por lo que el ambiente propicio para el cultivo de cannabis en cuanto a temperatura es en municipios como Funza, donde la temperatura genera mayor producción de THC.

Teniendo en cuenta la investigación analizada, cada zona geográfica cuenta con ventajas para la producción, se recomienda la producción en zonas geográficas como el caribe si se requiere obtener mejores porcentajes de THC debido a sus condiciones de temperatura y

luminosidad, pero se debe tener en cuenta el manejo de control de plagas y enfermedades con el fin de obtener la mayor productividad de la planta.

Control de plagas y enfermedades

Las plantas de cannabis como cualquier planta son propensas a sufrir de ataques de plagas y patógenos lo cual influyen negativamente la calidad y tamaño del cultivo (Sumpter, 2023). Existen varios controles, entre estos el uso de pesticidas y controles biológicos los cuales son más amigables con el medio ambiente. El control biológico se caracteriza por el uso de microorganismos vivos como hongos, insectos que se alimentan de las plagas u otras plantas a diferencia del uso de pesticidas o fungicidas tiene la característica que matan al patógeno o plaga al entrar al contacto con esta, afecta su capacidad de reproducción, entre otras, que ayudan a la planta pero pueden generar afectaciones a los cultivadores de cannabis, alterar el sustrato de la planta y contaminar el agua por lo que no se podría reutilizar esta.

En la siguiente tabla se evidencia las principales diferencias en el uso de los controles químicos o biológicos en las plantas de cannabis.

Tabla 5 Diferencia entre control químico y biológico

VARIABLES	Control químico	Control biológico
Costo	Existe un mayor costo por el uso de diversos químicos en los pesticidas	Hay menor costo debido al uso de microorganismos vivos.
Eficacia	98-100%	Moderada

Fuente: Tomado de <https://www.oocities.org/ecologia luz/trichoderma12.htm>

De acuerdo con los análisis realizados, se genera una tabla resumen entre las variables analizadas, para una mayor comprensión:

Tabla 6 Resumen comparativo de variables entre tipos de cultivo

Variable	Cultivo Indoor	Cultivo Outdoor
Condiciones del suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Plantación en interior que permite controlar con relativa facilidad la iluminación, la temperatura, el agua, la humedad y los niveles de CO2. - La planta se desarrolla en un espacio limitado lo que puede hacer que no crezca significativamente. - No depende de factores naturales. - La humedad y los nutrientes no se suministran de forma natural. - Es más fácil conservar el medio de cultivo libre de plagas y enfermedades. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plantación al aire libre la cual puede hacer uso de maceta o directamente en la tierra. - La planta se desarrolla con más espacio lo que hace que crezca más brindando mayor rendimiento. - El ambiente del suelo se autorregula. - Gran parte de la humedad y los nutrientes necesarios son suministrados y repuestos por el medio de cultivo. - Más propensa a sufrir daños provocados por enfermedades, plagas y animales.
Consumo de recursos naturales (agua y energía)	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor consumo de agua por su sistema de riego. - Requieren un galón de agua para obtener 4,84 gramos de flor. - Pueden alcanzar un consumo de hasta 2 millones de litros de agua al año. - Mayor consumo de energía al tener que controlarse la temperatura por estar plantada en interior. - Requiere de mínimo 18 horas de luz artificial dependiendo la etapa de crecimiento. - Requiere un mínimo de 400W para las luces de cultivo. - Al ser controlada la iluminación, se puede elegir cuando comienza la floración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor consumo de agua dependiendo del clima (húmedo, medio o seco). pero con la ventaja que aprovecha recursos naturales como aguas lluvia. - Requieren un galón de agua para obtener 3,13 gramos de flor. - Pueden alcanzar un consumo de agua hasta la mitad de lo que consume un cultivo indoor. - Menos consumo de energía al depender en gran parte de la luz solar lo que permite un mejor proceso de fotosíntesis, pero a su vez depende del clima.

Condiciones meteorológicas	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor consumo de energía dependiendo del clima en el que se encuentre el cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejores porcentajes de THC debido a sus condiciones de temperatura y luminosidad. - Mayor control de plagas y microorganismos debido a los cambios climáticos.
Análisis de costos	<ul style="list-style-type: none"> - La inversión inicial es más alta, esto se debe a los costos asociados con la construcción de instalaciones cerradas, la adecuación de conductos de aire y la instalación de sistemas de iluminación específicos para cada etapa de crecimiento de la planta. - Tienen costos significativos asociados con el consumo de energía. La necesidad de iluminación artificial, control climático y otros equipos eléctricos contribuye a que los costos totales de energía representen entre el 20% y el 50% de los costos operativos totales. 	<ul style="list-style-type: none"> - La inversión inicial tiende a ser menor ya que no se requieren estructuras cerradas elaboradas ni equipos de iluminación especializados. - La planta depende de la luz natural del sol, lo que reduce significativamente los costos de energía asociados con la iluminación artificial. Esto contribuye a una disminución en los costos operativos totales.
Control de plagas y enfermedades	<ul style="list-style-type: none"> - Presenta un menor riesgo de enfermedades, siempre y cuando cuente con el control necesario. - Si se presenta poco control, debido a que el entorno no cuenta con un depredador natural, la propagación de insectos es mayor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene un mayor riesgo de contagio por plagas y microorganismos, así como el ataque de animales. - Menor control en temperatura y humedad lo que ayuda a la propagación de enfermedades y plagas.
Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la flor	<ul style="list-style-type: none"> - Los cultivos indoor tienden a tener concentraciones más altas de cannabinoides, como se evidencia en el perfil de terpenos y cannabinoides obtenidos mediante cromatografía gaseosa/líquida y espectrometría de masas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las muestras cultivadas al aire libre pueden tener cannabinoides más inusuales y menos degradados. Además, hay diferencias significativas en los perfiles de terpenos, con una mayor preponderancia de sesquiterpenos en las muestras outdoor.

	<ul style="list-style-type: none"> - Aunque se menciona que las plantas en interiores pueden tener una menor presencia inicial de microorganismos, el riesgo de pérdida de cultivo por invasión de microorganismos es una amenaza significativa. La propagación se presenta más rápidamente en los cultivos indoor. - Las plantas cultivadas en interiores suelen ser más pesadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se observa una mayor proporción de microorganismos en los cultivos outdoor, lo que implica un mayor control de plagas con insumos agrícolas. - Las plantas cultivadas en interiores suelen ser menos pesadas.
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Análisis de costos*

Dentro del análisis de costos para las dos modalidades de cultivos de cannabis outdoor e indoor en conjunto con los expertos de las empresas Nirpharma, Cannagustin, Cannicina, Clever leaves y Colombian Organic se concluye que la inversión más elevada en la implementación de un cultivo de cannabis se presenta en cultivos indoor. Esta afirmación se sustenta por los altos costos que deben ser asumidos para la construcción de las instalaciones, la adecuación de los conductos de aire, los altos consumos energéticos y los diferentes tipos de iluminación para las etapas de crecimiento de la planta (plántula, vegetativa y floración). (Rubiano D, 2019).

Un aspecto relevante en los cultivos Indoor es que los costos totales de energía para las operaciones del cultivo de cannabis generalmente varían entre el 20% y el 50% de los costos operativos totales (*Energy Consumption Model for Indoor Cannabis Cultivation Facility*, 2020) por lo que se afirma nuevamente que el cultivo Indoor requiere una inversión más elevada que el cultivo outdoor

*La información en la sección de análisis de costos está limitada por los acuerdos de confidencialidad de las empresas entrevistadas y encuestadas.

Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la flor

La finalidad de los cultivos de cannabis es obtener altos estándares de calidad con los componentes químicos y físicos de la flor. Dentro de la composición química los aspectos fundamentales para lograr rentabilidad en el negocio son las concentraciones de perfil cannabinoides como el CBD, THC, CBG y CBN, como también el aroma y olor en la flor que se atribuye al contenido de terpenos y flavonoides. Dentro este panel de componentes relevantes en el cultivo, se debe controlar las concentraciones de metales pesados (arsénico, plomo, mercurio, cadmio), micotoxinas, pesticidas y la carga microbiológica dentro de la planta.

Durante el proceso investigativo con los expertos la selección del tipo de genética de cannabis *Sativa*, *Ruderalis* e *Indica* juega un rol fundamental en la selección del tipo de cultivo, la ubicación geográfica para la construcción del cultivo y finalmente el Core del negocio, esto indica que de acuerdo con las propiedades de cada genética se estructura un plan estratégico de comercialización de los diferentes usos del cannabis. Actualmente en Colombia prevalece el uso de cannabis medicinal y con la nueva regulación de cannabis del decreto 811 del 2021 se ampliaron los usos de cannabis a la industria alimentaria, el consumo animal, cosmética y textil entre otros.

Dentro de las diferencias más relevantes encontradas por las empresas entrevistadas entre el cultivo indoor y outdoor en las condiciones de la planta es la presencia de microorganismos en mayor proporción en los cultivos outdoor, lo que implica un mayor control de plagas con insumos agrícolas, aunque los expertos mencionan que para las dos modalidades de cultivo la amenaza de mayor riesgo es la pérdida de cultivo por invasión de microorganismos, donde la propagación se presenta en mayor rapidez en los cultivos indoor.

Un segundo aspecto relevante es que el peso de los cogollos, hojas y tallos durante el crecimiento de la planta entre un cultivo indoor y outdoor no es significativo. Sin embargo, las

plantas en interiores tienden a ser más pesadas. Es importante mencionar que esta afirmación procede de condiciones iguales en los dos cultivos para el tipo de suelo, fecha de cosecha, fecha de siembra, fertilización, genética y distancia entre cada planta.

Mientras esta diferencia en el crecimiento de planta no es significativa, analíticamente las concentraciones de los cannabinoides si son representativas entre un cultivo indoor y outdoor, sobresaliendo concentraciones más altas de cannabinoides en un cultivo en interiores y del mismo modo se presenta una variación de analitos en el perfil de terpenos en los diferentes tipos de cultivos. Según Fereshteh Zandkarimi en 2023 se comparó los perfiles de terpenos y cannabinoides mediante cromatografía gaseosa/líquida y espectrometría de masas para cannabis comercial de plantas genéticamente idénticas cultivadas en interiores utilizando luz artificial y al aire libre en suelo vivo y luz solar natural. En general, para ambos cultivares, hubo significativamente más cannabinoides oxidados y degradados en las muestras cultivadas en interiores. Además, las muestras cultivadas al aire libre tenían cannabinoides significativamente más inusuales, como C4 y C6-THCA. También hubo diferencias significativas en los perfiles de terpenos entre el cannabis cultivado en interiores y exteriores. Las muestras de exteriores tenían una mayor preponderancia de sesquiterpenos, incluidos β -cariofileno, α -humuleno, α -bergamoteno, α -guaieno y germacreno B, en comparación con las muestras de interiores.

Adicionalmente a estos resultados sobre los perfiles de terpenos y cannabinoides todos los expertos concluyen que es imperativo realizar previamente a la fecha de siembra del cultivo análisis de laboratorio para suelos, sustratos, agua, superficies y ambientes con el fin de disminuir el riesgo de contaminantes en la flor de cannabis y a la vez resguardar el cultivo, debido a que la planta en su crecimiento realiza el proceso de difusión absorbiendo agua y nutrientes a través de las raíces.

Posibles alternativas de sostenibilidad en los cultivos de cannabis

Actualmente las empresas en Colombia cumplen con los sistemas de gestión, normas ISO y algunas otras se certificaron en buenas prácticas agrícolas (BPA) para tener un buen manejo de residuos, sistemas de riego con aguas lluvias previamente caracterizadas y uso de fertilizantes amigables con el medio ambiente. Este último ítem según los expertos es esencial para que el crecimiento de la planta de cannabis sea óptimo, al igual que los insumos agrícolas como los herbicidas, insecticidas y fungicidas. En los últimos 3 años los expertos con cultivos outdoor han migrado a cultivos mixtos, también llamados invernaderos y son ideales para combinar las ventajas de los cultivos indoor y outdoor. Se posee control sobre la cantidad de horas de exposición al sol a través de paneles que se cierran y abren automáticamente, generando oscuridad o luminosidad, administrar la temperatura con calefactores o aire, la humedad con humidificadores, los vientos y la lluvia (Rubiano,D, 2019) favoreciendo el aumento de las cosechas durante el año y reduciendo el consumo de energía. Los cultivos mixtos son modelos de negocios más amigables con el medio ambiente que los cultivos tradicionales y el presupuesto es relativamente más bajo que el empleado en un cultivo indoor.

Por ahora, en los cultivos indoor y outdoor el uso de las energías renovables no son una alternativa de primera opción porque el desafío principal de esta industria en Colombia es la regulación del cannabis de uso recreativo, la estandarización de los cultivos y la comercialización de la flor, aceites, extractos y derivados de cannabis.

Conclusiones

Teniendo en cuenta los aspectos principales que llevaron a realizar esta investigación, se puede concluir que:

Un cultivo indoor ofrece un mayor control sobre las condiciones ambientales, lo que incide de manera positiva en las propiedades fisicoquímicas de la planta y la concentración de cannabinoides, mientras que el cultivo outdoor, aunque depende más de factores naturales, permite un crecimiento más expansivo.

El cultivo indoor se caracteriza por un mayor consumo de recursos naturales, como agua y energía, debido al control intensivo de condiciones. Por otro lado, el cultivo outdoor presenta un menor consumo de recursos, aunque está sujeto a mayor variabilidad dependiendo del clima.

El cultivo outdoor muestra concentraciones menos elevadas de cannabinoides, pero se caracteriza por un menor riesgo microbiológico y una mayor variabilidad en los perfiles de terpenos, mientras que el cultivo indoor exhibe concentraciones superiores de cannabinoides, y presenta un riesgo mayor de contaminación microbiológica.

Con base a los instrumentos aplicados a diferentes empresas expertas en el cultivo de cannabis, tanto en el cultivo indoor como en el outdoor, se busca optimizar el manejo de recursos y minimizar el impacto ambiental. Mientras que en el cultivo indoor se debe priorizar la exploración de tecnologías más eficientes en el consumo de agua y energía, el cultivo outdoor debe enfocarse en la implementación de prácticas de manejo ambientalmente sostenibles y control de plagas.

Hablando de costos operativos, los cultivos indoor muestran generalmente costos más elevados, que se atribuyen a la inversión inicial significativa y los gastos continuos en energía, comparado con los cultivos outdoor tienden a tener costos operativos más bajos, aprovechando la luz solar natural y demandando menos inversión en infraestructura.

Por otra parte, con la investigación realizada y lo análisis de estos resultados, se logra observar un panorama del impacto ambiental que generan los cultivos Indoor y Outdoor, lo cual mostró unos resultados que permiten la generación de alternativas para mitigar estos impactos en diversas empresas que actualmente producen Cannabis en Cundinamarca. Estas empresas han confirmado que los cultivos outdoor efectivamente representan una menor demanda de recursos naturales lo que con el pasar del tiempo es un modelo de negocio sostenible, debido al poco uso de energías renovables y no renovables, así mismo se ha evidenciado que las condiciones climáticas y la ubicación del cultivo son parte fundamental para que se presente un proceso productivo exitoso del cultivo.

Las compañías han iniciado el uso de genéticas para el cultivo del cannabis que se adapten de acuerdo con el tipo de cultivo que desean, sean indoor o outdoor y buscan la implementación de tecnologías amigables con el medio ambiente como paneles solares y así no depender del uso de la energía eléctrica, plantas de tratamiento de aguas lluvias para el riego de plantas, uso de envases reciclables, entre otros.

Se puede concluir que, por la naturaleza y la configuración de suelo, clima, condiciones, recursos para el caso colombiano existen una serie de factores que favorecen la implementación de cultivos outdoor en el país. Aunque esto no representa un común denominador ya que todo depende de las necesidades de los cultivadores.

Para el caso del componente nutricional se puede concluir que tanto para cultivo outdoor, como para cultivo indoor se necesita el mismo componente nutricional, no existe ningún factor diferenciador para estos casos.

Se puede concluir que, para el caso de las plagas, en los cultivos outdoor representan un reto ya que están expuesta a las condiciones del entorno natural, encontrando enfermedades y plagas, para el caso del cultivo indoor se tiene un control de condiciones del entorno. No todas las plagas puedes representar efectos negativos para los cultivos

outdoor, está el caso de las abejas las cuales se les puede sacar provecho mediante el proceso de polinización.

Se puede concluir que para decidir la implementación de un cultivo outdoor o indoor el en la producción de cannabis se deben evaluar factores como, nicho de mercado, modelo de negocio, genética, clientes que permita establecer una comparativa para escoger que cultivo se adapta mejor al modelo.

Recomendaciones y Sugerencias

Se debe encaminar una próxima investigación a modelos de negocios de cultivos mixtos para la industria de cannabis en Colombia e investigar la viabilidad de este tipo de negocio en aspectos de impacto ambiental, rendimiento del cultivo e inversión.

Es importante que se piense en desarrollar prácticas sostenibles para ambos tipos de cultivos mediante la exploración de estrategias de sostenibilidad, la implementación de medidas de control integrado de plagas y enfermedades, y la consideración de la combinación de tecnologías para optimizar recursos y garantizar la calidad del cultivo.

Referencias

New Frontier Data. (2022, 9 marzo). *The 2018 Cannabis Energy Report - New Frontier data.*

<https://newfrontierdata.com/product/2018-cannabis-energy-report/>

Abc de la industria del cannabis en Colombia. (s. F.). Procolombia.

<https://procolombia.co/publicaciones/abc-de-la-industria-del-cannabis-en-colombia>

El Informe Mundial sobre las Drogas 2022 de la UNODC destaca las tendencias de los cannabis posteriores a su legalización, el impacto ambiental de las drogas ilícitas y el consumo de drogas entre las mujeres y las personas jóvenes. (s. f.). Naciones Unidas: Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito.

<https://www.unodc.org/unodc/es/press/releases/2022/June/unodc-world-drug-report-2022-highlights-trends-on-cannabis-post-legalization--environmental-impacts-of-illicit-drugs--and-drug-use-among-women-and-youth.html>

Wartenberg, A. C., Holden, P. A., Bodwitch, H., Parker-Shames, P., Novotny, T. E., Harmon, T. C., Hart, S. C., Beutel, M. W., Gilmore, M. E., Hoh, E., & Butsic, V. (2021a). Cannabis and the environment: what science tells us and what we still need to know. *Environmental Science and Technology Letters*, 8(2), 98-107. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00844>

Thc, R. (2021). Cannabis y medio ambiente: Cuánta agua usan los cultivos comerciales.

Revista THC. <https://revistathc.com/2021/03/05/cannabis-y-medio-ambiente-cuanta-agua-usan-los-cultivos-comerciales/>

Hidrolab. (2022, 18 julio). Plaguicidas y pesticidas: ¿cómo afectan a las plantas de cannabis?

Hidrolab. <https://www.hidrolab.com/blog/plaguicidas-y-pesticidas-en-cannabis/>

Diferencias entre semillas de marihuana de interior y exterior. (s. f.).

<https://www.dinafem.org/es/blog/diferencias-semillas-marihuana-interior-exterior/>

Cannabis.es. (2020). Cultivo básico: diferencias entre interior y exterior. Cannabis.

<https://www.cannabis.es/pw/2017/08/02/cultivo-basico-diferencias-entre-interior-y-exterior/>

Zheng, Z., Fiddes, K. R., & Yang, L. (2021a). A Narrative review on environmental impacts of cannabis cultivation. *Journal of cannabis research*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s42238-021-00090-0>

Alonso, D, Menoni, C y Saravia, F. (2022.). Sistema de monitoreo y control de cultivo indoor de cannabis. <https://www.colibri.udelar.edu/jspui/handle/20.500.12008/35421>

Ricardo, M. S. K. (2021, 5 mayo). Requerimientos agronómicos para un modelo productivo de cannabis en la provincia del Sumapaz. <http://hdl.handle.net/20.500.12558/3450>

Caracterización y parámetros de suelos para el cultivo de cannabis medicinal | HANNA

Instruments Colombia. (s. f.).

<https://www.hannacolombia.com/blog/post/514/caracterizacion-y-parametros-suelos-para-el-cultivo-cannabis-medicinal>

Cannabis.es. (2020). Cultivo básico: diferencias entre interior y exterior. Cannabis.

<https://www.cannabis.es/pw/2017/08/02/cultivo-basico-diferencias-entre-interior-y-exterior/>

Altamiranda, J. (2021). Desarrollo de un sistema de control de humedad de sustrato, temperatura y fotoperiodo para el cultivo de Cannabis en la empresa Green Cross International S.A.S. <http://hdl.handle.net/20.500.12495/6703>.

Garcia, A. (2023). Estudio de prefactibilidad para la industria del cannabis en el oriente antioqueño. <http://hdl.handle.net/10784/32410>

Agencia Europa Press (2021). Huella de carbono gigante por producción de cannabis en interiores. <https://www.elespectador.com/ambiente/huella-decarbono-gigante-por-produccion-de-cannabis-en-interiores-article/>

Lotero Giraldo, O. (2022). Estudio de viabilidad de un cultivo de cannabis para la exportación de flor seca con fines medicinales. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5683>

- Fernández, C. Martínez, D. Ottonello, M. (2022) Aspectos contables y fiscales de la industria del cannabis. <http://hdl.handle.net/20.500.11968/4858>
- Mila K. (2020). Requerimientos agronómicos para un modelo productivo de cannabis. Fusagasugá. <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/3823>
- Rivas, A. (2022, junio 02). Tablas, figuras y apéndices en Normas APA (7ma edición). Guía Normas APA. <https://normasapa.in/apendices-tablas-figuras/>
- Aurelio, R., López, N., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olgún, E. J. (n.d.). E Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.
- Diseño sistemático de proyectos. (n.d.). Retrieved October 8, 2023. <https://wgbis.ces.iisc.ac.in/energy/HC270799/HDL/spanish/pc/r044bs/r044bs00.htm#Contents>.
- Hernández, M., & Amilcar, R. P. F. (2018). Metodología De La Investigación: Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa Y Mixta. Mcgraw-hill Interamericana Editores S.A. De C.V., 753. https://www.Academia.Edu/44551333/metodologia_de_la_investigacion%20n_las_rutas_cuantitativa_cualitativa_y_mixta
- La Meteorología | National Geographic. (N.D.). Retrieved October 8, 2023, From <https://www.Nationalgeographic.Es/Ciencia/La-meteorologia>
- Weil, R., & Brady, N. (2017). The Nature and Properties of Soils. 15th edition.
- Dietz, T., Rosa, E. A., & York, R. (2007). Driving the human ecological footprint. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1), 13–18. doi:10.1890/1540-9295(2007)5[13:dthef]2.0.co;2
- Aigeneren, M. (2019) Análisis De Contenido: Una introducción. La sociología en sus escenarios. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ceo/article/view/1550>
- Vásquez, M. et al. (2010) El Análisis Descriptivo como recurso necesario en Ciencias Sociales y Humanas. *Fundamentos en Humanidades*. <https://www.redalyc.org/pdf/184/18419812007.pdf>

Pérez, V. et al. (2011) El análisis narrativo en la educación física y el deporte, Movimiento.

<https://roderic.uv.es/handle/10550/60526>

Sabiote, R. (2015). Teoría y práctica del análisis de datos cualitativos: Proceso general y criterios de calidad. Revista Internacional de ciencias sociales y humanidades.

USDA. (1999) Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo

<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022->

[10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf)

Mafía, H, Moreno, D, IDEAM. (2011) Manejo e interpretación de variables del clima y de agrometeorología

<https://sac.org.co/wp-content/uploads/2013/05/Cartilla-Clima-IDEAM.pdf>

Cuevas, M, Fallot, A. (2014) Resumen de métodos para estimar el consumo de agua en el análisis socioeconómico de un territorio de Bosque Modelo

<https://hal.science/hal-01089513/document>

Control de plagas. (s. f.). <http://npic.orst.edu/pest/index.es.html>

<https://www.minjusticia.gov.co/ministerio/Documents/Rendicion-Cuentas->

[2022/Tr%C3%A1mites%20cannabis.pdf](https://www.minjusticia.gov.co/ministerio/Documents/Rendicion-Cuentas-2022/Tr%C3%A1mites%20cannabis.pdf)

Alisson, C., Pachón, D., Juan, A., Rojas, P. M., Alejandra, L., Sierra, R., Valderrama, J. E., Jaime, G., & Salazar Peña, O. (n.d.). Diagnóstico de las condiciones agroecológicas requeridas por los cultivos de cannabis medicinal en Colombia.

¿Cultivo en interior o en exterior? (n.d.).

www.elsaltodiario.com. <https://www.elsaltodiario.com/nekwo-blog/cultivo-interior-o-exterior>

Energy consumption model for indoor cannabis cultivation facility. (2020). IEEE-Journals & Magazine | IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9121311>

Nafeesa Mehboob; Hany E. Z. Farag; Abdullah M. Sawas. Energy Consumption Model for Indoor Cannabis Cultivation Facility. Revista IEEE. Doi: 10.1109/OAJPE.2020.3003540}

Rubiano, D.(2019). Diseño de un plan de negocios para el cultivo, procesamiento y comercialización de cannabis medicinal. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C, Cundinamarca.

Fereshteh Zandkarimi 1 , John Decatur 1 , John Casali 2 , Tina Gordon 3 , Christine Skibola 4 and Colin Nuckolls. Comparison of the Cannabinoid and Terpene Profiles in Commercial Cannabis from Natural and Artificial Cultivation. Molecules 2023, 28, 833.
<https://doi.org/10.3390/molecules28020833>

ANEXOS

ANEXO 1. Modelo de entrevista a expertos

Los ejes principales de la entrevista pretenden profundizar la evaluación de variables como sustrato, propiedades físicas y microbiológicas de las plantas, uso de recursos agua y energía entre otros.

Antecedentes y Experiencia:

- ¿Podría compartir su experiencia en el manejo de diferentes genéticas de flores de cannabis en cultivos outdoor e indoor?
- ¿Hay alguna genética específica con la que hayan tenido resultados destacados o desafíos particulares?
- Basándose en su experiencia, ¿cómo varía el cultivo de cannabis en diferentes regiones del país?
- ¿Existen consideraciones específicas o desafíos al adaptar los métodos de cultivo a distintos entornos geográficos?

¿Cómo influyen las condiciones climáticas en sus cultivos de cannabis y cuáles son las estrategias específicas que implementan para hacer frente a las variaciones climáticas, tanto en los cultivos indoor como en los outdoor?

Cultivo Indoor:

- ¿Cuáles son los aspectos destacados en el control del cultivo de cannabis indoor, especialmente en relación con las propiedades fisicoquímicas de la flor?
- ¿Cómo gestionan el impacto ambiental en el cultivo indoor en comparación con el cultivo outdoor?
- ¿Podría compartir pautas clave para diseñar e implementar con éxito un cultivo de cannabis indoor?

- ¿Cuál sería el presupuesto típico para la instalación inicial de un cultivo de cannabis indoor?
- ¿Existen áreas específicas en las que se debe asignar un presupuesto significativo para garantizar la eficiencia y la calidad del cultivo indoor?

Cultivo Outdoor:

- Considerando el cultivo de cannabis outdoor, ¿cuáles son las principales ventajas y desafíos en términos de control del cultivo, propiedades fisicoquímicas de la flor y gestión del impacto ambiental?
- ¿Cómo eligen la ubicación adecuada para el cultivo outdoor, y cuáles son los criterios clave en esta selección?
- ¿Cuál sería el presupuesto típico para la instalación inicial de un cultivo de cannabis outdoor, y en qué áreas específicas se enfocan al asignar el presupuesto?

Sustrato y Nutrientes:

- En el proceso de cultivo de cannabis, ¿cómo realiza la selección de suelo o sustrato, tanto para cultivos indoor como outdoor? ¿Cuáles son los criterios clave que guían esta elección?
- ¿Cuáles son los nutrientes esenciales que consideran críticos para el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas de cannabis en los cultivos indoor y outdoor?
- ¿Existen diferencias significativas en la gestión de nutrientes entre ambos tipos de cultivos, y cómo adaptan las estrategias según las condiciones específicas de cada entorno de cultivo?

Control de Plagas y Enfermedades:

- ¿Cómo aborda el control de plagas y enfermedades en los tipos de cultivos?
- ¿Utiliza métodos orgánicos o químicos para el control de plagas?

- ¿Cuáles son las plagas más frecuentes que se puede dar en los cultivos de cannabis?
- ¿En cuál cultivo están más presente las plagas y enfermedades?

Clima:

- ¿Cuál es la temperatura ideal en un cultivo de cannabis en interiores y exteriores?
- ¿Existen condiciones climáticas que se deben tener presente en cada tipo de cultivo indoor y outdoor?

Selección de Genética:

- ¿Cómo selecciona el tipo de genética en un cultivo de cannabis indoor y outdoor?

Manejo de Residuos:

- ¿Cuáles son los principales residuos generados en los cultivos de cannabis?
- ¿Qué procesos utiliza la empresa para la disposición de los residuos en los cultivos de cannabis?
- ¿Utiliza materiales y envases reciclables o biodegradables en la operación?

Energía y Eficiencia:

- ¿Qué acciones pueden ser implementadas en un cultivo de cannabis indoor y outdoor para reducir el consumo de energía?
- ¿Cuánto es el costo y consumo promedio mensual de energía en un cultivo indoor y outdoor de cannabis?
- ¿Ha implementado o es posible usar tecnologías de energía renovable en la producción de cannabis?

Consejos para Principiantes:

- ¿Qué recomendaciones daría a un principiante de la industria para seleccionar el mejor modelo de cultivo de cannabis?

Tendencias Futuras:

- ¿Cuáles cree que serán las tendencias futuras e innovaciones más significativas en el cultivo de cannabis, ya sea indoor u outdoor, que podrían impactar la industria en los próximos años?

ANEXO 2. Modelo de encuesta

A continuación, se muestra el modelo en texto de la encuesta a aplicar, el formato de la encuesta final puede encontrarse en: <https://forms.gle/YTcZFkDEc7hX2nWQ7>

Estimado/a,

Le agradecemos por participar en nuestra encuesta sobre los cultivos de cannabis indoor (en interiores) y outdoor (en exteriores). Esta investigación tiene como objetivo analizar las diferencias entre las modalidades de cultivo indoor y outdoor evaluando el impacto ambiental, las propiedades de las plantas y las prácticas sostenibles.

Su participación en esta encuesta es esencial para obtener información valiosa que contribuirá a una comprensión más completa de los desafíos y oportunidades en la industria del cannabis. Sus respuestas ayudarán a los investigadores y a la comunidad a desarrollar estrategias más efectivas para el cultivo sostenible de cannabis.

La encuesta consta de 11 preguntas de selección múltiple que abordan diferentes aspectos de los cultivos de cannabis indoor y outdoor, sus respuestas serán confidenciales y se utilizarán únicamente con fines de investigación. El tiempo que tomara responder esta encuesta es de aproximadamente 20 minutos.

Le agradecemos por su tiempo y su contribución a esta investigación. Por favor, responda con sinceridad y detalle, ya que sus aportes son invaluable.

Comencemos con la encuesta.

1. **¿Acepta de manera voluntaria responder las siguientes preguntas que van a realizar aportes valiosos a nuestra investigación?**

- Si
- No

Empresa:

Cargo:

Correo electrónico:

1. **¿Qué tipo de cultivo de cannabis tienen implementado en su empresa?**

- Indoor
- Outdoor
- Mixto
- Otro:

2. **Basándose en su experiencia, en el control de cultivos ¿De las siguientes opciones, seleccione cual ha observado en los cultivos indoor y outdoor?**

(Seleccione todas las que correspondan)

- Mayor control de temperatura y humedad en cultivos indoor.
- Necesidad de sistemas de iluminación y ventilación en cultivos indoor.
- Menor dependencia de factores climáticos en cultivos indoor.
- Mayor influencia de factores climáticos en cultivos outdoor.

3. ¿Cuáles son las diferencias claves que ha observado en los costos de producción entre cultivos indoor y outdoor? (Seleccione todas las que correspondan)

- Costos más altos en cultivos indoor debido al control climático.
- Posibles ahorros en costos de energía en cultivos outdoor.
- Mayor inversión inicial en infraestructura para cultivos indoor.
- Menor inversión inicial en cultivos outdoor.
- Costos de mantenimiento más altos en cultivos indoor.
- Mayor necesidad de insumos en cultivos outdoor.
- Diferencias en costos de mano de obra entre los dos tipos de cultivos.
- No he observado diferencias significativas en los costos de producción entre ambos tipos de cultivos.

4. ¿Cuáles factores tienen mayor impacto en el aumento del presupuesto de un cultivo indoor y outdoor?

- Compra de suelos y sustratos en cultivos indoor
- Compra de suelos y sustratos en cultivos outdoor
- Consumo de recursos naturales (agua y energía) en cultivos indoor
- Consumo de recursos naturales (agua y energía) en cultivos outdoor
- Acondicionamiento de condiciones climáticas en cultivos indoor
- Acondicionamiento de condiciones climáticas en cultivos outdoor
- Análisis de laboratorio de nutrientes en cultivos indoor
- Análisis de laboratorio de nutrientes en cultivos outdoor
- Compra de productos para el control de plagas y enfermedades en cultivos indoor

- Compra de productos para el control de plagas y enfermedades en cultivos outdoor

5. En su opinión, ¿cuál de las dos modalidades de cultivo (indoor o outdoor) tiene un mayor impacto ambiental?

- Cultivo Indoor
- Cultivo Outdoor
- Cultivos mixtos

6. ¿Cuál cree que es la principal fuente de consumo en un cultivo de cannabis outdoor ?

- Consumo de agua para riego.
- Uso de insumos químicos.
- Otros:
- No considero que haya una fuente predominante.

7. ¿Cuál cree que es la principal fuente de consumo en un cultivo de cannabis indoor ?

- Consumo de energía para iluminación.
- Consumo de energía para control de humedad.
- Consumo de agua para riego.
- Uso de insumos químicos.
- Otros:
- No considero que haya una fuente predominante.

8. ¿Ha notado diferencias significativas en las plantas de cannabis cultivadas indoor y outdoor con relación a la presencia de patógenos o microorganismos no deseados?

- Sí, he observado una mayor presencia de patógenos en cultivos indoor.
- Sí, he observado una mayor presencia de patógenos en cultivos outdoor.
- No, he observado diferencias significativas entre ambas categorías.

9. ¿Qué diferencias ha observado en el ciclo de crecimiento de las plantas de cannabis entre cultivos indoor y outdoor en términos de duración y calidad de la flor?

- El ciclo de crecimiento es más corto en cultivos indoor y se obtiene mayor concentración de cannabinoides
- El ciclo de crecimiento es más corto en cultivos indoor y menor concentración de cannabinoides
- El ciclo de crecimiento es más largo en cultivos indoor y se obtiene mayor concentración de cannabinoides
- El ciclo de crecimiento es más largo en cultivos indoor y menor concentración de cannabinoides
- El ciclo de crecimiento es más corto en cultivos outdoor y se obtiene mayor concentración de cannabinoides
- El ciclo de crecimiento es más corto en cultivos outdoor y menor concentración de cannabinoides
- El ciclo de crecimiento es más largo en cultivos outdoor y se obtiene mayor concentración de cannabinoides

- El ciclo de crecimiento es más largo en cultivos outdoor y menor concentración de cannabinoides
- No he observado diferencias significativas en ninguna de las categorías mencionadas.

10. ¿Cuál de las dos modalidades de cultivo es más sostenible ambientalmente y lo influiría a elegir entre un cultivo indoor u outdoor?

- Indoor se percibe más sostenible debido a un mejor control ambiental.
- Outdoor se percibe más sostenible debido a una menor demanda de recursos naturales.
- Ambos se consideran igualmente sostenibles desde una perspectiva ambiental.
- No estoy seguro de cuál es más sostenible desde una perspectiva ambiental y no influiría en mi elección.

11. ¿Cuáles de las siguientes prácticas ha utilizado para reducir el impacto ambiental en sus cultivos, tanto en indoor como en outdoor? (Seleccione todas las que correspondan)

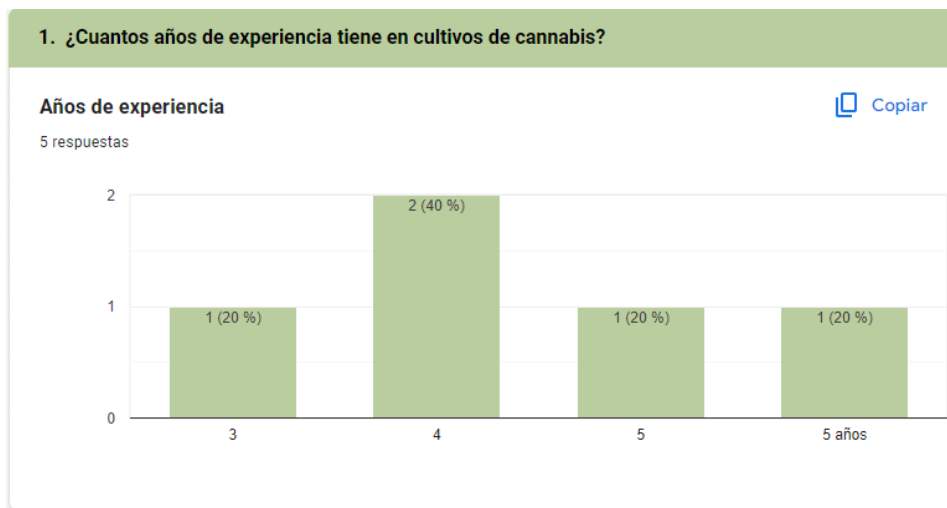
- Uso de fertilizantes amigables con el medio ambiente
- Reciclaje de residuos.
- Captación de aguas lluvias para riego del cultivo.
- Uso de tecnologías para riegos eficientes para conservar agua.
- Otros:

Apreciamos sinceramente su participación en nuestra encuesta. Su contribución y tiempo son invaluable para nuestro estudio y serán de gran ayuda para obtener información crucial. Gracias por su apoyo y dedicación a nuestra investigación.

ANEXO 3. Resultados encuesta

De acuerdo con los resultados de las empresas, se evidencia los siguientes resultados

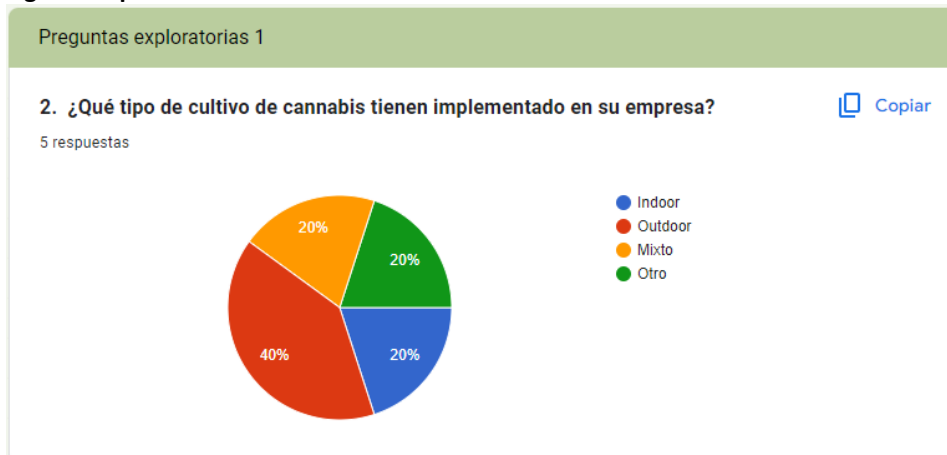
Figura 7 Años de experiencia de los expertos



Fuente: Elaboración propia

El rango de experiencia por parte de los expertos se encuentra entre 3 a 5 años. Este tiempo es equivalente a los inicios del negocio de cannabis en Colombia.

Figura 8 Tipos de cultivo



Fuente: Elaboración propia

Si selecciono "Otro" por favor brinde más información en esta sección.

2 respuestas

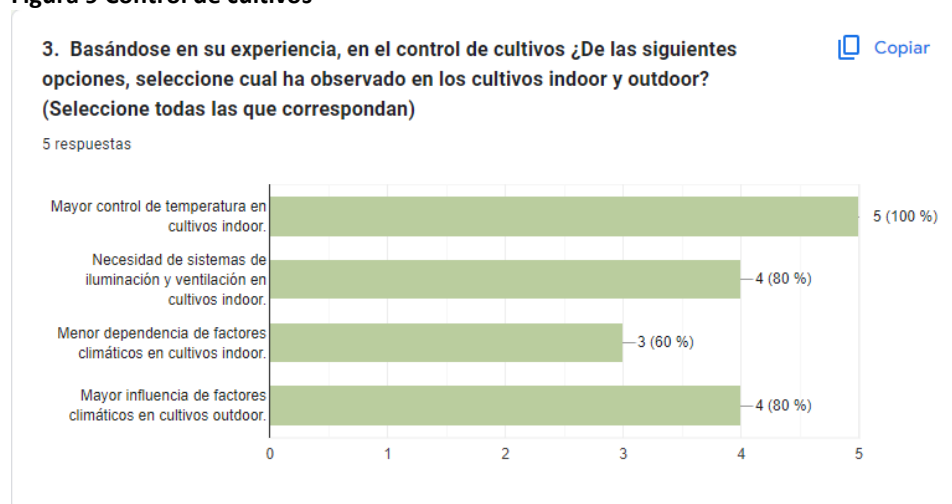
Bajo cubierta plástica

invernadero

Fuente: Elaboración propia

En Colombia la mayor tendencia para cultivar cannabis es bajo la modalidad outdoor y mixtos(otros) con un 40% de preferencia y finalmente 20% en cultivos indoor según los expertos en el área. Los cultivos mixtos son invernaderos controlados

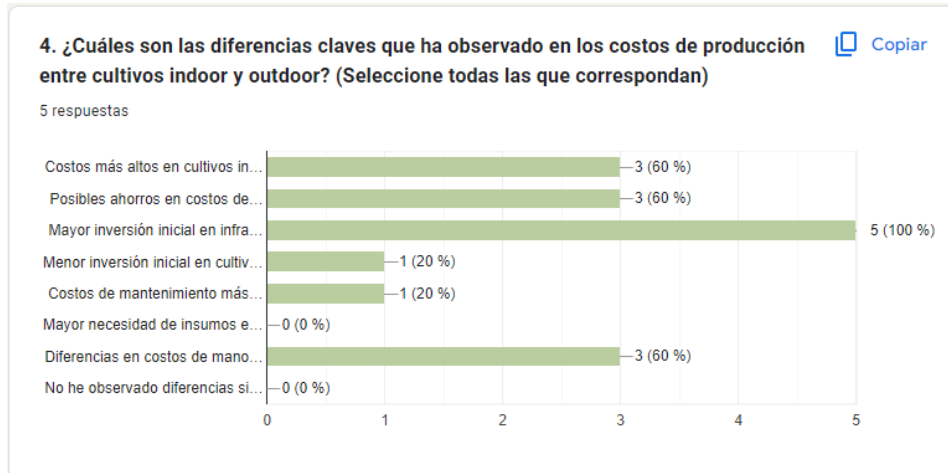
Figura 9 Control de cultivos



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados se puede observar que los productores de cannabis en cultivos indoor constantemente se controla la temperatura (100%) y circulación del CO2 (80%), debido a que se encuentra en un entorno cerrado y controlado. También se concluye que los cultivos outdoor son mayormente afectados por los factores climáticos (80%).

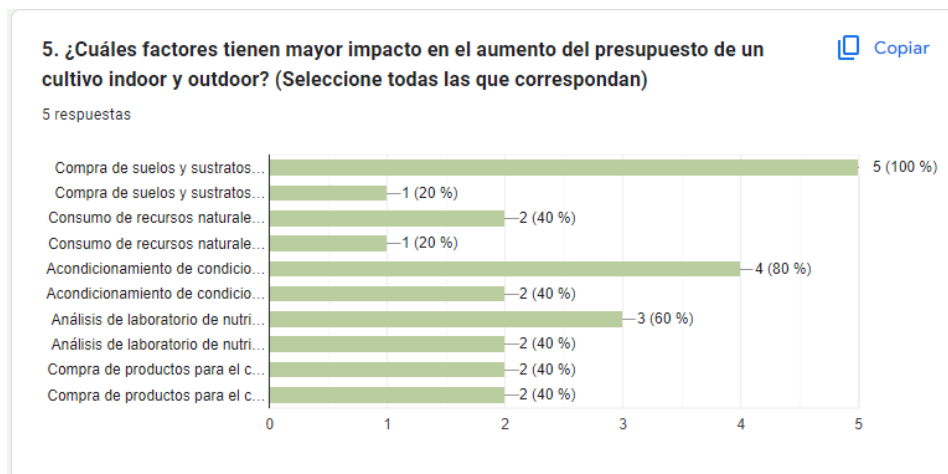
Figura 10 Costos de producción



Fuente: Elaboración propia

Los costos de producción y la inversión inicial para el desarrollo de cultivo indoor es más elevada según los expertos. En el caso de los cultivos outdoor la inversión es menor y el costo de la mano de obra entre los dos cultivos presenta diferencias significativas.

Figura 11 Presupuesto

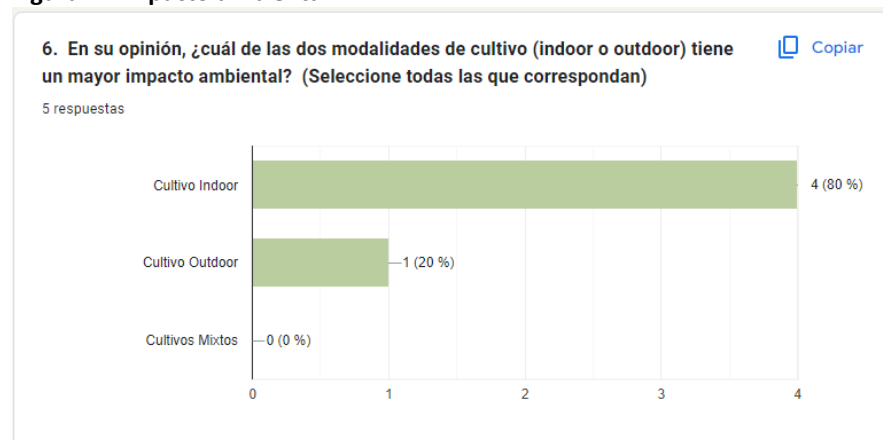


Fuente: Elaboración propia

Según los resultados, las compañías productoras de cannabis cuentan con un gran impacto en el aumento en su presupuesto por la compra de suelos, sustratos,

acondicionamiento de condiciones climáticas en cultivos indoor y la subcontratación de servicios analíticos para los nutrientes.

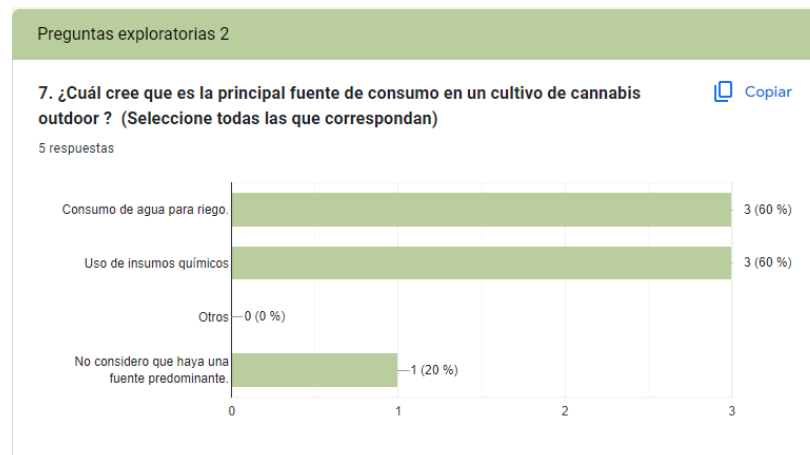
Figura 12 Impacto ambiental



Fuente: Elaboración propia

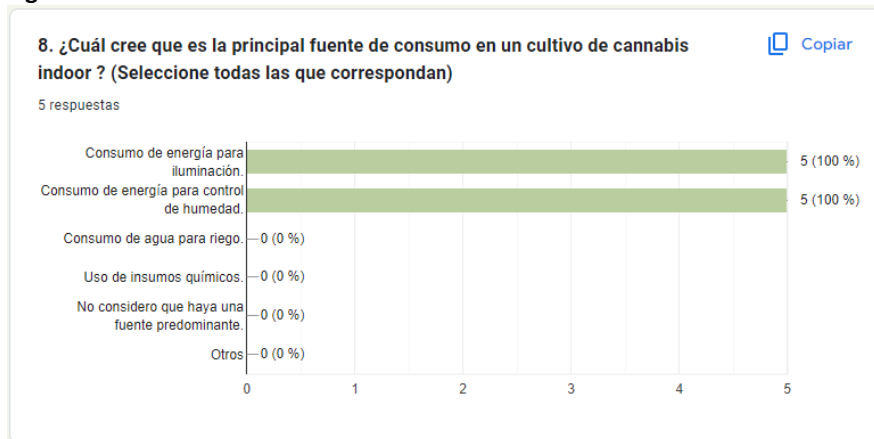
Se evidencia de acuerdo con los resultados, que los cultivos indoor son los mayores generadores de impacto ambiental.

Figura 13 Fuentes de consumo cultivos outdoor



Fuente: Elaboración propia

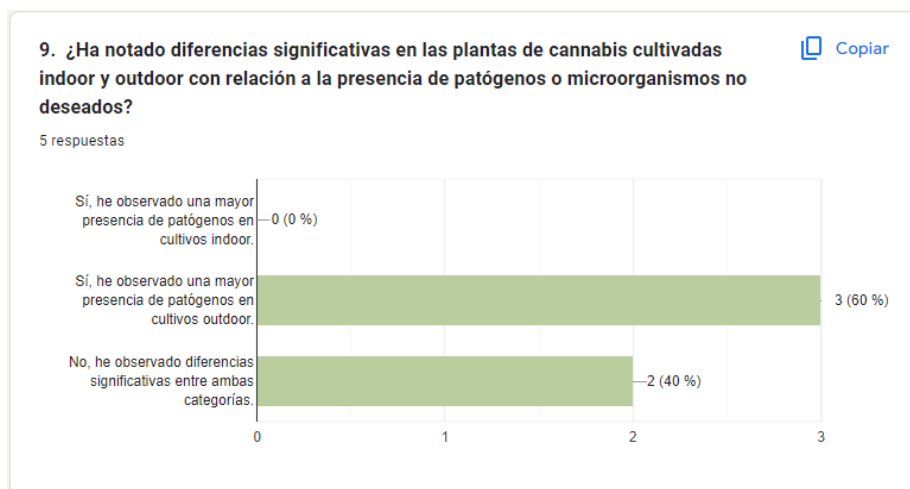
Figura 14 Fuentes de consumo cultivos indoor



Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que para los cultivos Indoor la mayor fuente de consumo es la energía, debido que puedes controlar las condiciones climáticas para mantener estable el crecimiento de la planta, en cuanto a los cultivos outdoor es necesario un consumo mayor de agua para riego en temporadas de verano para controlar la humedad del cultivo pero adicional, se requiere un mayor uso de insumos químicos para controlar plagas y enfermedades de la planta por estos cambios climáticos que se presentan actualmente en el país.

Figura 15 Diferencias en cultivos debido a patógenos y microorganismos



Fuente: Elaboración propia

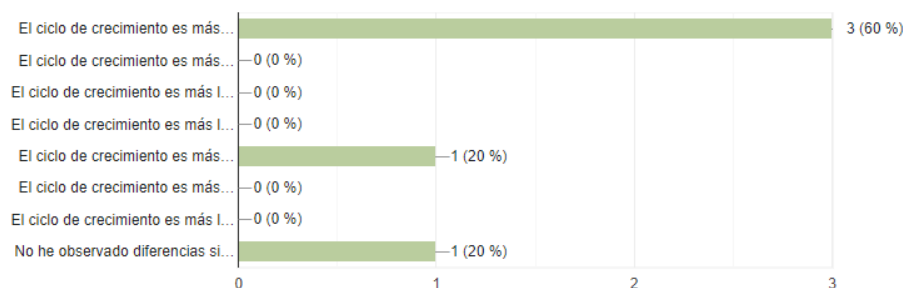
Debido a las condiciones del cultivo outdoor hay mayor presencia de patógenos en este tipo de cultivo, por lo cual requieren un mayor uso de insumos químicos para llegar a una reducción de este.

Figura 16 Ciclo de crecimiento de las plantas

10. ¿Qué diferencias ha observado en el ciclo de crecimiento de las plantas de cannabis entre cultivos indoor y outdoor en términos de duración y calidad de la flor? (Seleccione todas las que correspondan)

[Copiar](#)

5 respuestas



Fuente: Elaboración propia

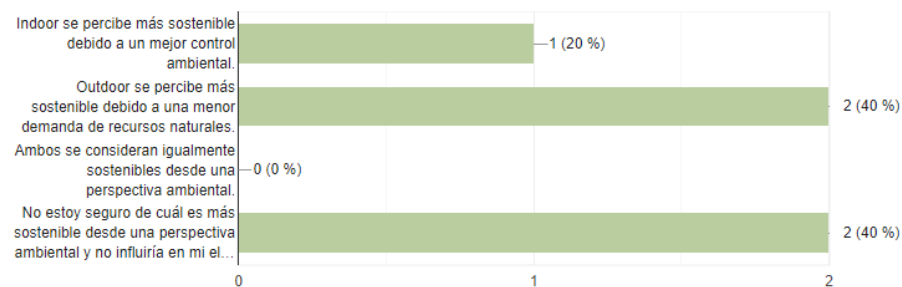
Se evidencia que el crecimiento de las plantas es más rápido en cultivos indoor y se obtiene mayor concentración de cannabinoides con un 60% de las empresas encuestadas. Por otro lado, un 20% no ha observado ninguna diferencia notable entre la calidad y duración de la flor.

Figura 17 Selección de cultivo

11. ¿Cuál de las dos modalidades de cultivo es más sostenible ambientalmente y lo influiría a elegir entre un cultivo indoor u outdoor? (Seleccione todas las que correspondan)

[Copiar](#)

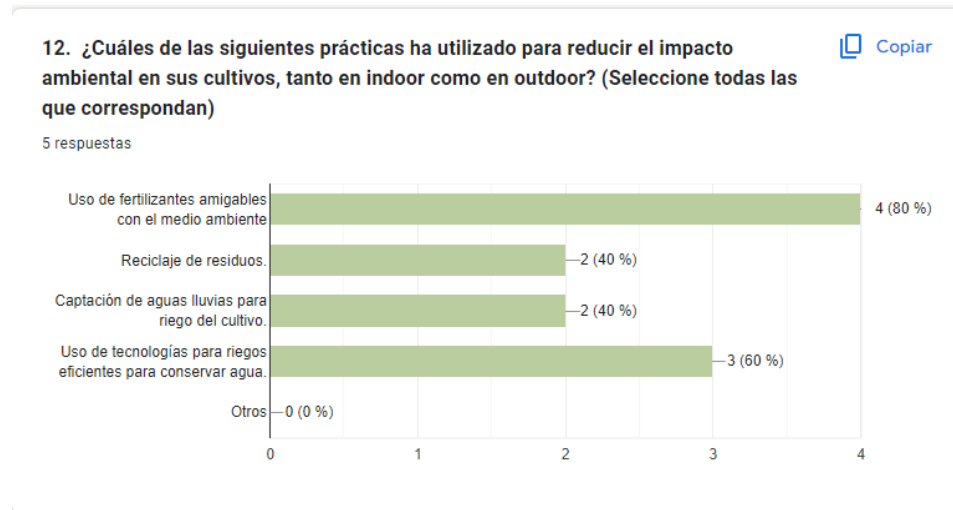
5 respuestas



Fuente: Elaboración propia

Como primera opción el cultivo outdoor es más sostenible ambientalmente con un 40% y aún se desconoce algún nuevo modelo de cultivo que pueda ser sostenible.

Figura 158 Prácticas de los cultivos para reducir el impacto ambiental



Fuente: Elaboración propia

El uso de prácticas para reducir el impacto ambiental en los cultivos de cannabis ha estado en auge, esto debido al impacto que genera la producción, el 75% de los encuestados afirma el uso de fertilizantes amigables con el medio ambiente para contribuir con la disminución de este impacto, mientras el 50% realiza un reciclaje de sus insumos, realiza captación de aguas lluvias para el riego de las plantas y se apoyan con el uso de tecnologías para el control de riegos.