

**PROCESO Y DISEÑO PRELIMINAR DEL APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE
Cannabis sativa L, EN LA EMPRESA SANNABIS S.A.S. DEL MUNICIPIO DE
CALOTO, CAUCA**



**JOSÉ LUIS CERÓN ANACONA
DARÍO ENRIQUE CHILANGUAD ROSERO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2018**

**PROCESO Y DISEÑO PRELIMINAR DEL APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE
cannabis sativa L, EN LA EMPRESA SANNABIS S.A.S. DEL MUNICIPIO DE CALOTO
CAUCA**

**JOSE LUIS CERÓN ANACONA
DARÍO ENRIQUE CHILANGUAD ROSERO**

**Trabajo de grado en la modalidad de Práctica profesional para optar al título de
Ingeniero Agroindustrial**

**Directora
M. Sc. DEYANIRA MUÑOZ MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
POPAYÁN
2018**

Nota de aceptación

La Directora y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

M. Sc. DEYANIRA MUÑOZ MUÑOZ
Directora

Ph. D. HÉCTOR SAMUEL VILLADA C.
Presidente del Jurado

Mg. JORGE LUIS SÁNCHEZ
Jurado

Popayán, 5 de septiembre de 2018

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO REFERENCIAL	14
1.1 QUÍMICA Y TAXONOMÍA DEL CANNABIS	14
1.2 CANNABIS MEDICINAL	16
1.2.1 Sistema endocannabinoide	17
1.2.2 Efectos del tratamiento térmico	18
1.2.3 Estado legal del cannabis	18
1.3 CANNABIS NUTRICIONAL	20
1.4 CANNABIS INDUSTRIAL	22
1.4.1 Cosecha del cultivo	23
1.4.2 Usos del cáñamo industrial	23
1.4.3 La industria del papel de cáñamo	25
1.4.4 Industria textil	25
1.4.5 Industria de materiales compuestos	25
1.4.6 Biomasa: combustible, calefacción y electricidad	27
1.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	27
1.5.1 Arrastre por vapor	27
1.5.2 Extracción etanólica	27
1.5.3 Extracción baño maría	28
1.6 DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE UNA PLANTA PROCESADORA DE <i>Cannabis sativa L.</i>	28
1.7 MÉTODO SLP (PLANEACIÓN SISTEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA)	29

	pág.
2. METODOLOGÍA	31
2.1 REVISIÓN PRELIMINAR DE LOS PROCESOS E INFRAESTRUCTURA	31
2.1.1 Diagnóstico inicial de la actual planta de producción	31
2.1.2 Condiciones iniciales de la materia prima	31
2.2 MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE LA FLOR DE <i>Cannabis sativa</i> L.	32
2.2.1 Preparación de extractos y operaciones unitarias	32
2.2.2 Obtención de datos y análisis de frecuencias	32
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DISEÑO PRELIMINAR DEL APROVECHAMIENTO DE FIBRA Y SEMILLA DE CANNABIS	32
2.3.1 Identificación de operaciones unitarias	32
2.3.2 Selección de equipos	32
2.4 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO Y DISTRIBUCIÓN FÍSICA	33
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	34
3.1 PROCESOS E INFRAESTRUCTURA PLANTA SANNABIS	34
3.1.1 Diagnóstico de la planta de producción	34
3.1.2 Características de la materia prima	38
3.2 PROCESOS DE APROVECHAMIENTO DE LA FLOR DE <i>Cannabis sativa</i> L.	41
3.2.1 Procedimientos y operaciones unitarias	42
3.2.1.1 Extracto puro de <i>Cannabis sativa</i>	42
3.2.1.2 Aceite de oliva con flor de <i>Cannabis sativa</i>	49
3.2.1.3 Cremas calientes de <i>Cannabis sativa</i>	53
3.2.1.4 Extracto por arrastre de vapor	55
3.2.2 Componentes de la flor de cannabis	56

	pág.
3.2.3 Movimiento del personal	57
3.3 PROCESO Y DISEÑO PRELIMINAR DEL APROVECHAMIENTO DE FIBRA Y SEMILLA DE <i>Cannabis sativa</i> L.	59
3.3.1 Operaciones unitarias para aprovechamiento de la fibra	59
3.3.2 Operaciones unitarias para semilla	61
3.3.3 Equipos para el aprovechamiento integral	62
3.4 INSTALACIÓN Y ESPACIO DE LA PLANTA FÍSICA	63
3.4.1 Representación nodal	65
4. CONCLUSIONES	70
5. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	77

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Enfermedades y dolencias asociadas a tratamientos con cannabis	16
Cuadro 2. Contenido nutricional de semilla de cannabis	20
Cuadro 3: aminoacidos en proteinas de diferentes alimentos	22
Cuadro 4. Evaluación de aspectos ponderados	35
Cuadro 5. Calificación de características y cumplimiento	36
Cuadro 6. Perfil de cannabinoides	39
Cuadro 7. Límite de metales pesados	40
Cuadro 8. Composición proximal del cannabis	48
Cuadro 9. Recomendaciones técnicas para la extracción con alcohol	49
Cuadro 10.Recomendaciones técnicas para la extracción con aceite	53
Cuadro 11. Recomendaciones técnicas para la extracción con vapor	56
Cuadro 12. Resultados espectrometría masas gases	57
Cuadro 13. Descripción de áreas	58
Cuadro 14. Flujo de operarios entre departamentos	58
Cuadro 15. Flujo total de operarios	59
Cuadro 16. Clasificación de proximidad para la tabla de relaciones	64
Cuadro 17. Calificación entre departamentos	64
Cuadro 18. Calificación de las relaciones entre departamentos	64
Cuadro 19. Requerimientos de bloques para representar cada departamento	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura molecular de cannabinoides	15
Figura 2. Antecedentes del cannabis	19
Figura 3. Aprovechamiento industrial de <i>Cannabis sativa</i> L.	23
Figura 4. Agroindustria del cáñamo	26
Figura 5. Resultado calificación obtenida	35
Figura 6. Representación gráfica del cumplimiento general	37
Figura 7. Diagrama de flujo de extracto puro de cannabis	44
Figura 8. Diagrama de flujo de aceite de oliva con cannabis	50
Figura 9. Diagrama de flujo de elaboración de cremas calientes de cannabis	54
Figura 10. Representación de extracción de arrastre por vapor	55
Figura 11. Diagrama de flujo del aprovechamiento de fibra	61
Figura 12. Diagrama de flujo del aprovechamiento de la semilla	62
Figura 13. Aprovechamiento integral del cannabis	63
Figura 14. Representación nodal A	65
Figura 15. Representación nodal B	65
Figura 16. Representación Nodal C	66
Figura 17. Representación en bloques ALTERNATIVA A, B y C	67
Figura 18. Plano de la planta	69

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diagnóstico de buenas prácticas para la producción y fabricación de derivados de cannabis	77
Anexo B. Sistema de disposición de desechos	100
Anexo C. Características del equipo Luminary profiler	104
Anexo D. Equipos	105
Anexo E. Aprovechamiento de fibra y semilla	109
Anexo F. Requerimientos de espacio	112
Anexo G. Calculo de eficiencia	116
Anexo H. Cálculo de la regularidad	118
Anexo I. Análisis de Laboratorio	120

RESUMEN

La empresa Sannabis S.A.S. del resguardo Toez de Caloto, desarrolla productos medicinales y cosméticos derivados de cannabis. La infraestructura poco tecnificada, ocasiona problemas de ineficiencia en los procesos e incumplimiento de los requisitos contemplados en la resolución 1816 de 2016 del Ministerio de Salud y Protección Social y ligada al nuevo decreto 613 de 2017 y la ley 1787 de 2016. Por lo cual inició acciones de mejoramiento en los procesos y diseños para el aprovechamiento integral de la planta de cannabis sativa. La metodología aplicada fue diagnóstico de las prácticas de procesamiento de cannabis, identificación de operaciones unitarias, equipos, falencias y propuesta de mejoramiento. Se propone la creación de una nueva planta de procesamiento que cumpla el buen desempeño de la producción medicinal y que integre los nuevos procesos industriales y medicinales las cuales completarían la cadena productiva del cannabis, considerando la actividad productiva de la fibra y la semilla de cáñamo.

PALABRAS CLAVE: Aprovechamiento, Cannabidiol, Cannabinoide, Cannabis, Cáñamo, Extracción, Marihuana, THC.

SUMMARY

The company Sannabis S.A.S. of Toez from the Caloto shelter, develops medicinal and cosmetic products derived from cannabis plant. The low-tech infrastructure causes problems of inefficiency in the processes and non-compliance according to the requirements contemplated in the resolution 1816 of 2016 of the ministry of health and social protection linked to the recently signed decree 613 of 2017 and the previous law 1787 of 2016. Where by this enterprise initiated improvement actions in the processes and designs for the integral usage of cannabis sativa plant. The methodology applied in this inquiry was: diagnosis of cannabis manufacturing practices, identification of unit operations, equipment, weaknesses and improvement proposal. It is suggest the creation of a new processing plant that meets the proper performance of medicinal production and that integrates new industrial and medicinal processes which would complete the cannabis production chain, considering the productive activity of fiber and hemp seed

KEY WORDS: Cannabidiol, Cannabinoid, Cannabis, Extraction, Hemp, Marijuana, THC, Utilization

INTRODUCCIÓN

Las diversas propiedades de la planta de *cannabis sativa* L., son de interés mundial, por ser una especie milenaria cuyas propiedades terapéuticas, nutricionales, industriales y científicas, han sido ampliamente aprovechadas por el hombre. La Dirección de Medicamentos y Tecnologías en Salud del Ministerio de Salud y Protección Social informa que medicamentos basados en cannabis son desarrollados en Alemania, Bélgica, Canadá, Chile, Dinamarca, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Holanda Italia y Reino Unido (Gaviria, 2014) y son usados principalmente para fines medicinales. Otro producto de alto valor industrial son los aceites extraídos de las semillas, que por su naturaleza y calidad, también tienen un mercado creciente.

La organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), reporto para el año 2011, una producción mundial de semilla de cannabis de 94065 toneladas en 27591 Ha cultivadas, y en fibra de 68125 toneladas en 42023 Ha de cultivo. Ubicó a China como el mayor productor (31.604 Ton), seguida por Corea del norte (14000 Ton), Países bajos (6100 Ton) y Chile (4385 Ton). (Fassio et al., 2013). Estas producciones significativas evidencian las oportunidades para el aprovechamiento integral de este material fibroso, en el ámbito internacional.

Durante muchos años, hasta su caída en 1991, la Unión Soviética fue, por amplio margen, el principal productor de cáñamo en el mundo, seguido por Italia, Rumania, Hungría, Yugoslavia y Polonia. China es probablemente el mayor productor de cáñamo en la actualidad, sin embargo, es difícil obtener cifras confiables de la producción de cáñamo china (Kallisti, 2011).

En el año 2013 la FAO, en sus reportes técnicos indican que el principal mercado de las fibras de cáñamo, a nivel mundial, son las pulpas especiales para papeles de cigarrillo y aplicaciones técnicas con el 70-80% del mercado. Avizoran que esta tendencia de crecimiento continuará como consecuencia del establecimiento de nuevas técnicas de producción (Fassio et al., 2013).

En Colombia y principalmente en el norte del Cauca se encuentran cultivos de cannabis que en su mayoría son considerados ilegales. Para el primer semestre de 2013, la Policía Nacional de Colombia, Dirección de Antinarcóticos, mediante reconocimientos aéreos, detectó en tres áreas del país un estimado de 200 hectáreas de marihuana, específicamente en el municipio de Caloto se detectaron 20 hectáreas de cultivos de marihuana (Roa, 2015).

El congreso de la república de Colombia, el 13 de Julio del año en curso, dio a conocer la ley 1787 de 2016 la cual crea un marco regulatorio que permite el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis y sus derivados en el territorio nacional, y la cual fortalece al decreto 2467 de 2015 “por el cual se reglamentan los aspectos de

que tratan los artículos 3, 5, 6 y 8 de la ley 30 de 1986” expedido por el Ministerio de Salud y Protección Social. Este decreto busca reglamentar el cultivo de plantas de cannabis y la autorización de la posesión de semillas para siembra de cannabis, igualmente el control de las áreas de cultivo, así como los procesos de producción y fabricación, exportación, importación y uso de estas y sus derivados, destinados estrictamente a usos médicos y científicos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

En el Sur Occidente de Colombia, existen diversos grupos desde campesinos, población indígena y empresarios interesados en estudiar y aprovechar los beneficios de esta planta. En el departamento del Cauca, una empresa pionera de la industria del *cannabis*, es Sannabis S.A.S, la cual ha llevado a cabo procesos de cultivo, producción y fabricación de derivados de *Cannabis* para uso medicinal y científico. Esta ha logrado una amplia gama de productos, un favorable posicionamiento en el mercado y un liderazgo en procesos de transformación, enfocados en el control de calidad, el apoyo a la actividad comercial de comunidades indígenas, ofreciendo una alternativa natural y orgánica para tratar diferentes patologías en pacientes y transformarse de la ilegalidad, a la legalidad.

La empresa, aprovechando el marco normativo legal que ofrece las leyes del país, está interesada en fortalecer el uso integral del cannabis, continuando con la actividad industrial que vienen desarrollando desde hace unos años e iniciando cadenas de producción que abarquen la utilización del tallo para la obtención de fibras industriales y el aprovechamiento de las semillas para reproducción vegetal y obtención de otros derivados de gran valor nutricional. Por lo tanto la empresa ha emprendido acciones de mejoramiento que les permite ser coherentes y dar cumplimiento con los compromisos misionales: “trabajar y promover la utilización alternativa e integral, desde la investigación, la educación, y elaboración de productos cosméticos, medicinales, alimenticios e industriales como base para el desarrollo de un modelo económico sostenible, aportando con esto a la construcción de la nueva propuesta de ley que reglamenta el Cannabis”, así mismo los compromisos visionales: “ser reconocida como pionera en impulsar la nueva economía a partir de la utilización integral de la planta *Cannabis*” (Sannabis, 2016).

Las actividades prioritarias de la empresa están enfocadas en los procesos y diseños preliminares para el aprovechamiento de la semilla, fibra y flor del cannabis, las cuales se realizaron con este trabajo de grado, mediante el diagnóstico preliminar de las condiciones de proceso, calidad, higiene y sanidad, conforme a las buenas prácticas para la producción y fabricación de derivados de cannabis, identificación de falencias, de operaciones unitarias que brinden la mayor calidad a los productos derivados y que describen la sabiduría ancestral de las comunidades, la descripción y las recomendaciones de mejoras. Además se identificaron equipos, se describieron y se realizaron observaciones. Se planteó el diseño de una planta para maximizar la productividad en todo el proceso integrando la utilización industrial de la fibra como materiales de construcción y la extracción de aceite de semillas con fines nutricionales que representan alternativas a corto plazo, como una parte de la fase de un trabajo de ingeniería de largo alcance, para el mejoramiento continuo de la empresa.

1. MARCO REFERENCIAL

Los datos arqueológicos e históricos revelan el uso del *Cannabis sativa* L. como alimento, cosmético, fuente de fibras, además de su uso para fines recreativos y espirituales, lo mismo que para paliar diversas enfermedades. El *Cannabis sativa* es originaria de Asia central y fue cultivada por primera vez en China, India, Afganistán y Paquistán, países donde se generó el primer registro de sus propiedades medicinales y se tuvieron los primeros conocimientos sobre sus usos industriales (de la Fuente, 2015).

Desde las enormes plantas para la producción de fibra de cáñamo industrial a las más potentes variedades medicinales el *Cannabis sativa* ha sido cultivada desde la antigüedad preclásica, el rango completo puede denominarse correctamente 'cannabis' o incluso 'cáñamo', ya que todos los tipos provienen de la misma especie. Su tallo proporciona fibra textil, cuerdas, velas, sacos, e incluso papel de fumar, mientras que sus semillas producen aceite para múltiples usos como fuente nutricional en alimentación, y en la industria como barnices, pinturas y jabón, además sus flores son utilizadas para la producción de resina.

1.1 QUÍMICA Y TAXONOMÍA DEL CANNABIS

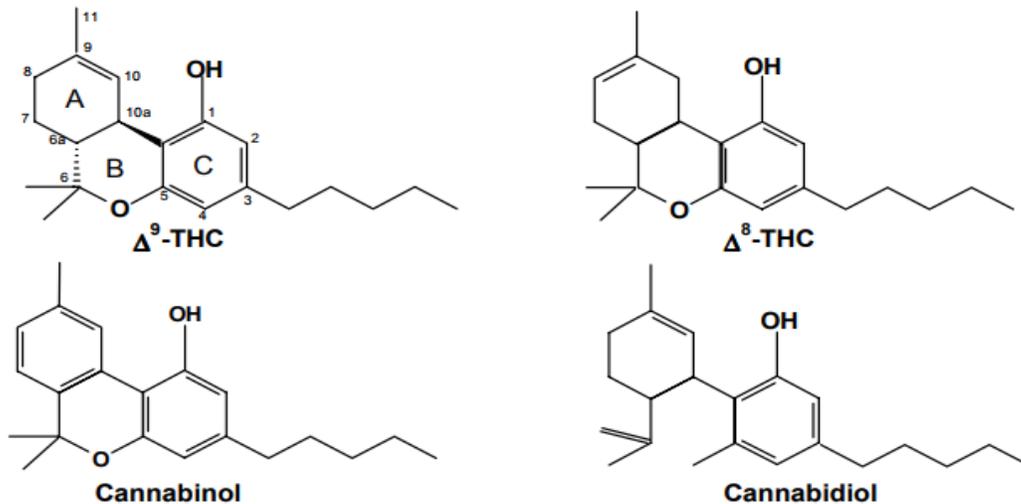
Cannabis sativa L. es el nombre científico de la planta (la L. se refiere a Linneo, quien la descubrió por primera vez y le dio su nombre botánico). Su composición química es muy compleja, ya que contiene más de 60 cannabinoides (fitocannabinoides), siendo el Delta-9-tetrahidrocannabinol el más abundante y biológicamente más poderoso. A la fecha se han identificado varias subclases de fitocannabinoides, destacando 11 tipos: 1) cannabigerol, 2) cannabichromene, 3) Delta-9-THC, 4) Delta-9-trans-THC, 5) Delta-8-trans-THC, 6) cannabicyclol, 7) cannabielsoin, 8) cannabinol, 9) cannabidiol, 10) cannabitrilol, 11) miscelánea; varios de estos cannabinoides son psicoactivos, pero otros, como cannabidiol, cannabigerol y cannabinol, que no muestran esta propiedad (Téllez, 2015).

Además de los cannabinoides anteriormente mencionados se encuentran también sus ácidos carboxílicos correspondientes en la droga bruta, así como en los productos vegetales. Generalmente, los ácidos carboxílicos tienen la función de un precursor biosintético. Así, por ejemplo, los tetrahidrocannabinoles (Δ 9-THC y Δ 8-THC) se producen in vivo a partir de los ácidos carboxílicos de THCA (Δ 9-THCA y Δ 8-THCA) mediante descarboxilación y el cannabidiol CBD se produce a partir de los ácidos cannabidiolcarboxílicos (CBDA) correspondientes (Müller 2005). En la figura 1. Se presenta la estructura molecular de los cannabinoides más importantes.

El CBD tiene la misma fórmula química y peso molecular que el THC (C₂₁H₃₀O₂, 314.46 g/mol), aunque su estructura molecular es ligeramente diferente. Al igual que el THC y la mayoría de otros lípidos, el CBD es hidrofóbico y lipofílico, lo que significa que no se

disuelve o emulsiona fácilmente en agua, pero sí se disuelve en grasas (al igual que la mayoría de disolventes orgánicos, como el butano y el alcohol (Seshata, 2013).

Figura 1. Estructura molecular de cannabinoides



Fuente: Guía básica sobre los cannabinoides, 2002.

En condiciones ácidas, el CBD se cicla (formando un nuevo anillo de carbono) para convertirse en THC. En condiciones alcalinas (en presencia de agua), el CBD se oxida para convertirse en hidroxiquinona de cannabidiol, que aún no se ha estudiado mucho, pero de la que sí se sabe que puede ejercer un efecto inhibitorio sobre las enzimas hepáticas (hígado) que son vitales para metabolizar los fármacos o drogas ingeridas (Seshata, 2013).

El *cannabis sativa* L. produce además aproximadamente 400 productos químicos distintos (terpenos, azúcares, hidrocarburos, esteroides, flavonoides, compuestos nitrogenados y aminoácidos). De ellos, destaca la presencia de aproximadamente 120 terpenos, productos responsables del sabor y aroma de las diferentes variedades, así mismo, la producción de flavonoides, entre los que sobresale la cannaflavina A y B, flavonoides que han mostrado actividad farmacológica (De la Fuente, 2015).

Después, desde el punto de vista taxonómico, pertenece a la clase de las dicotiledóneas, y a la familia Cannabaceae; su género es *cannabis* y la especie más conocida es *sativa*. Se han descrito tres subespecies: *cannabis sativa*, *cannabis sativa indica* y *cannabis sativa rudelaris*, las cuales se distinguen por su anatomía, hábitos de crecimiento, variación de hojas y tipos de semilla (De la Fuente, 2015).

Desde el punto de vista botánico, el *Cannabis sativa* es una planta herbácea, anual, de tallo erguido, recto y rígido, con sección transversal cilíndrica, raíz pivotante, de aspecto

áspero, color verde oscuro, y con ramas cortas y frágiles. Siendo una planta dioica, el pie femenino es más fuerte y frondoso que el masculino, que es pequeño, delgado y se marchita rápidamente después de la floración (De la Fuente, 2015).

1.2 CANNABIS MEDICINAL

El uso medicinal de la marihuana data del año 2737 A.C., cuando Shen Nung, emperador y padre de la Medicina descubrió el té a base de Cannabis, documentando por primera vez su uso terapéutico y medicinal por sus propiedades diurético, antiemético, antiepiléptico, anti-inflamatorio, analgésico y antipirético. En la India, Los médicos la prescribían como cura contra el insomnio, para mejorar el apetito y la digestión, lo usaban en el tratamiento del dolor o como parte de la medicina paliativa suministrada a enfermos terminales (Galán *et al.*, 2015).

Es importante señalar que algunos países a través de sus legislaciones criminalizan el consumo del cannabis sativa (marihuana), generando confusiones entre el uso recreativo y medicinal, ocasionando que no se estudie y analice la planta dentro del campo médico, evitando así formular y encontrar tratamientos de índole preventivo, curativo y paliativo para diversas enfermedades (Téllez, 2017).

En el cuadro 1, se muestran algunas patologías y su tratamiento con cannabis.

Cuadro 1. Enfermedades y dolencias asociadas a tratamientos con cannabis

Cáncer	Desde 1975 se sabe que el cannabis previene o combate considerablemente el tema de los tumores, tanto benignos como malignos (cancerígenos). Investigadores de la Facultad de Medicina de Virginia, han confirmado recientemente el resultado de estudios anteriores que demuestran la eficacia preventiva de la marihuana.
Enfermedad de Parkinson.	La mayoría de los enfermos de Parkinson medicados con “L-DOPA”, el medicamento más eficaz contra esta enfermedad, llegan a desarrollar complicaciones motoras incapacitantes (disquinesias). Tras 10 años de su tratamiento, se ha comprobado que el consumo de cannabis estimula los receptores donde se acopla el THC, surgiendo como una prometedora terapia para aliviar las disquinesias
Glaucoma	La marihuana beneficia al 90% de los enfermos de glaucoma, cuya ceguera se debe al aumento de la presión intraocular. La marihuana es entre dos y tres veces más efectiva que cualquier medicamento utilizado para disminuir la tensión intraocular.
Migraña	“El Canon Medicinæ”, escrito por el científico y médico musulmán Avicena en 1012, es considerado hasta el siglo XVII la obra de referencia más completa de la medicina. En esta colección de libros árabes, se hace alusión al empleo de la marihuana para enfermedades como la epilepsia o la migraña en donde el cannabis hace que

Cuadro 1. (Continuación)

Migraña	las arterias del cerebro se dilaten. Dado que la migraña es el resultado de la combinación de espasmos arteriales con una hiperrelajación de las venas, el consumo de cannabis hace que los cambios vasculares que produce el cannabis en la cubierta cerebral (las meninges) provoque la desaparición de los dolores.
Epilepsia	El cannabis es muy útil para el 60% de las personas que padecen epilepsia y es el mejor tratamiento para muchos tipos de ésta. En palabras del Medical World News: “La marihuana es posiblemente el antiepiléptico más potente conocido hasta el momento”. Relaja el aparato musculo esquelético, reduce los calambres, los espasmos, las convulsiones, la ataxia y otros trastornos neurológicos y motores.

Fuente: Téllez, 2017.

De acuerdo con lo anterior es evidente que, desde el mismo descubrimiento de la planta de cannabis, han sido múltiples los usos dados para preservar la salud, demostrando su versatilidad a la hora de tratar diferentes enfermedades corporales y neuronales. Adicional a ello se estima que aún falta mucho por investigar sobre las propiedades curativas de esta planta, y que debe hacerse un gran esfuerzo desde la academia y el estado para fortalecer sus usos medicinales en el país.

1.2.1 Sistema endocannabinoide. Todos los animales disponemos dentro de nuestro organismo de un sistema de señales bioquímico regido por sustancias y receptores cannabinoides, cuya principal función es regular la homeostasis del organismo, esto es, permitir que, cuando este sufre una alteración fisiológica, dicha alteración pueda ser rápidamente corregida. En condiciones fisiológicas normales nuestros cannabinoides endógenos hacen esta función. Pero cuando la alteración es lo suficientemente importante como para que nuestros cannabinoides endógenos sean incapaces de corregirla, la utilización de cannabinoides exógenos (como la marihuana, los derivados de la planta del cannabis o diferentes cannabinoides tanto herbales –fitocannabinoides– como sintéticos) pueden ayudar al organismo a recuperar su homeostasis natural (Bauso, 2015).

Los cannabinoides endógenos, llamados también endocannabinoides, son pequeñas moléculas derivadas del ácido araquidónico: la anandamida (araquidonoetanolamida), el 2-araquidodilglicerol, el 2-araquidonil gliceril éter, el N-araquidonoil-dopamina (NADA) y el O-araquidonoil-etanolamina (OAE), o también llamado virodamina (8, 9), y su función es activar los receptores de los cannabinoides. Los dos endocannabinoides mejor estudiados hasta el momento son la anandamida y el 2-araquidonil glicerol. Por otra parte, los receptores de cannabinoides conocidos son el CB1 y CB2. Los receptores tipo 1 CB1 son abundantes en todo el sistema nervioso central, específicamente en los ganglios basales y en el sistema límbico, y son los responsables de las actividades psicotrópicas, también se encuentran en las terminaciones nerviosas, incluidas las áreas asociadas al movimiento, mientras que los receptores de tipo 2 (CB2) se encuentran casi exclusivamente en el sistema inmunitario, con una gran cantidad en el bazo, y son responsables de la acción antiinflamatoria (Téllez, 2015).

1.2.2 Efectos del tratamiento térmico. Todos los cannabinoides contenidos dentro de los tricomas de los cogollos, tienen un anillo adicional carboxilo o grupo (COOH) unido a su cadena. El tratamiento térmico en el cannabis es recomendado como forma de potenciar el extracto final, rompiendo este anillo carboxilo y liberando al cannabinoide, es decir, para descarboxilar los ácidos cannabinoides presentes de forma natural o ácida en el material de la planta de cannabis, como son el THCA y el CBDA, y convertirlos en sus homólogos más potentes THC y CBD (Romano, 2013).

Los dos pilares principales para que se produzca la descarboxilación son la temperatura y el tiempo. Al fumar o vaporizar, se descarboxila la marihuana gracias a las altas temperaturas que se aplica, pero para otras formas de consumo, como la ingestión, se necesita realizar este proceso, de aplicar calor previamente. De esta forma, el organismo podrá absorber las formas psicoactivas de los cannabinoides durante la digestión. Para realizar el proceso se debe tener muy en cuenta la temperatura de ebullición de los cannabinoides y terpenos (Romano, 2013).

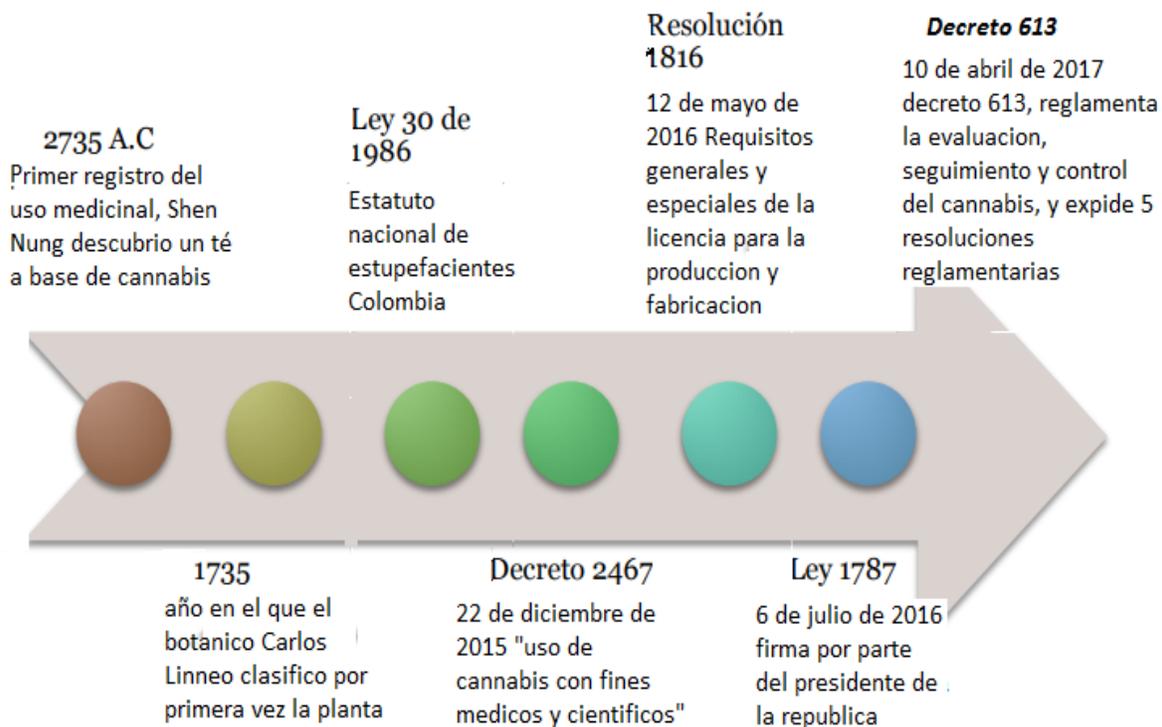
1.2.3 Estado legal del cannabis. El *Cannabis sativa*, actualmente es una sustancia sujeta a restricciones especiales, dentro del marco de la convención única de estupefacientes de 1961, aprobada por la asamblea de naciones unidas. En el literal b), del párrafo 5°, artículo 2° del acuerdo, se indica: “Las partes prohibirán la producción, fabricación, exportación e importación, comercio, posesión o uso de tales estupefacientes, si a su juicio las condiciones que prevalezcan en su país hacen que sea este el medio más apropiado para proteger la salud y el bienestar público, con excepción de las cantidades necesarias únicamente para la investigación médica y científica, incluidos los experimentos clínicos con dichos estupefacientes que se realicen bajo la vigilancia y fiscalización de la parte o estén sujetos a su vigilancia y fiscalización directas” (ONU, 1961).

Esta parte de la convención, mientras prohíbe la producción, fabricación, comercio y uso de sustancias estupefacientes como el cannabis, permite el uso de estas sustancias expresamente para empleos médicos y científicos, actuando bajo el principio de buena fe que pueden aducir los estados parte del convenio, tal como lo señalan los comentarios oficiales de la convención de 1961.

En el marco de esta regulación, algunos países del hemisferio manifiestan una tendencia hacia la despenalización del consumo de sustancias psicoactivas, particularmente el cannabis para uso terapéutico, a pesar de la prohibición general del consumo y la venta, de las sustancias prohibidas en la convención de 1961.

Así, los países en todo el mundo no solo han iniciado el debate del uso del *Cannabis sativa* medicinal, sino también han permitido por vía legislativa, que se inicien investigaciones propias para aprobar su uso terapéutico (Galán *et al.*, 2015). Dichos actos legislativos en nuestro país han dado como resultado un completo marco normativo del cannabis como se presentan en la figura 2.

Figura 2. Antecedentes del cannabis



Fuente: Percy & Duarte, 2016.

El marco normativo del cannabis se sustenta en la resolución 1816 de 2015 sobre obtención de licencias de uso de cannabis, y su guía grp-g07 del ministerio de salud y protección social de Colombia que dispone las buenas prácticas para la producción y fabricación de derivados de cannabis, además de lo nuevo impuesto por la ley 1787 de 2016 que crea un marco regulatorio sobre el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis y sus derivados en el territorio nacional, y su decreto 613 de 2017 el cual tiene por objeto reglamentar la evaluación, seguimiento y control de las actividades de importación, exportación, cultivo, producción, fabricación, adquisición a cualquier título, almacenamiento, transporte, comercialización, distribución, uso de las semillas para siembra de la planta de cannabis, del cannabis y de sus derivados, para fines médicos y científicos, el cual va de la mano con sus resoluciones 577, 578 y 579 de 2017 del ministerio de justicia y el ministerio de salud y protección social, que regulan técnicamente lo establecido en el Decreto 613.

Además la empresa Sannabis trabaja con el resguardo Toéz de Caloto, Cauca, quien comparte su sabiduría ancestral y lo ampara legalmente, por lo cual se cobija bajo el pronunciamiento de la corte constitucional sobre la sentencia c-882 acerca del derecho a la identidad cultural de las comunidades indígenas que puede ejercerse no solamente en los territorios indígenas sino en todo el territorio nacional. La Corte afirmó: "El derecho a la identidad cultural de los pueblos indígenas es un derecho que se proyecta más allá del lugar donde está ubicada la respectiva comunidad. Esto obedece a que el principio de diversidad étnica y cultural es fundamento de la convivencia pacífica y armónica dentro

del respeto al pluralismo en cualquier lugar del territorio nacional, ya que es un principio definitorio del estado social y democrático de derecho. Es este un principio orientado a la inclusión dentro del reconocimiento de la diferencia, no a la exclusión so pretexto de respetar las diferencias. Concluir que la identidad cultural solo se puede expresar en un determinado y único lugar del territorio equivaldría a establecer políticas de segregación y de separación. Las diversas identidades culturales pueden proyectarse en cualquier lugar del territorio nacional, puesto que todas son igualmente dignas y fundamento de la nacionalidad (artículos 7 y 70 C.P.). La opción de decidir si es conveniente o no dicha proyección y sobre el momento, la forma y los alcances es de cada pueblo indígena en virtud del principio de autodeterminación” (Sannabis, 2016).

1.3 CANNABIS NUTRICIONAL

Las semillas de *Cannabis sativa* L. tienen un atractivo sabor a nuez y son actualmente incorporados en muchos preparados alimenticios tales como pan, pasteles, galletas, yogurt, postres, helados, pastas, pizza, mayonesa, quesos, bebidas como leches, sodas, cervezas, vinos y café. El aceite de semilla de cáñamo obtenido de las semillas de *cannabis sativa*, es conocido por su sabor nutritivo, propiedades saludables y bioactividad, composición moderada a alta de tocoferoles y tocotrienoles (100 a 150 mg por 100 g de aceite), fitosteroles, fosfolípidos, carotenos y minerales. Curiosamente, las propiedades beneficiosas antes mencionadas del aceite de semilla de cáñamo ofrecen numerosas aplicaciones potenciales, por ejemplo, como componentes en los alimentos funcionales y en el tratamiento de diversos problemas de salud. Aquí, el descenso de colesterol alto y la presión arterial alta pueden ser nombrados como ejemplos (Mikulcová, 2017).

En comparación con otros aceites vegetales, es muy rico en ácidos grasos esenciales, La semilla contiene 25-35% lípidos, 20-30% de carbohidratos, 10-15% de fibras insolubles y una serie de vitaminas y minerales (Aladic, 2013).

El contenido de ácidos grasos, vitaminas y minerales en aceite obtenido a partir de semilla de cannabis correspondiente a estos porcentajes se reportan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido nutricional de semilla de cannabis

Ácidos Grasos	(g/100g)	Minerales	mg/100g	Vitaminas	mg/100g
Mirístico	- -	Fosforo (P)	1160	Vitamina E	90,0
Palmítico	6,2 +/- 0,13	Potasio (K)	859	Tiamina (B1)	0,4
Esteárico	2,4 +/- 0,07	Magnesio (Mg)	483	Riboflavina (B2)	0,1
Oléico	12,1 +/- 0,03	Calcio (Ca)	145		
Linoléico	57,3 +/- 0,03	Hierro (Fe)	14		
Gama - linolénico	3,0 +/- 0,02	Sodio (Na)	12		
Alfa - linolenico	16,7 +/-0,04	Manganeso (Mn)	7		
Araquidónico	1,0 +/- 0,04	Zinc (Zn)	7		
Eicosanóico	0,8 +/- 0,00	Cobre (Cu)	2		

Fuente: Callaway, 2004.

Según el cuadro anterior el contenido de ácidos grasos esenciales es considerable, siendo el ácido linoleico n-3 quien presenta mayor concentración (55% en peso) y alpha-linolénico n-6 (20% en peso), además encontramos el ácido oleico con un 9% en peso. El contenido de ácido gamma-linolénico es del 4% en peso, y el ácido palmítico oscila entre 0,5 y 2% en peso.

Además, este aceite también contiene tocoferoles, que pueden reducir el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, cáncer y degeneración macular debida a la edad, además de poseer actividad antioxidante, siendo su contenido en fenoles totales mayor que en otros aceites vegetales, como el de girasol o el de soja. Estos tocoferoles son conocidos por ser importantes antioxidantes que tienen un efecto positivo en la estabilidad oxidativa de los aceites. El tocoferol dominante en las semillas de cáñamo es el γ -tocoferol, seguido por el α -, β - y δ -tocoferol, la misma composición en tocoferoles se puede encontrar en el aceite.

Por otro lado, este aceite es rico en ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) y contiene bajas concentraciones de ácidos grasos saturados. Esto último es lo que lo hace realmente interesante desde el punto de vista nutricional, ya que hoy en día la dieta es cada vez más rica en ácidos grasos saturados y se intenta reducir su ingesta, debido a su relación con el incremento del colesterol total y colesterol LDL y, por tanto, con el riesgo de sufrir enfermedades coronarias. También, la vitamina E está presente en el aceite de semilla de cannabis junto a sus alpha, beta, gamma y delta tocoferoles que la componen, siendo estos los más importantes antioxidantes para el ser humano y los cuales son esenciales para la nutrición humana y corresponden a 90mg/100g de aceite de semilla, a su vez el mineral que presenta una mayor composición es el fósforo con 1150mg/100g de aceite de semilla (CANNA, 2015).

El subproducto que queda luego que las semillas han sido prensadas para la extracción de su aceite se denomina harina o torta de cáñamo. Mantiene altos contenidos de fibra y carbohidratos y aún conserva algo de aceite, por lo tanto es muy útil en la alimentación, tanto humana como animal. Usada para alimentación animal ha mostrado resultados muy positivos sobre la producción (gallinas, vacas y ovejas). Adicional a esto, las semillas de cáñamo son ricas en proteínas, alrededor del 25%, con un completo espectro de aminoácidos. Cerca de las 2/3 partes de la proteína de la semilla es edestina con una composición idéntica a la sangre humana pero de origen vegetal. Otra proteína que se encuentra presente en las semillas de cáñamo es albúmina; ambas proteínas (edestina y albúmina) son de fácil digestión y con un contenido nutritivo importante de todos los aminoácidos esenciales. A su vez las semillas poseen altos niveles del aminoácido arginina (Callaway, 2004).

Los contenidos nutricionales de aminoácidos esenciales comparados con la composición de aminoácidos de otras fuentes de proteína vegetal de alta calidad se presentan en el cuadro 3. Como se puede observar, las semillas de *Cannabis sativa* poseen una alta fuente de proteínas del reino vegetal, detrás de la soja. Ambos granos son muy versátiles en términos de diversidad de productos alimenticios, pero la semilla de cáñamo es más

fácil de digerir por los humanos, respecto al aminoácido arginina y al aminoácido esencial metionina su composición es significativa en comparación a otros alimentos.

Cuadro 3: aminoácidos en proteínas de diferentes alimentos

Aminoácido/	Trigo (14%)	Maíz (11%)	Soya (32%)	Cannabis (25%)	Canola (23%)
Histidina	0,27	0,26	0,76	0,71	0,72
Isoleucina	0,53	0,35	1,62	0,98	1
Leucina	0,90	1,19	2,58	1,72	1,80
Lisina	0,37	0,33	1,73	1,03	1,49
Metionina	0,22	0,18	0,53	0,58	0,46
fenilalanina	0,63	0,46	1,78	1,17	1,05
Treonina	0,42	0,34	1,35	0,88	1,13
Triptófano	0,51	0,04	0,41	0,20	0,31
Valina	0,61	0,46	1,60	1,28	1,26
Arginina	0,61	0,40	2,14	3,10	1,49

Fuente: Callaway, 2004.

1.4 CANNABIS INDUSTRIAL

El cultivo de cáñamo con fines industriales y alimentarios se refiere a la especie no psicoactiva de la planta de cannabis (la concentración de tetrahidrocannabinol o THC es inferior al 1%), cultivada en forma legal por granjeros alrededor del mundo en países denominados desarrollados (Dronkers, 2015).

El tallo de la planta de *Cannabis sativa* está constituido básicamente por dos tipos de materiales fibrosos. El interior del tallo contiene una medula leñosa constituida por fibras cortas de donde proviene la cañamiza, mientras que la porción externa contiene los filamentos utilizados industrialmente. La composición del tallo seco suele ser 50 – 55 % de cañamiza, 30 – 35% de filamentos y 10 – 15% de impurezas (Vallejos, 2006).

La fibra de *Cannabis sativa* es destacada tanto por su resistencia física como a la pudrición (propiedades anti-hongos y anti-microbianas) y el desgaste (alta durabilidad). Conduce el calor, tiñe bien y bloquea la luz ultravioleta. Es larga, fuerte y durable, contiene 70% de celulosa y bajo nivel de lignina (8 a 10%). Se dice que la fibra de cáñamo es 3 veces más fuerte, 4 veces más caliente y 7 veces más durable que la fibra de algodón, utilizándose para la producción de textiles como telas, ropa y alfombras (Rava, 2015).

Adicionalmente, las fibras se utilizan en materiales de la construcción (para revestimientos, aislamientos, materiales plásticos), en la producción de pulpa y papel, en piezas de automóviles y como cama animal. La European Industrial Hemp Association (EIHA) reporta que el nivel de CO₂ emitido en la producción de plásticos a partir de fibra

de cáñamo es casi 3,5 veces menor que el emitido en la producción de plásticos reforzado con fibra de vidrio, incluyendo en ambos casos el transporte (Rava, 2015).

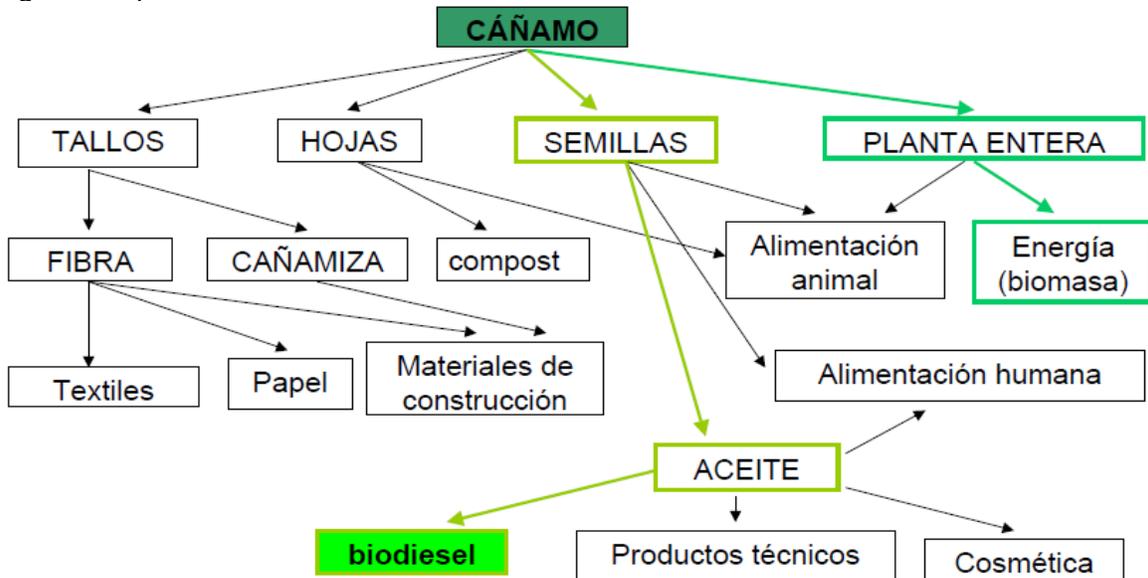
1.4.1 Cosecha del cultivo. Si se desea obtener una fibra de buena calidad, las plantas se cosechan cuando se encuentren en su proceso de la floración, antes de que las semillas tengan tiempo de desarrollarse, lo cual reduce la calidad y cantidad de la fibra (Fassio, 2013).

En el caso de que sea un cultivo para fibra no textil, donde el objetivo es el rendimiento, mas no la calidad del producto, se espera hasta el fin de la floración, donde es posible utilizar una cosechadora convencional que garantice una mayor productividad. Cuando la finalidad es obtener fibra textil, es necesario contar con una maquina específica para cáñamo, que pueda manejar las alturas y cantidades de biomasa del cultivo, sin dañar los tallos en el proceso. Doblar o quebrar los tallos representa una pérdida significativa en la calidad de sus (Fassio, 2013).

1.4.2 Usos del cáñamo industrial. El cáñamo ha tenido un considerable valor comercial. En Colombia, hacia 1925 ya había datos sobre la existencia de su cultivo y consumo; sin embargo, su uso solo llegó a extenderse en las décadas de los sesenta y setenta. Crece en los alrededores de la Sierra Nevada de Santa Marta, principalmente (Téllez, 2015).

Los diferentes usos y aprovechamiento industrial de la planta de *Cannabis sativa*, se presenta en la figura 3.

Figura 3. Aprovechamiento industrial de *Cannabis sativa* L.



Fuente: Acosta, 2003.

En la figura anterior se observa la versatilidad de la planta de *Cannabis sativa*, es una de las fibras más duraderas, resistentes y suaves del mundo, y hace siglos que los seres humanos descubrieron cómo fabricar hilo, cuerda y tejidos con ella. En el marco de los esfuerzos de Europa por hallar nuevas vías para mitigar el cambio climático, la búsqueda de nuevos biomateriales vegetales más sostenibles ha adquirido gran relevancia. Aunque la mayoría de las prendas de vestir y muchos otros productos se elaboran con algodón, el cultivo de esta planta tiene efectos muy perjudiciales para el medio ambiente. Esta pérdida de interés por el algodón hace necesarias nuevas soluciones que, según los investigadores de MULTIHEMP, bien pueden hallarse en el cáñamo (CORDIS, 2017).

El cultivo del cáñamo permitió que pudieran cambiarse las prendas hechas con pieles de animales por ropas de tejido. Los ejemplos más antiguos que se conocen de material tejido están hechos de cáñamo. En excavaciones arqueológicas se han descubierto varias prendas de ropa y tejidos, desde sandalias y vestimentas rituales hasta vendas o alfombras. Primero, las largas y resistentes fibras de las plantas se retorcián hasta formar un simple hilo. A su vez, las hebras de hilo eran trenzadas hasta transformarlas en cuerdas aún más resistentes (Dronkers, 2015).

Hay dos tipos de biocombustibles: el biodiesel y el etanol. El etanol se obtiene a partir de granos (maíz, cebada, trigo, etc.) y caña de azúcar, pero también se puede producir a partir de las partes no comestibles de la mayoría de las plantas. Suele utilizarse como biocombustible, pero generalmente se mezcla con gasolina. Los automotores diseñados para consumir gasolina sólo pueden tolerar que se añada un 10% de etanol a este combustible. Los coches de combustible flexible pueden utilizar hasta un 80% de mezcla de etanol. En Brasil, donde se cultivan grandes cantidades de caña de azúcar para biocombustibles, algunos automóviles pueden funcionar con etanol al 100% (Palmer, 2016).

El biodiesel se elabora mediante el refinado de aceites y grasas vegetales o animales, por lo general a partir de aceite vegetal, y requiere metanol. El diesel regular suele mezclarse con biodiesel en una proporción del 80%/20%, respectivamente, pero las mezclas pueden variar del 2%-100% de biodiesel. Una ventaja práctica del biodiesel es que cualquier coche diesel puede funcionar con él. El cáñamo, si se cultiva como materia prima para biocombustibles, podría producir ambos biocombustibles. La semilla de cáñamo tiene un contenido de aceite del 30-35% del peso de la semilla, lo que proporciona una producción de combustible de aproximadamente 207 litros por hectárea. Esta cantidad es considerablemente inferior a la obtenida del aceite de palma y del de coco, pero es más del doble que la de la semilla de colza, el cacahuete, y el girasol, y cuatro veces mayor que la de la soja. El resto de la planta se puede convertir en etanol mediante un proceso de fermentación bajo concentraciones bajas de oxígeno (Palmer, 2016).

El cáñamo fue el segundo material más utilizado en la construcción de navíos después de la madera y desempeñó un papel crucial en la exploración de todos los confines del planeta. Las fibras de esta planta se utilizaban en numerosas aplicaciones: velas, cuerdas, aparejos, ropa. Así por ejemplo, los huecos entre las tablas del casco de un

navío se rellenaban con fibras de cáñamo mezcladas con alquitrán para hacerlo impermeable (Dronkers, 2015).

1.4.3 La industria del papel de cáñamo. Esta industria utiliza las fibras para fabricar papel de alto valor agregado, como el que se usa en los billetes o en los cigarrillos; o libros de papel fino (tipo biblia) .Esto se logra por el bajo contenido de lignina de estas fibras, las cuales requieren de un proceso menor. Sin embargo, el proceso de extracción de lignina del cáñamo aún no ha sido perfeccionado a gran escala (Teschke, 2002).

El largo de las fibras y el contenido de celulosa y lignina son parámetros de calidad importantes de la materia prima para papel. El papel se hace más resistente a medida que el largo de las fibras con las que se elabora aumenta. El contenido de celulosa de la materia prima es muy importante, porque afecta directamente el rendimiento de la pulpa de papel (Fassio, 2013).

1.4.4 Industria textil. En general, hay dos calidades de textiles de cáñamo que pueden ser fabricados. La fabricación de telas, jeans, uniformes de trabajo, medias, zapatos, y carteras de mano, por ejemplo, requiere de fibras finas de alta calidad. Por otro lado, para fabricar sogas, redes, alfombras, lonas o geotextiles, fibra de baja calidad es suficiente. Por poseer propiedades antimicrobianas las fibras medias (estopa) son utilizadas en la fabricación de textiles de uso médico (Teschke, 2002).

La pulpa y la fibra de esta variante se emplean para la obtención de papel de fumar, de periódico, para embalaje, cartón, para impresión láser, de fibra textil para cuerdas, velas de barco, redes de pesca, mallas, bolsas, alfombras y ropa, como los primeros pantalones vaqueros Levi's, en los se empleó el tejido obtenido del cáñamo por su dureza y resistencia (Díaz, 2003).

1.4.5 Industria de materiales compuestos. Los materiales compuestos de cáñamo se componen de una matriz (suele tratarse de resina) que protege y da cohesión, a la que se agregan las fibras del cáñamo, para darle resistencia y hacerla más liviana. Para su fabricación usualmente se utiliza la cañamiza (por ser abundante) pero también se pueden usar fibras de baja calidad del floema o hasta plantas enteras, si se trozan (Teschke, 2002).

Como hemos visto, durante siglos la fibra de cáñamo fue usada para la producción de cuerdas y textiles gracias a su gran fuerza y durabilidad. Además, el cáñamo puede proveer material para la manufactura del papel y de otros productos compuestos de madera (como el trupan) así como productos industriales (textiles), sin embargo, el cáñamo representa menos del uno por ciento de la producción total de fibras vegetales (Kallisti, 2011). De los tallos se fabrican también bio-plásticos y materiales de construcción, como conglomerados, paneles, pastillas de freno o discos de embrague (Díaz, 2003).

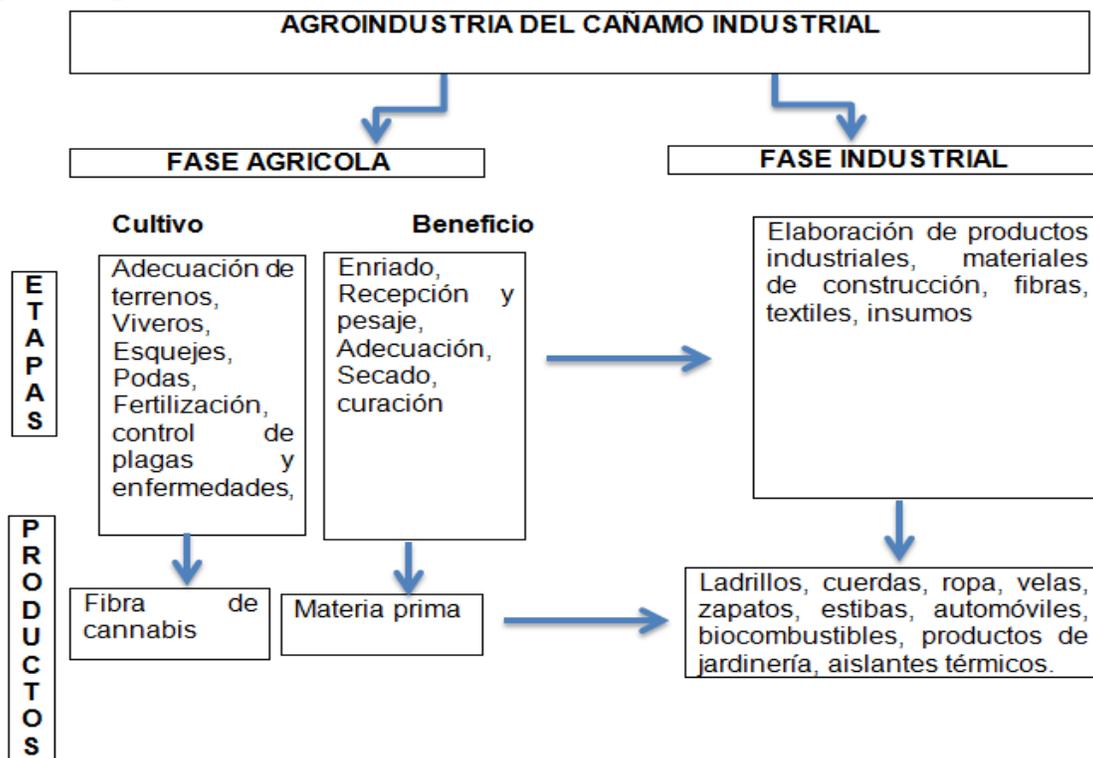
1.4.6 Biomasa: combustible, calefacción y electricidad. Las plantas enteras, las fibras de baja calidad o la cañamiza, por si solas pueden ser utilizadas como biomasa para aplicaciones energéticas, para proveer calefacción, electricidad o como combustibles.

Aparte de los usos tradicionales de la madera como materia prima para las industrias maderera, y del papel y de la pasta de papel, la biomasa forestal se utiliza fundamentalmente en la producción de bioenergía, mediante su combustión. La biomasa forestal está constituida fundamentalmente por los materiales lignocelulósicos de naturaleza fibrosa que forman parte de la pared celular que recubre las células vegetales, en cuya composición se distinguen tres tipos de biopolímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina (Ochoa, 2007).

En Suecia se ha utilizado biomasa de cáñamo en forma de pellets para alimentar las estufas domésticas en zonas residenciales, que usualmente utilizan madera. Otros métodos incluyen la fermentación, la pirolisis, o la destilación destructiva para procesar la biomasa y producir metanol, etanol o gasolina (Teschke, 2002).

En la figura 4 se encuentran las diferentes actividades en la fase agrícola para obtener fibra como materia prima, y una fase industrial donde se describe sus diferentes formas de aprovechamiento.

Figura 4. Agroindustria del cáñamo



En la industrialización del cáñamo se llevan a cabo procesos, tanto en la etapa productiva como en la fase de transformación, que le dan valor agregado mediante operaciones unitarias, y que determinan la finalidad de la fibra. De acuerdo a esto, su aplicación como sub-producto varía, según su calidad.

1.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Los preparados de cannabis más concentrados se denominan genéricamente extractos o resinas, y, dada la naturaleza hidrofóbica de los cannabinoides, se obtienen mediante la utilización de disolventes orgánicos (hexano, butano, acetona, benceno, isopropanol, etanol, etc.). Es importante señalar que la mayor parte de los disolventes de este tipo son muy tóxicos para el organismo y que los pacientes deberían abstenerse de utilizar productos que los contengan, aunque sea en cantidades mínimas. Este mensaje es especialmente importante para los pacientes que, por las características de su enfermedad, hacen un uso continuado de estas preparaciones.

Más recientemente han aparecido preparados cannábicos obtenidos mediante extracción con fluidos supercríticos, concretamente el dióxido de carbono (CO₂). Este proceso es más rápido y eficiente que la extracción con disolventes orgánicos y no deja residuos tóxicos en los productos finales. Por el momento, su gran inconveniente es el elevado coste (Sánchez, 2017).

1.5.1 Arrastre por vapor. Para obtener el principio activo del cannabis se usan métodos convencionales tales como la destilación por arrastre de vapor el cual es un proceso común para extraer aceites esenciales, en esta técnica se aprovecha la propiedad que tienen las moléculas de agua en estado de vapor de asociarse con moléculas de aceite; La extracción se efectúa cuando el vapor de agua entra en contacto con el material vegetal y libera la esencia, para luego ser condensada. A las flores de cannabis seleccionadas, se les aplica un pre tratamiento y se disponen en el equipo de extracción de aceite esencial, de modo que tan pronto comience el proceso de ebullición, el vapor pueda extraer los principales metabolitos hidrosolubles de la planta (UNAL, 2014).

Luego, el vapor pasa por un condensador en el que se procede a su enfriamiento, de tal manera que pueda hacerse una extracción del aceite en fase líquida, gracias a la separación del componente de vapor y el aceite de la planta obteniendo rendimientos entre 1,0 y 1,4% en la producción. El concepto de baño María implica el calentamiento indirecto, por convección térmica del medio, efectuando el proceso de descarboxilación de los cannabinoides.

1.5.2 Extracción etanólica. En la extracción con solventes orgánicos como el alcohol, se extrae la resina de la flor de cannabis disolviendo los componentes activos y concentrándose por medio de la destilación y evaporación, el disolvente menos tóxico para la elaboración de estos preparados es etanol, de grado alimenticio.

Otros de los productos cannábicos más utilizados por los pacientes son los aceites. Se trata de elaboraciones menos concentradas que las resinas o extractos, ya que se obtienen mediante la dilución de estos en aceites vegetales o la maceración en los mismos (en frío o en caliente) de la planta cruda. Los aceites más utilizados son los de oliva, uva, romero, sésamo, coco y cáñamo (Gómez, 2017).

1.5.3 Extracción baño maría. El baño María o baño de María es un método que se utiliza, para conferir temperatura a la mezcla de resina de cannabis con aceite o para calentarla lentamente, sumergiendo el recipiente que la contiene en agua hirviendo.

1.6 DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE UNA PLANTA PROCESADORA DE *Cannabis sativa* L.

La distribución de planta se define como la ordenación física de los espacios y elementos que hacen parte de una instalación industrial o de servicios. El objetivo de la distribución es hallar una ordenación de las áreas de trabajo y equipo en aras de conseguir la máxima economía en el trabajo, al mismo tiempo que la mayor seguridad y satisfacción de los trabajadores. Específicamente las ventajas de una buena distribución redundan en la reducción de costos de fabricación (Salazar, 2012).

La distribución tiene unos principios básicos con diferentes enfoques. En la integración de conjunto, integra con compromiso a todas las partes auxiliares. El Principio de la mínima distancia recorrida. Busca que el material recorra la mínima distancia entre áreas. El principio del espacio cubico utiliza de modo funcional todo el espacio que se tenga disponible, tanto vertical como horizontal. El principio de la circulación o flujo de materiales es aquel en que las operaciones y áreas de trabajo están en el mismo orden o secuencia en que se transforman, o se utilizan los materiales y el principio de flexibilidad será aquel que pueda ser ajustado o reordenado con el mínimo inconveniente y al costo más bajo.

Existen diferentes tipos de distribución como lo es la distribución por posición fija que aplica cuando el producto a elaborar es demasiado pesado o voluminoso y las unidades a elaborar son pocas; en esta distribución el producto permanece estático y todo aquello que se requiere para su ejecución es llevado al sitio de producción. También existe la distribución por proceso usada cuando se fabrica variedad de productos y el sistema de producción se hace en forma discontinua; en este tipo de distribución, la maquinaria similar se agrupa en centros de trabajo según la función que desempeñan.

También se tiene la distribución por producto o en línea donde la maquinaria y equipos necesarios para la ejecución del producto se agrupan en una misma área y se ubican de acuerdo con la secuencia del proceso de fabricación. Esta distribución se emplea cuando se demanda una producción masiva de uno o varios productos sistematizados (Cardozo, 2006).

1.7 MÉTODO SLP (PLANEACIÓN SISTEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA)

El método SLP fue desarrollado por Richard Muther como un procedimiento sistemático multicriterio y relativamente simple, para la resolución de problemas de distribución en planta de diversa naturaleza. El método es aplicable a problemas de distribución en instalaciones industriales, locales comerciales, hospitales, etc. Establece una serie de fases y técnicas que, como el propio Muther describe, permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos.

Además de las relaciones entre los diferentes departamentos, cinco tipos de datos son necesarios como entradas del método:

Producto (P): considerándose aquí producto también a los materiales, materias primas, piezas adquiridas a terceros, productos en curso y producto terminado.

Cantidad (Q): definida como la cantidad del producto o material tratado, transformado, transportado, montado o utilizado durante el proceso.

Recorrido (R): entendiéndose recorrido como la secuencia y orden de las operaciones a las que deben someterse los productos.

Servicios (S): los servicios auxiliares de producción y servicios para el personal.

Tiempo (T): utilizado como unidad de medida para determinar las cantidades de producto o material, dado que estos se miden habitualmente en unidades de masa o volumen por unidad de tiempo.

A partir de estos cinco datos se realizan los siguientes análisis:

Análisis P-Q: El análisis de la información referente a los productos y cantidades a producir es el punto de partida del método. A partir de este análisis es posible determinar el tipo de distribución adecuado para el proceso objeto de estudio.

Análisis de las relaciones entre actividades: Conocido el recorrido de los productos, el proyectista debe plantearse el tipo y la intensidad de las interacciones existentes entre las diferentes actividades productivas, los medios auxiliares, los sistemas de manutención y los diferentes servicios de la planta. Entre otros aspectos, el proyectista debe considerar en esta etapa las exigencias constructivas, ambientales, de seguridad e higiene, los

sistemas de manutención necesarios, el abastecimiento de energía y la evaluación de residuos, la organización de la mano de obra, los sistemas de control del proceso y los sistemas de información.

Diagrama de relacional de recorridos y/o actividades. El diagrama es un gráfico en el que las actividades son representadas por nodos unidos por líneas. Las líneas expresan la existencia de algún tipo de relación entre las actividades unidas. La ordenación del grafo debe realizarse de manera que minimice el número de cruces entre las líneas que representan las relaciones entre las actividades, o por lo menos entre aquellas que representen una mayor intensidad relacional.

Diagrama relacional de espacios. El siguiente paso hacia la obtención de alternativas factibles de distribución es la introducción en el proceso de diseño, de información referida al área requerida por cada actividad para su normal desempeño. Es similar a los diagramas relacionales presentados previamente (de actividades y de recorridos), con la particularidad de que en este caso los símbolos distintivos de cada actividad son representados a escala, de forma que el tamaño que ocupa cada uno sea proporcional al área necesaria para el desarrollo de la actividad. (Grass et al, 2010)

2. METODOLOGÍA

Las actividades realizadas para el desarrollo de la metodología planteada en este proyecto fueron: revisión preliminar de la planta de obtención de derivados de cannabis, identificación de deficiencias en la producción y puntos críticos de diseño según la guía grp-g07 del ministerio de salud y protección social, recomendación de parámetros de calidad, operaciones unitarias, selección de equipos y elaboración de un plano de la planta de aprovechamiento de fibra, semilla y flor de cannabis.

2.1 REVISIÓN PRELIMINAR DE LOS PROCESOS E INFRAESTRUCTURA

Se revisó información respecto a los procesos e infraestructura actuales de la empresa Sannabis, formatos de registros, manuales de seguridad y salud en el trabajo. Mediante lista de chequeo, se cuantifico el nivel de cumplimiento exigido en la guía técnica grp-g07, dispuesta en la Resolución 1816 de 2016 del ministerio de salud y protección social, la cual reglamenta las condiciones generales y las buenas prácticas para la obtención de derivados de cannabis

2.1.1 Diagnóstico inicial de la actual planta de producción. Según el nivel de cumplimiento obtenido con la lista de chequeo, se definieron las obligaciones técnicas sobre sanidad, higiene y calidad y las condiciones de operación que maximizan la calidad y evitan la contaminación o adulteración de los derivados obtenidos. Se hicieron observaciones sobre las condiciones generales que en la normativa vigente existen para el proceso productivo de derivados de cannabis y se elaboró un procedimiento para el manejo de los residuos del aprovechamiento del mismo.

En la lista de chequeo se involucraron aspectos de control de calidad, ensayos físicos y microbiológicos, disposiciones generales del proceso de producción y fabricación de derivados, condiciones de saneamiento e higiene, equipo humano y sus capacidades y edificaciones.

La escala de calificación asignada para cada uno de los ítems, mediante visita técnica, reuniones con el personal de planta, el gerente de la empresa y el encargado de producción, fue: 0 - No cumple; 1 - cumple parcialmente; 2 - cumple completamente; N.O - No observado; N.A - No aplica. La interpretación dada a la sumatoria del total de los ítems calificados fue: <60%: insuficiente cumplimiento de las buenas prácticas; 60 – 75%: regular cumplimiento de las buenas prácticas; 75 – 90%: buen cumplimiento de las buenas prácticas; >90%: excelente cumplimiento de las buenas prácticas.

2.1.2 Condiciones iniciales de la materia prima. Se determinó la concentración inicial de cannabidiol en la materia prima mediante balance de masa, a partir de los resultados obtenidos por espectrometría infrarroja de una muestra de extracto puro de cannabis

sativa procesada por la empresa Sannabis, y analizada por Senses Biotech- Colombia, con el equipo Luminary profiler, perteneciente a los laboratorios SAGE ANALITICS de California, EE. UU. Además, se establecieron los análisis físicos y microbiológicos necesarios en la caracterización de la materia prima y los procedimientos de pre tratamiento del cannabis antes de su transformación.

2.2 MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE LA FLOR DE *Cannabis sativa* L.

Se identificaron las operaciones unitarias, los equipos utilizados en la elaboración de derivados y se establecieron las condiciones de transformación, que garantizan que los productos de sannabis conservan su estructura natural y sus propiedades medicinales.

2.2.1 Preparación de extractos y operaciones unitarias. Para describir los procesos de extracción del principio activo de la flor de cannabis, se identificaron y describieron las operaciones unitarias, condiciones de operación y equipos utilizados, que son usados para la elaboración de diferentes productos cosméticos y medicinales.

2.2.2 Obtención de datos y análisis de frecuencias. A partir de los datos de las condiciones iniciales de la materia prima, se realizaron balances de materia que determinan las cantidades de masa y rendimientos en cada etapa de los procesos de extracción. Al mismo tiempo se identificaron otras sustancias presentes de interés agroindustrial, por medio del análisis espectrometría masas-gases realizado en el laboratorio de análisis industrial de la universidad del Valle y finalmente se utilizaron los diagramas de flujo de las operaciones de producción para hacer acompañamiento en la planta de procesamiento de derivados de cannabis, donde se pudo estimar los recorridos por trayectos, según los procedimientos que se realizan dentro de la empresa y aplicándolos al nuevo diseño de planta.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DISEÑO PRELIMINAR DEL APROVECHAMIENTO DE FIBRA Y SEMILLA DE CANNABIS

2.3.1 Identificación de operaciones unitarias. Para describir los procedimientos de aprovechamiento de fibra y semilla de cannabis sativa L, se identificaron las operaciones unitarias, y se describieron las actividades según como lo proyecta la empresa, donde se espera obtener principalmente materiales de construcción, fibra textil y artesanal y aceite nutritivo de semilla de cannabis.

2.3.2 Selección de equipos. Se identificaron los equipos utilizados en la empresa para la elaboración de los derivados de fibra y semilla, y se recomendaron mejoras según lo observado en las zonas de producción para que sean más acordes al método productivo del cannabis.

2.4 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO Y DISTRIBUCIÓN FÍSICA

La determinación del tamaño de la planta, el tamaño de los equipos y la asignación de las áreas, para aprovechamiento de la flor de cannabis, se elaboró teniendo en cuenta que ya existe un lote construido y equipos adquiridos por la organización, y el objetivo de este proyecto es hacer una correcta distribución de los espacios y equipos, según los diagramas de flujo de cada producto que se prepara en la empresa Sannabis S.A.S.

Para identificar las áreas y las medidas de los equipos del aprovechamiento de fibra y semilla, se realizó una visita a la planta productiva, y utilizando los diagramas de flujo, se aplicó el método slp, con el cual se propuso una redistribución que maximice la productividad del aprovechamiento

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los procesos e infraestructura de la empresa Sannabis en la actualidad están en fase de desarrollo. Uno de los procesos con mejor aprovechamiento es el de la flor, mientras el de fibra y semilla aún están en fase exploratoria.

La empresa no cuenta con estudios de diseño de procesos e infraestructura para el aprovechamiento integral del cannabis, se observó que la obtención de derivados fue el resultado de procedimientos transmitidos de generación en generación mediante pruebas por ensayo y error, y es manejado generalmente por comunidades indígenas con los mínimos requerimientos técnicos y utensilios no convencionales.

El sitio de producción de derivados a través del tiempo ha sido en espacio cerrado en instalaciones ubicadas en zonas rurales y de baja densidad poblacional, en este caso en Caloto, en la cabecera del resguardo Toez, y en la actualidad se reubicaron en zona rural del municipio de Corinto, Cauca.

3.1 PROCESOS E INFRAESTRUCTURA PLANTA SANNABIS

La empresa se ha enfocado en el cumplimiento de las disposiciones legales para mejorar sus Buenas Prácticas para la Producción y Fabricación de derivados de Cannabis con fines medicinales y científicos, las cuales establecen las obligaciones técnicas sobre sanidad, higiene y calidad de sus procesos e infraestructura.

Es por esta razón, se realizó un diagnóstico inicial construyendo una lista de chequeo que involucra dichas disposiciones legales. En el anexo A se presenta la lista de chequeo la cual contiene una calificación, una evidencia, una observación y una recomendación acorde al proceso productivo de derivados de cannabis.

Dentro de los requerimientos que se necesitan para transformar el cannabis, se elaboró el plano de aprovechamiento integral con todas las áreas necesarias para llevar a cabo la actividad industrial y cumplir con los parámetros de calidad.

La identificación de los procesos e infraestructura, son importantes al momento de establecer condiciones de fabricación y estandarización de un producto. El diagnóstico inicial, es el parámetro que determina en qué nivel se encuentra la empresa y hacia donde está enfocada.

3.1.1 Diagnóstico de la planta de producción. El porcentaje de cumplimiento respecto a la calificación obtenida en el diagnóstico se resume en el cuadro 4 y se representa en la

figura 5. Estos resultados fueron obtenidos de la lista de chequeo (Anexo A) en la revisión del proceso de aprovechamiento de cannabis, elaborada a partir de las disposiciones encontradas en la guía de regulación de precios de medicamentos grp-g07, expedida por el ministerio de salud y protección social.

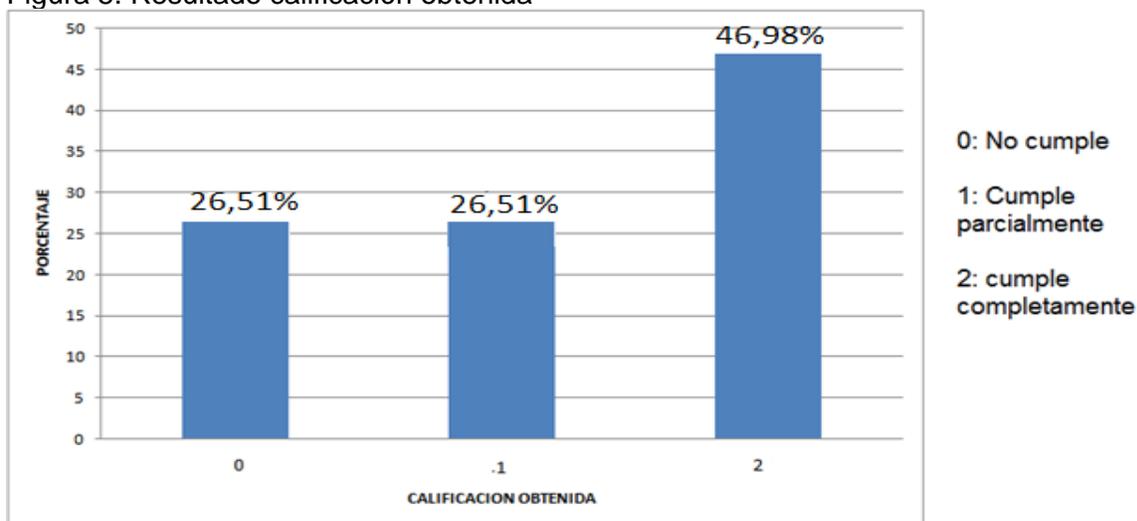
Cuadro 4. Evaluación de aspectos ponderados

Calificación	Cantidad aspectos ponderados	Porcentaje (%)
0	22	26,51
1	22	26,51
2	39	46,98
N.O	0	0
N.A	0	0
TOTAL	83	100

N.O: no observado, N.A: no aplica.

De los aspectos ponderados 39 tienen un cumplimiento total con un 46,98% sin embargo es un valor menor al 50%, lo cual indica planear estrategias que logren que los ítems puedan llegar a la calificación 2. Mientras se observaron 44 aspectos con calificación de 0 y 1, que sumados corresponden al 53,02% del total, los cuales son los más susceptibles a mejorar mediante actividades como el diseño de planta y la descripción de procedimientos y procesos.

Figura 5. Resultado calificación obtenida



Los ítems calificados con (1) en el histograma, hacen referencia a que muchos de los aspectos evaluados, carecen de algún elemento reglamentado en la guía técnica grp-g07 de 2016 del ministerio de salud y protección social, o que se debe hacer una mejora o replanteamiento, ya que sus características no son suficientes para satisfacer las

necesidades que se requieren para la transformación de la materia prima y el total cumplimiento de las buenas prácticas de procesamiento. El incremento de los ítems calificados de 1 a 2, depende de las actualizaciones que se están llevando a cabo por parte del Ministerio de justicia, en la regularización del cannabis medicinal en Colombia, especificadas en las resoluciones del decreto 613 expedido en abril del 2017.

Los ítems calificados con (0) correspondientes al 26,51%, son los aspectos más críticos evidenciados en la empresa en los que debe implementar acciones de mejora a corto plazo para mejorar la calidad en las extracciones. Las calificaciones no observado (N.O) y no aplica (N.A) no reportaron aspectos ponderados debido a que la evaluación corresponde a una adaptación de las características de transformación del cannabis a partir de los métodos de evaluación del Invima.

En el cuadro 5 se muestran los aspectos verificados, las puntuaciones máximas y obtenidas, y el grado de cumplimiento en cada uno de los ítems y se representan en la figura 6. Se tiene un cumplimiento global del 60,24% correspondiente a un cumplimiento REGULAR según la escala de calificación. La diferencia de puntuación total (66), especifica las características a mejorar de cada aspecto siendo los ensayos físicos y microbiológicos, los que mayor atención requieren.

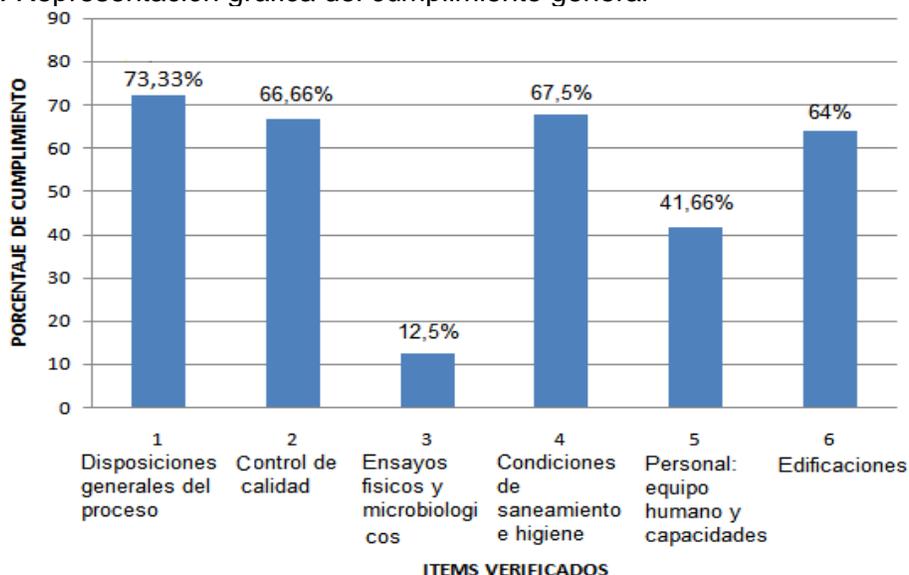
Cuadro 5. Calificación de características y cumplimiento

Aspectos a verificar	Puntuación Max	Punt. obt	Cumpl (%)
1. DISPOSICIONES GENERALES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y FABRICACIÓN DE DERIVADOS	30	22	73,33
1.1 Descripción de las áreas	8	7	87,5
1.2 Elementos de las zonas	6	4	66,66
1.3 Proceso de producción y fabricación	8	5	62,5
1.4 Salud ocupacional y seguridad industrial	8	6	75
2. CONTROL DE CALIDAD	18	12	66,66
3. ENSAYOS FÍSICOS Y MICROBIOLÓGICOS	16	2	12,5
4. CONDICIONES DE SANEAMIENTO E HIGIENE	40	27	67,5
5. PERSONAL: EQUIPO HUMANO Y SUS CAPACIDADES	12	5	41,66
6. EDIFICACIONES	50	32	64
6.1 Edificaciones del proceso de producción y fabricación	44	29	65,9
6.2 Ubicación de las instalaciones de producción y fabricación	6	3	50
Total	166	100	60,24

En la representación se observa con la más alta calificación el ítem “Disposiciones generales del proceso de producción y fabricación” con un 73,33% de cumplimiento, y con la más baja calificación el ítem de ensayos físicos y microbiológicos con un 12,5%, por lo tanto, se debe disponer de un laboratorio, donde se puedan llevar a cabo pruebas organolépticas, características macroscópicas y microscópicas, porcentaje de materias extrañas y pérdidas por secado, características que deben ser medidas dentro de la

empresa, por ser decisorias en la recepción de materia prima. Otros análisis son contenido de metabolitos, presencia de hongos, levaduras, coliformes totales y residuos de pesticidas para los cuales se podrá tercerizar con un laboratorio externo certificado, por el requerimiento de patrones específicos y técnicas espectrofotométricas especializadas.

Figura 6. Representación gráfica del cumplimiento general



El ítem “personal: equipo humano y capacidades” con 41,66% de aprobación, es la segunda más baja dentro de toda la evaluación indicando que requiere personal calificado en cada una de las actividades que se llevan a cabo en la organización, especificando la función que cumplen y capacitando periódicamente a los operarios en lo que refiere a seguridad laboral y actualización de procedimientos. Al personal que visite la planta se le debe exigir el uso de la indumentaria necesaria, que garantice la seguridad de los mismos y de quien se encuentre en ese momento en la planta.

Las instalaciones físicas para el desarrollo de actividades de transformación obtuvieron un porcentaje de cumplimiento del 64%. Esta puntuación se dio debido a que la infraestructura actual está ubicada en zona urbana. Sus alrededores presentan malezas, materiales en desuso, y falta de mantenimiento periódico. Otros inconvenientes que afectaron el grado de cumplimiento es que no se garantiza el uso de agua potable, evidenciando que se necesita la implementación de sistemas de purificación. Otro aspecto a mejorar es la separación de las baterías sanitarias por género y construir vestieres y casilleros necesarios, según el número de operarios.

El control de calidad cuenta con un porcentaje de aprobación del 66,66% es una calificación regular debido a que no se encuentran registros de los análisis de contenido de metabolitos ni se documentan las pruebas físicas y microbiológicas según lo dispone la

reglamentación vigente. La empresa debe contar con elementos en buen estado, limpios y calibrados, que permitan el aseguramiento de la calidad, haciendo control de temperaturas y humedad dentro del proceso de transformación, teniendo equipos de mantenimiento adecuado, limpio y en buenas condiciones, para que se puedan realizar procedimientos de limpieza después de cada jornada. Es importante la capacitación periódica de todos los miembros de la empresa e implementar un sistema de aseguramiento de la calidad como el 6 Sigma, o contar con certificaciones en normas ISO.

Las condiciones de saneamiento e higiene no superan el 67,5% de cumplimiento, el cual es un porcentaje muy bajo si se quiere garantizar un producto de alta calidad. Esta puntuación se dio por la falta de formatos de seguimiento, fichas técnicas, registros y un programa escrito de sanitización. Durante los procesos de transformación los operarios deben estar con la indumentaria adecuada, limpia y con los elementos de seguridad pertinentes. Se deberá instalar filtros sanitarios en entradas y salidas, para evitar una posible contaminación cruzada.

Las disposiciones generales de producción y fabricación de derivados tuvieron una valoración de 73,33%. Esto como resultado de poco orden observado en la sala de trabajo y el no mantenimiento en las diferentes áreas circundantes, no contar con manuales de procedimientos y de capacitación, no hacer control permanente de focos de contaminación ni mantener los registros. Se hace necesario que en el lugar de trabajo existan dispositivos que midan o regulen la temperatura. Se debe hacer un control de acumulación de basuras ya que esto puede generar avistamiento de plagas. Los equipos deben estar ubicados según el orden lógico del proceso y en buenas condiciones técnicas.

Se elaboró un sistema de disposición de desechos generados en la producción del extracto puro por la empresa (Anexo B), y tiene como objetivo realizar las actividades relacionadas con el manejo integral de los residuos sólidos generados en la planta de producción de derivados de cannabis en el marco de su separación, recolección, tratamiento y disposición final.

3.1.2 Características de la materia prima. El material de la planta de cannabis utilizado en este estudio es de la variedad Sativa y se obtuvo de los cultivos de Cannabis ubicados en el norte del Cauca en donde se cultiva con productos orgánicos elaborados por la misma empresa para hacer uso de las flores femeninas.

Se conoció el perfil detallado de cannabinoides mediante la prueba por espectrometría infrarroja al extracto puro de cannabis sativa L, donde se cuantificó el porcentaje total de THC, THC-A, Delta 9 THC, CBD y CBD-A en la muestra. Los análisis se hicieron con el equipo LUMINARY PROFILER (Anexo C) desarrollado en los laboratorios SAGE – ANALITICS de California EE.UU. y fue realizado por senses biotech quien es autorizado en el país para llevar a cabo este tipo de estudios.

El estudio de espectrometría infrarroja presentado en el cuadro 6 muestra como resultado las siguientes concentraciones según el perfil de medición: THC-A, CBD-A, Delta-9 THC, CBD, Total THC, Total CBD. Y se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Perfil de cannabinoides

Perfil de la medición de cannabinoides	
Producto: Sannabis sativa Puro	
Tipo	Extracto
THC-A: - - -	CBD-A: 0,1%
Delta-9 THC: - - -	CBD: 13.9%
Total THC: - - -	Total CBD: 14.0%
Total potencial THC: - - -	Total Potencial CBD: 14%

Fuente: SAGE ANALITICS LABORATORY, 2016.

Se presenta el contenido porcentual del CBD y CBD-A. Según se muestra en el resultado la descarboxilación se realizó correctamente, pues la gran mayoría de CBD-A se ha convertido en CBD debido al tratamiento térmico. La concentración del CBD encontrado en el extracto puro fue del 14%, y mediante balance composicional y de masa, se encontró teóricamente la concentración inicial del cannabidiol en la materia prima resultando 2,7% de CBD inicial. El THC reportado en el extracto puro es muy bajo o despreciable, por motivo de la genética de cannabis sativa usada en la empresa Sannabis que es nativa del norte del Cauca y presenta muy baja composición de este cannabinoide.

Se propone realizar análisis físicos y microbiológicos al cannabis, que tienen como fin identificar residuos de pesticidas, metales pesados, materias extrañas, levaduras, hongos y contaminantes para que la materia prima ingrese con una calidad aceptable al proceso de producción y fabricación. Estos análisis deben realizarse a cada lote de Cannabis para determinar las siguientes características:

Características organolépticas: los caracteres organolépticos incluyen olor, color, sabor y textura.

Olor: Aromático, aliáceo, nauseabundo, desagradable, a especia y otros. Muchas plantas y flores poseen olores característicos como la menta, anís, canela, pino o cítrico.

Color: Uniforme o no, Claro u oscuro o combinaciones.

Sabor: Dulce, amargo, astringente, ácido, salino, punzante, nauseabundo o aromático.

Características macroscópicas: se pueden observar a simple vista o con la lupa. Se observan caracteres como forma, dimensiones, superficie, fracturas, afectaciones, grosor, y dureza. Se observa detalladamente ciertas características como:

- Tallos: Tipo, uniformidad, disposición de las hojas.

Hojas: Forma, nerviación, textura.
Inflorescencias: Disposición de las flores, tamaño.
Flores: Libre de plagas o afectaciones.
Semillas: Tamaño, color, forma.

La observación minuciosa de las características morfológicas propias de cada órgano permitirá asegurar una materia prima de alta calidad, Estos ensayos sirven para confirmar la identidad de la materia prima y da una idea de su conservación donde se detectan posibles adulteraciones o falsificaciones.

Características microscópicas: Las características microscópicas y cortes histológicos son importantes, pues se observan en el microscopio elementos celulares como pelos, vasos, tricomas, folíolos, estomas, entre otros. Con ellos se puede confirmar la idoneidad de la materia prima cuando los análisis macroscópicos han sido insuficientes. También son necesarios para descartar la presencia de adulteraciones pues en ellos se pueden observar contenidos y estructuras celulares.

Porcentaje de materias extrañas: se debe verificar que no existan materiales como piedras, plagas y residuos. Normalmente, las farmacopeas toleran hasta un máximo del 2%.

Pérdida por secado: Se entiende por humedad el agua libre que contiene el material vegetal que para una buena conservación debe ser inferior al 10%, la adecuada técnica de secado mejora el aprovechamiento de los principios activos en la materia seca.

Límite de metales pesados: el cultivo de *Cannabis sativa* en suelos contaminados con metales pesados o el uso en su cultivo de fertilizantes de baja calidad puede suponer la presencia de elevados niveles de dichos metales en el producto final. Se presentan los límites de metales pesados en el cuadro 7.

Cuadro 7. Límite de metales pesados

Contaminante	Límite en microorganismos ppm
Arsénico	10,0
Cadmio	4,1
Plomo	6,0
Mercurio	2,0

Fuente: American herbal Pharmacopeia, 2010

Se presentan los límites máximos de los metales pesados que puede tener una muestra de flores de cannabis, si la muestra sobrepasa estos límites, el lote debe considerarse como desecho. Este análisis se realiza por medio de espectrometría de masas con plasma acoplado.

Coliformes totales y residuos de pesticidas: se pueden usar dos técnicas cromatografías distintas, líquida y gaseosa, ambas con detector de masa. Y es posible identificar y cuantificar hasta 310 diferentes residuos de pesticidas, de ser necesario se puede acudir a laboratorios externos certificados.

Organismos patógenos, hongos y levaduras: Por lo general, la planta se contamina en el momento de la recolección, disminuyendo la tasa en el proceso de secado. Sin embargo, los procesos de manipulación de la planta (trituración, embalaje, almacenamiento.) pueden aportar una contaminación suplementaria. Es importante medir su calidad microbiológica (vegetal y extracto) detectando los microorganismos aerobios totales, hongos, levaduras y enteras bacterias. Salvo excepciones, se permiten un máximo de 106 bacterias y 105 levaduras por gramo (Arraiza, 2010).

Se debe realizar un pre tratamiento a las flores de cada cosecha antes de ser transformada. Se recomienda que las flores de cannabis que llegan a su madurez, sean recolectadas cortando el tallo y llevadas a un proceso de secado el cual debe hacerse en un lugar oscuro para evitar la degradación de los cannabinoides. Los parámetros de temperatura y humedad en el secado, irán determinados según las condiciones geográficas y ambientales donde se lleve a cabo la actividad productiva, para el caso de la planta de producción de la empresa Sannabis ubicada en Corinto Cauca el cual tiene una temperatura promedio de 27°C y una humedad relativa de 61%, se deben usar corrientes de aire caliente que no supere los 30°C y no se hace necesario el uso de deshumidificadores.

Posteriormente se debe realizar la separación de la flor de los demás componentes de la planta y esta se debe depositar en recipientes de vidrio que sean almacenados en un lugar oscuro y ventilado por un tiempo no máximo a 90 días donde se realizara la maduración de los tricomas. Finalmente debe hacerse una reducción de tamaño en fragmentos más pequeños hasta homogenizar y se almacena a -4°C hasta su uso.

3.2 PROCESOS DE APROVECHAMIENTO DE LA FLOR DE *Cannabis sativa* L.

En el proceso de aprovechamiento de flor de *Cannabis sativa* se encontró que existen equipos que dentro de la industria no son los más adecuados y otros se encuentran subdimensionados y como consecuencia no cumplen con las especificaciones técnicas para obtener productos derivados de alta calidad, pues no tienen control de temperatura, humedad, ni se encuentran hechos en materiales adecuados para las extracciones medicinales. Ciertas operaciones unitarias deberán controlar sus variables de operación como tiempos de ejecución, temperaturas, concentraciones, utensilios usados e instrumentos de medición para garantizar las condiciones finales del producto.

A continuación, se describen las operaciones unitarias para la obtención de derivados de *Cannabis sativa* y se presentan los diagramas de flujo.

3.2.1 Procedimientos y operaciones unitarias. La extracción con alcohol consta de dos puntos críticos de diseño a mejorar que son destilación y concentración (evaporación); en la primera se usa un equipo destilador de agua que no tiene un control de temperatura y se usa para destilar el alcohol por 1 hora. La concentración se realiza en una plancha de calentamiento con control manual de temperatura y esta se lleva hasta los 75°C, donde los ácidos logran su descarboxilación en sus compuestos más simples y medicinales,

En la extracción con aceite de oliva se mezclan las flores de cannabis con el aceite y se llevan al baño maría durante 90 minutos a 90 grados centígrados. Luego se filtra y se empaca, en el caso del vapor de agua no se extrae los cannabinoides ya que estos no son solubles en agua, por el contrario extrae otras sustancias que conforman el aceite esencial de *Cannabis sativa*.

Seguidamente se describen las operaciones unitarias para la obtención de los productos derivados de cannabis.

3.2.1.1 Extracto puro de *Cannabis sativa*.

Adecuación de materia prima: las flores aceptadas en la inspección inicial deben ser conservadas en un lugar refrigerado, y antes de su procesamiento serán congeladas, con el fin de que los tricomas que contienen las moléculas resinosas se quiebren o separen de la flor fácilmente, a continuación se realiza una reducción de tamaño en un molino, con el fin de aumentar la superficie en contacto con el solvente y así poder disminuir el tiempo de la operación, además se recomendará la extracción con recirculación de alcohol (extracción por etapas).

Mezcla: cada 500 gramos de flores molidas congeladas se mezclan con 5 Litros de alcohol etílico grado A sin desnaturalizar (USP), y se masera ligeramente conservando en frasco de vidrio sellado con papel vinipel y tapa de vidrio.

Reposo: la mezcla anterior se deja en un lugar oscuro por 12 horas mientras los metabolitos de la flor de cannabis se disuelven. En el tratamiento del alcohol por parte del operario se debe usar mascarilla de protección antes y después del reposo, por la liberación de fuertes olores y gases que pueden llegar a causar molestos mareos y dolores de cabeza.

Filtración: se prepara la mezcla para la filtración en un tamiz donde se retiene toda la materia vegetal de la flor de cannabis separándose de la mezcla de alcohol con resina la cual es de un color verde, este proceso puede durar hasta dos horas, para asegurarse de separar la mayor cantidad de alcohol. Los residuos deben pesarse, clasificarse, y utilizarse según los planes de gestión de desechos sólidos y líquidos de la empresa. El alcohol resinoso es recolectado en recipientes y se dispone a destilar.

Se agregan 5ml de aceite de oliva en el proceso para evitar que la mezcla se pegue en el recipiente.

Destilación: actualmente se usa un destilador de agua que aumenta la temperatura de la misma hasta 72°C la cual fue medida con el termómetro de mercurio y está en el rango térmico de vida de las moléculas de interés de esta investigación el THC, CBD y CBN, aunque con esa temperatura se ven afectados otros componentes como terpenos y flavonoides que son mayormente hidrosolubles pero que son arrastrados por el alcohol. Este proceso puede durar aproximadamente 2,5 horas mientras se reciclan dos terceras partes del alcohol los cuales son almacenados en recipientes sellados y rotulados, mientras en el interior del equipo se va concentrando una solución resinosa, color ámbar, la cual corresponde aproximadamente a una tercera parte del total de la solución inicial antes de destilar, este concentrado es almacenado y se prepara para poner a secado.

Evaporación o concentración: la solución concentrada se pone en un recipiente sobre una plancha de calentamiento con control de temperatura donde no pasa de los 70°C, conservando las propiedades de los cannabinoides extraídos, este secado que se hace a baja temperatura, puede durar varias horas o incluso días, hasta retirar la mayor cantidad de alcohol que es evaporado y va dejando una solución viscosa, muy resinosa es de color marrón oscuro o verde oscuro o ámbar, y posee la consistencia de un aceite espeso o una pasta semisólida, y aroma herbal intenso

Empaque: al tener la resina en las condiciones deseadas se procede a empacar en jeringas de 5 mililitros, las cuales son previamente rotuladas y etiquetadas. De los 500 gramos de flor de cannabis inicial se obtienen entre 7 y 13 jeringas. Y se guardan en cajas marcadas y rotuladas.

Aplicación y descripción del producto final: Para usos neuronales y nerviosos, es un excelente regenerador celular y potente paliativo, recomendado para tratar múltiples enfermedades sintomáticas y/o crónicas consideradas de gravedad mayor o menor, principalmente las que están relacionadas con afecciones a nivel neuronal por medio del sistema nervioso central (Sannabis, 2016).

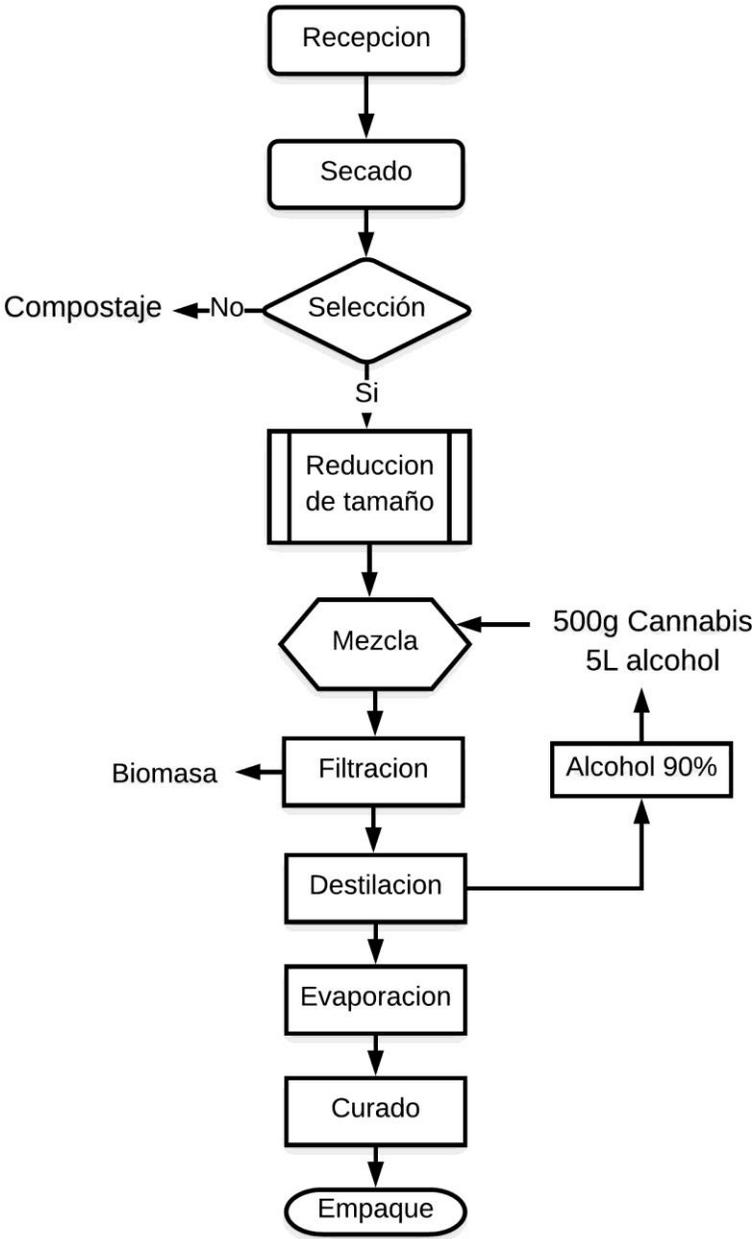
Los cannabinoides muestran beneficios leves a moderados para el tratamiento del dolor cuando se los compara con placebo. El THC fumado ha demostrado ser la intervención con mayor efectividad. El nivel de efectividad de los cannabinoides es dosis dependiente y resultan ser opciones muy útiles cuando se asocian a otras alternativas terapéuticas. se observó una reducción mayor o igual al 50% en la frecuencia de las convulsiones en el 47% de los pacientes tratados con CBD o su asociación con THC. Puede ser considerada como una alternativa adyuvante en el tratamiento de estos pacientes (ANMAT, 2016).

Actualmente la empresa usa un tiempo de reposo del extracto de 12 horas antes de destilar, se propone una extracción con recirculación de alcohol por etapas que disminuye

el tiempo a aproximadamente 30 a 40 minutos, cambiar la maceración por la reducción de tamaño, así evitamos la extracción de ceras y clorofilas que son indeseables en las características finales del producto.

En la figura 7 se muestra el diagrama de flujo donde se describen las operaciones unitarias para la elaboración del extracto puro de flor de *Cannabis sativa*.

Figura 7. Diagrama de flujo de extracto puro de cannabis

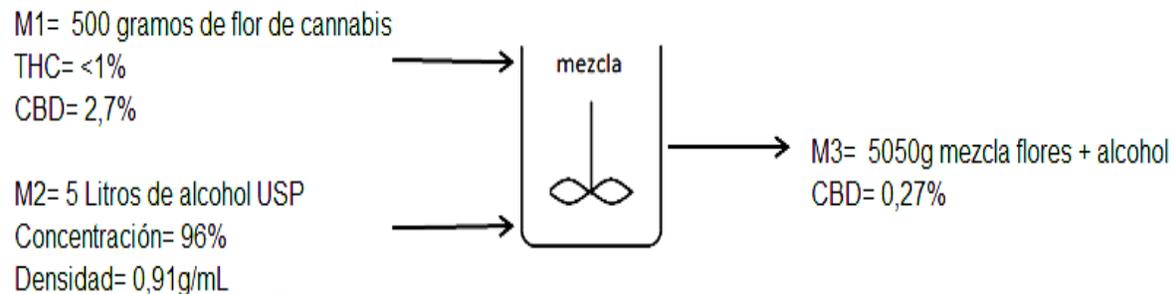


En la figura anterior se presenta el orden de las operaciones unitarias de producción donde se debe tener especial cuidado en la etapa de mezcla y reposo en que la solución se encuentre en un recipiente alejado de la luz, y no sellado completamente, En el caso de la filtración este proceso puede expulsar vapores del alcohol que causan mareos y dolores de cabeza. En el proceso de destilación se debe controlar la temperatura a no más de 70°C, y por tiempo controlado para favorecer la descarboxilación de los cannabinoides y por último, en la etapa de concentración, se debe evitar que la sustancia se quemé o pierda su calidad por exceso de calor.

A continuación se presenta el rendimiento del CBD en cada etapa del proceso el cual es el resultado de los balances de masa que comienzan desde la fase inicial para encontrar la masa de todas las corrientes y el balance composicional, el cual inicia desde la etapa final con los resultados del laboratorio sobre la concentración final del extracto puro del 14% CBD, así se calculó etapa por etapa hasta encontrar la composición inicial del CBD en la materia prima. En la figura 8 se organiza esta información sobre el comportamiento del CBD en el proceso.

Comportamiento del CBD en la extracción por alcohol:

Comportamiento de CBD en la mezcla:



$$\text{Masa de alcohol} = 5\text{L} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{l}} * \frac{0,91\text{g}}{1\text{mL}} = 4550\text{gAlcohol USP}$$

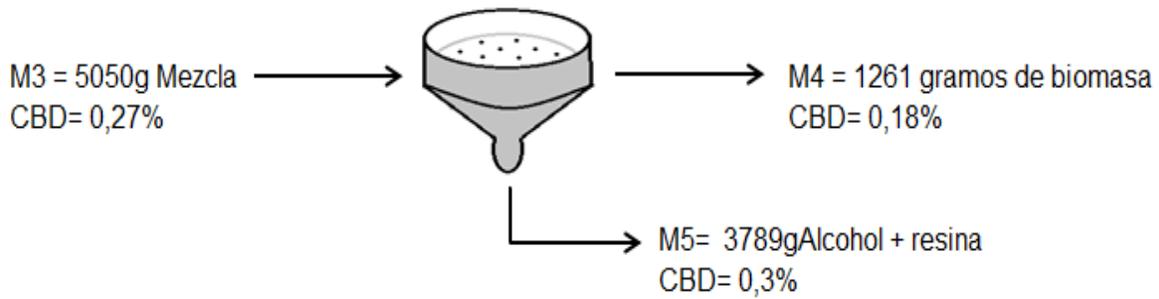
Balance general en mezcla

$$\begin{aligned} M1 + M2 &= M3 \\ 500\text{gFlor} + 4550\text{gAlcoholUSP} &= M3 \\ M3 &= 5050\text{gMezcla} \end{aligned}$$

Balance composicional CBD en la mezcla

$$\begin{aligned} M1 * C1 + M2 * C2 &= M3 * C3 \\ 500\text{g} * C1 + 4550 * 0 &= 5050 * 0,0027 \\ C1 &= 0,027 = 2,7\% \text{CBD} \end{aligned}$$

Comportamiento del CBD en el filtro



Balance general en el filtro

$$M3 - M4 = M5$$

$$5050\text{gMezcla} - 1261\text{gBiomasa} = M5$$

$$M5 = 3789\text{gAlcohol} + \text{resina}$$

Balance composicional CBD en filtro

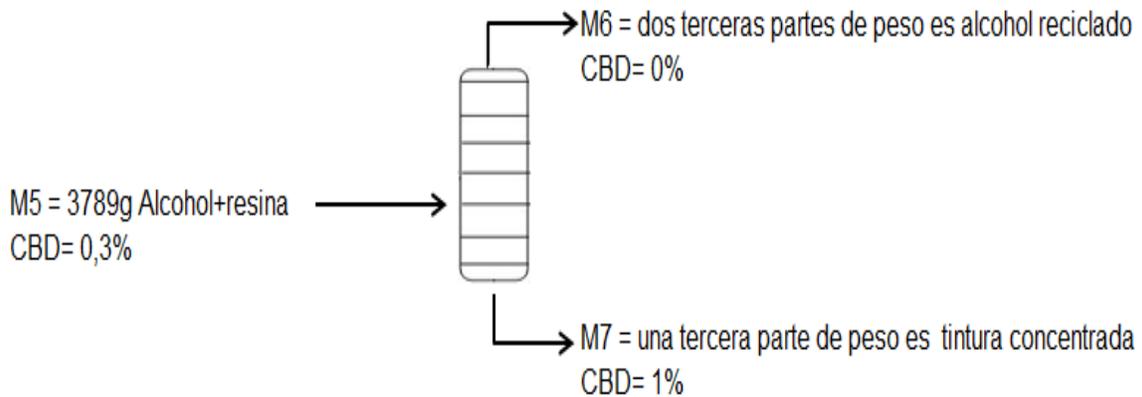
$$\text{Fraccion de aceite en M3} = \frac{M2}{M3} = \frac{4550}{5050} = 0,9$$

$$C3 = 0,3 * 0,9 = 0,27$$

$$\text{Fraccion de aceite en M4} = 1 - \frac{M1}{M4} = \frac{1}{1261} = 0,6$$

$$C4 = 0,3 * 0,6 = 0,18\%$$

Comportamiento de CBD en la destilación



M6 = 2526g de alcohol

M7= 1263g de tintura

Balance general en destilación: en el proceso de destilación se reciclan dos tercias partes del alcohol de la tintura que ingresa al equipo.

$$M5 = M6 + M7$$

$$M6 = 2 * \frac{3789g}{3} = 2526g \text{ Alcohol reciclado al 96\%}$$

$$M7 = \frac{3789g}{3} = 1263g \text{ Tintura}$$

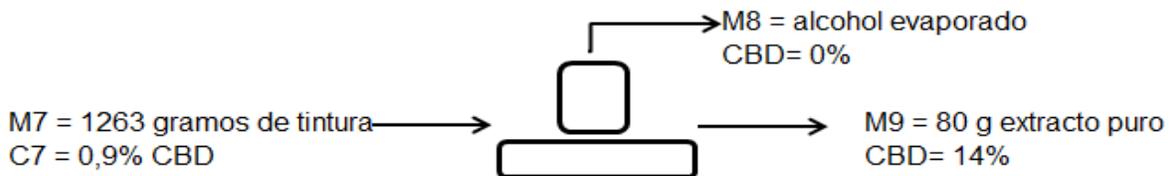
Balance composicional CBD en destilador

$$M5 * C5 - M6 * C6 = M7 * C7$$

$$3789g * C5 - 2526g * 0 = 1263g * 0,009$$

$$C5 = 0,003 = 0,3\% \text{ CBD}$$

Comportamiento de CBD en la evaporación



Balance general en evaporación

$$M7 - M8 = M9$$

$$1263g - M8 = 80g$$

$$M8 = 1183g \text{ Alcohol evaporado}$$

Balance composicional CBD evaporación

$$M7 * C7 - M8 * C8 = M9 * C9$$

$$1263g * C7 - 1183 * 0 = 80g * 0,14$$

$$C7 = 0,009 = 0,9\% \text{ CBD}$$

Rendimientos: el rendimiento del cannabinoide CBD respecto a la materia prima inicial y el extracto puro final son de 2,7% y 14% respectivamente lo cual me indica un rendimiento de 83%, donde se pierde un 17% a lo largo del proceso.

$$\frac{CBD \text{ final}}{CBD \text{ inicial}} * 100 = \frac{80g \text{ extracto puro} * 0,14 \text{ CBD}}{500g \text{ cannabis} * 0,027 \text{ CBD}} = \frac{11,2}{13,5} * 100 = 83\%$$

El extracto puro de flor de cannabis elaborado por la empresa Sannabis, tiene un rendimiento aceptable y solo presenta pérdidas significativas en el proceso de filtración, por otro lado estas pérdidas son compensadas por la descarboxilación efectiva de los cannabinoides en todo el proceso, además con la aplicación de nuevas tecnologías y el seguimiento de los planes de mejoramiento, se podrá llegar a un rendimiento mucho mayor de extracción de metabolitos de cannabis.

Por otro lado el rendimiento de extracto comparado con la materia prima de cannabis que entra en proceso es del 16%.

$$\frac{g \text{ de extracto puro}}{g \text{ de materia prima}} * 100 = \frac{80g}{500g} * 100 = 16\%$$

Cálculo de energía en la evaporación: para realizar el cálculo de la energía necesaria para evaporar el alcohol de la mezcla y concentrar la resina (cannabinoides), se encontró la composición proximal del cannabis, mediante datos bibliográficos como se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Composición proximal del cannabis

Compuesto	% en el cannabis planta entera
Agua	0,075
Proteína	0,25
Lípidos	0,3
CHO	0,25
Cenizas	0,125

$$Cp = (4,180 * A) + (1,711 * P) + (1,928 * L) + (1,547 * CH) + (0,908 * C)$$

$$Cp = (4,18 * 0,075) + (1,711 * 0,25) + (1,928 * 0,3) + (1,547 * 0,25) + (0,908 * 0,125)$$

$$Cp = 1,814 \frac{KJ}{kgK}$$

Coeficiente calorífico del etanol

$$Cp = 2,44 \text{ Kj / Kg * K}$$

Coeficiente calorífico de la mezcla

$$Cpx = X1Cp1 + X2Cp2$$

$$Cpx = 2,434 \text{ Kj / Kg*K} \qquad Cpx = (0,009 * 1,814) + (0,991 * 2,44)$$

Calculo de energía:

$$Q = m * Cpx * \Delta T$$

$$Q = 1,263kg * 2,434 \frac{Kj}{kgK} * (318 - 291)K \qquad Q = 83 \text{ Kj}$$

Se concluye y asumiendo que no hay pérdidas de energía, que el calor necesario para aumentar la temperatura de 18° hasta 45°C, es de 83Kj.

En el cuadro 9, se realizan recomendaciones según los parámetros técnicos encontrados en la revisión bibliográfica para realizar una correcta extracción y descarboxilación de los cannabinoides.

Cuadro 9. Recomendaciones técnicas para la extracción con alcohol

Operación unitaria	Actual	Intervención
Selección	Se encuentran semillas en flores que entran al proceso de extracción	Separar la totalidad de las semillas de las flores que entran a la producción de resina
Pretratamiento	Se refrigeran las flores enteras a 4° C.	Reducir el tamaño de las flores y conservar a -4°C
Tiempo de reposo en solvente	Se lleva a cabo por un periodo de 24 horas	Se propone una extracción por etapas con recirculación del solvente durante de 40 minutos, sin previo periodo de reposo con el solvente.
Destilación	No hay control de variables Tiempo y Temperatura debido a que se usa un destilador de agua	Se debe adquirir un roto-evaporador, donde se controla la temperatura de la mezcla durante la separación y se garantiza la conservación de los metabolitos.
Evaporación	No se asegura la temperatura del equipo	La concentración se debe realizar a bajas temperaturas como por ejemplo: a baño maría.
Empaque	Se deja enfriar y se empaqueta inmediatamente.	Dejar enfriar y conservar en lugar oscuro y ventilado por varios días, para eliminar las trazas del solvente y mejorar las características, antes de empacar.

En el cuadro anterior se encuentran las condiciones de procesos que se proponen en cuanto a las variables (pretratamiento, temperatura, tiempo, conservación) con el fin de mejorar la calidad en la extracción y mejorar el rendimiento.

3.2.1.2 Aceite de oliva con flor de *Cannabis sativa*.

Adecuación de la materia prima: las flores aceptadas en la inspección inicial deben ser conservadas en un lugar refrigerado y se les debe realizar una reducción de tamaño, también se pesa y verifica el aceite de oliva.

Mezcla: se mezclan 1000 g de flores molidas de *Cannabis sativa* con 5 L de aceite de oliva y se llevan a un recipiente.

Calentamiento: se calienta al baño maría la solución anterior por un tiempo de dos horas esperando que el aceite extraiga todos los componentes medicinales de la flor.

Filtración: por medio de un colador se separa la materia vegetal del aceite resinoso, tratando de separar la mayor cantidad de aceite de la biomasa haciendo presión con las manos.

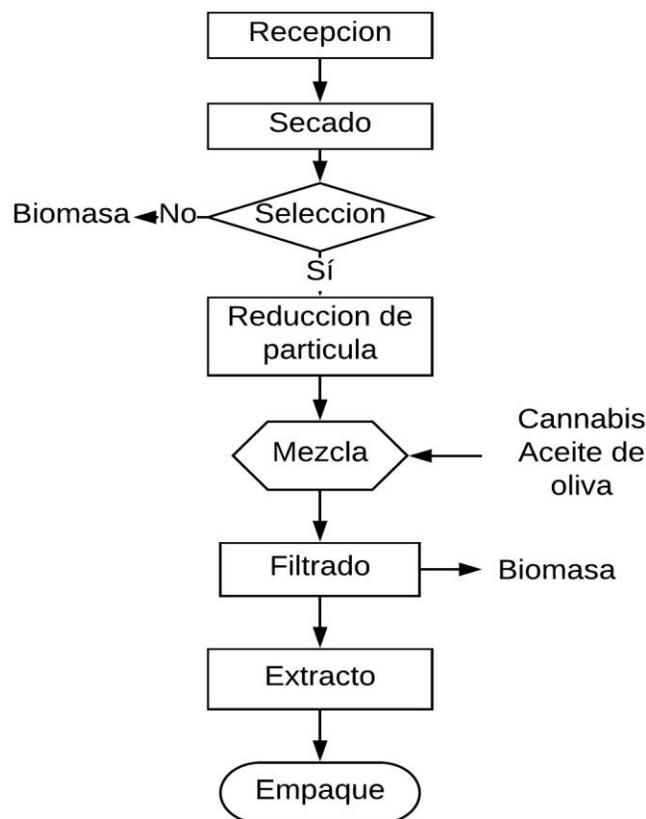
Reposo: el aceite anterior se reposa hasta que este a temperatura ambiente

Empaque: se empaqa en frascos con gotero de 5, 15 y 30 ml

Características del producto: Estado líquido, aroma herbal y frutal, color verde-amarillo claro y traslucido.

Los balances de masa del proceso de extracción de cannabis con aceite de oliva establecen las composiciones de los cannabinoides de interés en cada etapa del proceso. En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo donde se describen las operaciones unitarias para la elaboración de aceite de oliva con flor de cannabis.

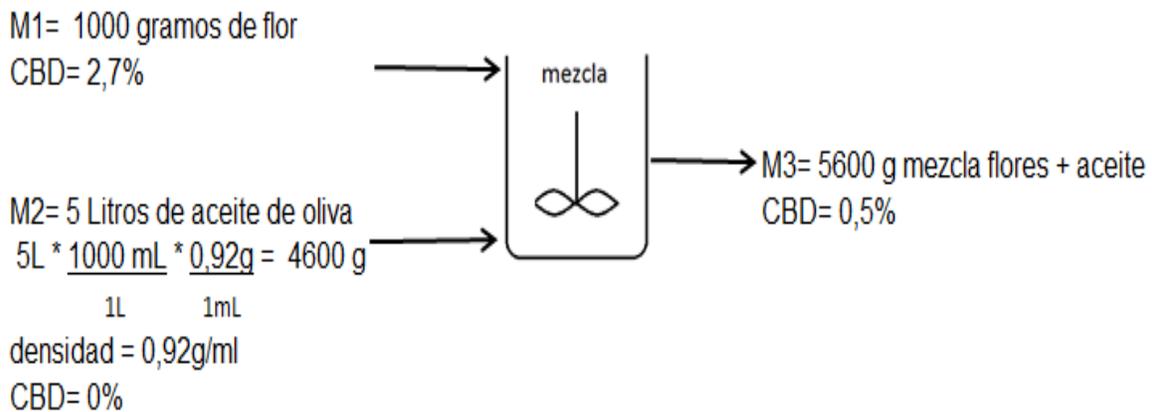
Figura 8. Diagrama de flujo de aceite de oliva con cannabis



En la figura 8 se observa el orden de las operaciones unitarias en el proceso donde se debe tener especial cuidado en la operación calentamiento a baño maría, pues en este proceso ocurre la descarboxilación, la cual es necesaria para una correcta asimilación del componente medicinal de uso oral y asegura la ideal dilución de los cannabinoides en el aceite. En el filtrado se debe tratar de recolectar la mayor cantidad de aceite, utilizando presión sobre la mezcla y el filtro, debido a que por las características de la materia prima actualmente hay muchas pérdidas, a continuación se presenta el cálculo de las masas y composiciones en cada etapa del proceso.

Representación del comportamiento de CBD en la extracción por aceite:

Balance en la mezcla de extracción con aceite



Balance general de la mezcla en la extracción con aceite

$$M1 + M2 = M3$$

$$1000g + 4600g = M3$$

$$M3 = 5600g \text{ Mezcla}$$

Balance composicional de CBD en la extracción con aceite

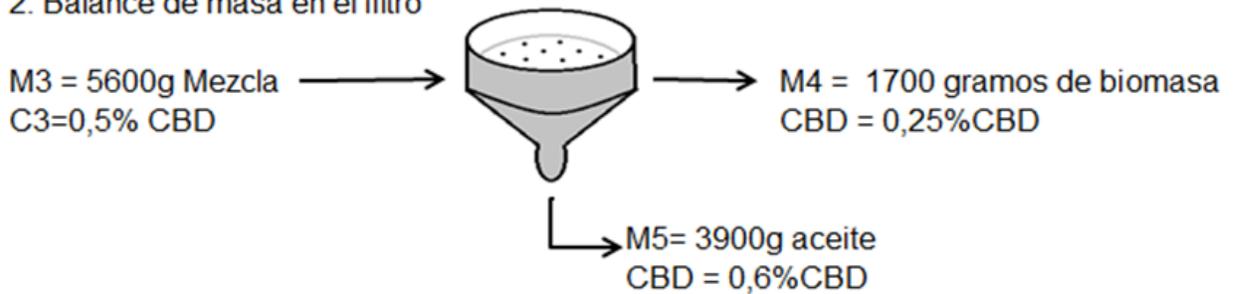
$$M1 * C1 + M2 * C2 = M3 * C3$$

$$(1000g * 0,027) + (4600g * 0) = (5600g * C3)$$

$$C3 = 0,5\% \text{ CBD}$$

$$\text{FRACCION DE ACEITE } X3 = \frac{4600}{5600} = 0,82$$

2. Balance de masa en el filtro



$$M3 = M4 + M5$$

$$5600g = 1700g + M5$$

$$M5 = 3900g \text{ Aceite}$$

Balance composicional de CBD

$$\%CBD5 = \frac{C3}{X3} = \frac{0,005}{0,82} = 0,6\%$$

$$M5 * C5 = M3 * C3 - M4 * C4$$

$$M4 * C4 = M3 * C3 - M5 * C5$$

$$(1700 * C4) = (5600 * 0,005) - (3900 * 0,006)$$

$$CBD4 = 0,25\%$$

En la extracción del aceite de cannabis la concentración del CBD está diluida y termina siendo del 0,6%, y la aplicación del proceso térmico asegura las características medicinales del producto.

Rendimiento:

$$\%Rend \text{ Aceite} = \frac{3900}{4600} * 100 = 84,8\%$$

$$\%Rend \text{ CBD} = \left(\frac{3900 * 0,006}{1000 * 0,027} \right) * 100 = 86,6\%$$

Los porcentajes de rendimiento del 84,8% y 86,6% para el aceite y el CBD respectivamente, son buenos, el proceso presenta pérdidas en la etapa de filtración, donde trazas de aceite quedan atrapadas en la biomasa. Por otro lado la pérdida de aceite es compensada por la descarboxilación efectiva de los cannabinoides en todo el proceso, además con la aplicación de nuevas tecnologías y el seguimiento de los planes de

mejoramiento, se podrá llegar a un rendimiento al nivel de la industria mundial de extracción de metabolitos de cannabis.

En el cuadro 10 se realizan recomendaciones según los parámetros técnicos encontrados en la revisión bibliográfica para realizar una extracción con aceite de oliva.

Cuadro 10.Recomendaciones técnicas para la extracción con aceite

Operación unitaria	Actual	Recomendación
Selección	Se encuentran semillas en flores que entran al proceso de extracción	Separar la totalidad de las semillas de las flores que entran a la producción con aceite de oliva.
Pretratamiento	Se refrigeran las flores enteras a 4° C.	Reducir el tamaño de las flores y conservar a -4°C
Calentamiento	Se realiza en baño maría en estufas convencionales.	Se recomienda el uso del equipo de baño maría industrial.
Filtración	Se filtra el producto una sola vez	Se recomienda una ultrafiltración para eliminar partículas residuales y asegurar una solución homogénea.

Utilizando este mismo tipo de extracción y adicionando una etapa de mezcla de cera de abejas como base se pueden obtener cremas medicinales como se presenta a continuación.

3.2.1.3 Cremas calientes de *Cannabis sativa*

Adecuación de la materia prima: Las flores aceptadas en la inspección inicial deben ser conservadas en un lugar refrigerado y en el caso de las cremas calientes se deben seleccionar, pesar, y conservar las siguientes plantas: Eucalipto, pino, higuera, ortiga y tabaco. Adicionalmente se debe inspeccionar el aceite de oliva y la cera de abejas.

Mezcla: Se mezclan 200 gramos de las plantas antes mencionadas, con 200 gramos de flor de cannabis sativa y 6 litros de aceite de oliva. Se almacena la mezcla en un recipiente y se procede a aplicarle un proceso térmico.

Calentamiento: la mezcla se calienta por dos horas donde se espera que los cannabinoides y los componentes terapéuticos de las otras plantas sean extraídos por el aceite y el aumento de temperatura.

Filtración: la mezcla anterior se pasa por un colador donde se separa el aceite, de la materia vegetal. Esto puede durar varios minutos mientras se trata de recuperar la mayor cantidad de aceite posible.

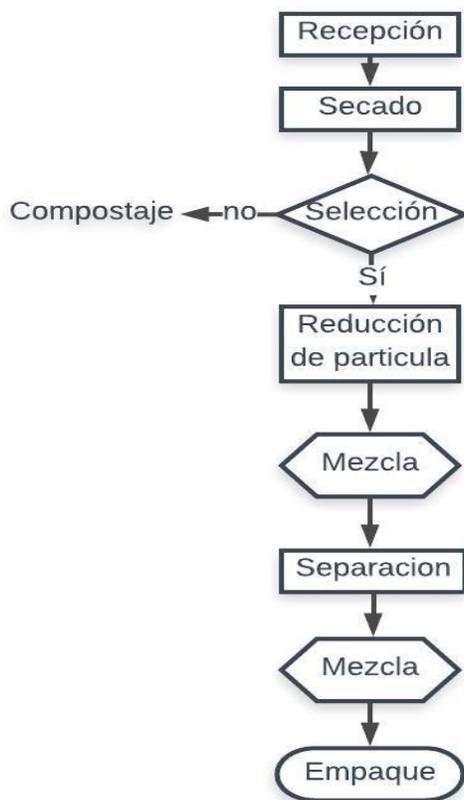
Mezcla: al aceite que proviene del colado se le agrega 1200 gramos de cera de abejas y se espera alrededor de media hora mientras esta se derrite y se forma una solución semisólida y grasa, de aroma intenso y cítrico de color verde oscuro.

Empaque: el empaque se demora alrededor de 20 minutos a alta temperatura y sin cerrar la tapa del empaque, luego se espera otros 20 minutos mientras se enfría y finalmente se puede cerrar la tapa.

Descripción del producto final: es de uso tópico, es un excelente coadyuvante para aliviar o reducir dolores musculares, reumatoides, dismenorrea, alteraciones musculoesquelético, migraña, menorragia, contracturas, espasticidad moderada, desgarres, golpes, contusiones, calambres y/o torceduras. Por sus ingredientes activos tienen propiedades analgésicas, febrífugas, antisépticas y antiinflamatorias. Se debe almacenar en un lugar fresco, entre los 18 y 25° de temperatura, protegido de la luz y la humedad.

En la figura 9 se muestra el diagrama de flujo donde se describen las operaciones unitarias para la elaboración de las cremas calientes de flor de cannabis sativa.

Figura 9. Diagrama de flujo de elaboración de cremas calientes de cannabis



Estas operaciones unitarias deben ser seguidas para mantener la calidad del producto, es de especial importancia que para la elaboración de las cremas se usan plantas calientes que maximiza su acción medicinal por lo tanto el paciente debe evitar el contacto con agua o cosas o ambientes fríos. Se usa cera de abejas como excipiente natural por lo que se debe controlar las temperaturas de mezcla.

3.2.1.4 Extracto por arrastre de vapor.

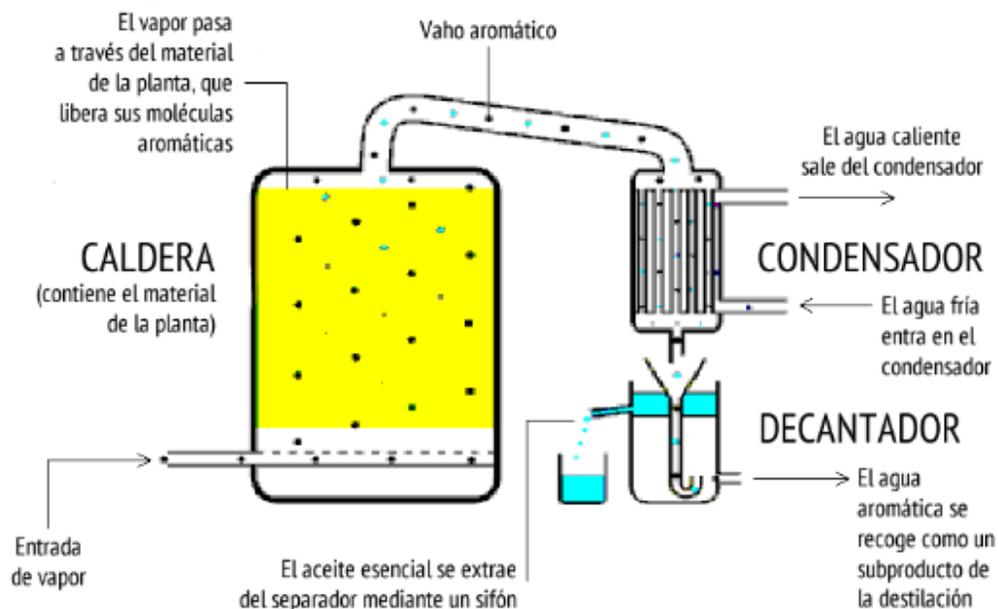
Adecuación de la materia prima: Las flores, adecuadas y aceptadas en la inspección inicial deben ser conservadas en un lugar acorde a las condiciones de pretratamiento que debe tener la flor de cannabis. Se pesan 385 gramos de flor y se depositan en un recipiente.

Extracción: se realiza el montaje del equipo extractor por arrastre de vapor y se carga con los 385g de flor de cannabis y 4 litros de agua, este proceso dura 1 hora y media.

El equipo que se recomienda para la extracción está construido en borosilicato, un material que tiene gran durabilidad y resistencia calórica y química.

En la figura 10 se muestra la representación operacional, donde se describen las operaciones unitarias para la elaboración de aceite esencial de flor de cannabis.

Figura 10. Representación de extracción de arrastre por vapor



Fuente: Apuntes científicos, 2012.

Las flores de cannabis, actualmente no tienen un pretratamiento, ni en la selección ni en la conservación, que asegure las óptimas condiciones en la extracción, además el equipo que se utiliza actualmente no cuenta con el control de variables, no presenta buenas condiciones de mantenimiento y su capacidad esta sub dimensionada, además está construido en material de cobre, el cual puede reaccionar con el solvente, la materia prima y alterar el producto final.

Actualmente el rendimiento se encuentra entre 1,0 y 1,4 % en la producción, el aceite obtenido es muy rico en terpenos, flavonoides y compuestos aromáticos.

Cuadro 11. Recomendaciones técnicas para la extracción con vapor

Operación unitaria	Actual	Recomendación
Selección	Se encuentran semillas en flores que entran al proceso de extracción	Separar la totalidad de las semillas de las flores que entran al arrastre con vapor y adicionar hojas y raíces para mejorar la composición final de terpenos.
Extracción	Se usa un equipo artesanal y en cobre.	Se recomienda un equipo extractor de aceite esencial. Este equipo es resistente a la corrosión y ofrece un comportamiento neutro durante la extracción

3.2.2 Componentes de la flor de cannabis. Las extracciones de cannabis principalmente destinadas para uso oral, por lo general implican temperaturas que son relativamente bajas. Para una descarboxilación óptima que favorezca el proceso, se ha sugerido el control de temperatura en los tratamientos térmicos la cual no debe superar los 80° centígrados.

Como disolventes de extracción para la producción de aceites de cannabis, el alcohol USP y el aceite de oliva son excelentes, además, estos disolventes no son perjudiciales. Infortunadamente el alcohol extrae mucha clorofila del cannabis, lo que da al extracto final un color verde distinto y a menudo un desagradable sabor, por lo que se recomienda disminuir el tiempo de contacto de la materia prima con el disolvente. En todas las etapas se debe controlar la temperatura para conservar los cannabinoides y los terpenos, así se tienen mayores propiedades medicinales en el producto final. Además de los cannabinoides, la planta de cannabis contiene un rango de terpenos que son los compuestos volátiles que dan al cannabis su característico olor y puede actuar sinérgicamente con los cannabinoides. Los tratamientos térmicos al mismo tiempo pueden causar la pérdida por degradación o evaporación de estos componentes.

En el cuadro 12 se presentan los sesquiterpenos que fueron menos volátiles, más resistentes al calor, y que fueron hallados por espectrometría de masas – gases a una muestra de extracto puro de *cannabis sativa-indica* y que los identifico cualitativamente en la sustancia.

Cuadro 12. Resultados espectrometría masas gases

Nombre	Clase	Información
Salineros	Sesquiterpeno	Compuesto químico isomérico
Escalenos	Hidrocarburo y terpeno	Compuesto orgánico natural
Humuleno	Terpeno	Anillo mono cíclico de origen natural
Farneseno	Sesquiterpeno	Olor a manzana en la cubierta del cannabis
Guaiol	Alcohol sesquiterpeno	Compuesto orgánico, solido cristalino
Ácido palmítico	Ácido graso saturado	Muy usado en la dieta humana
Ácido mirístico	Ácido graso saturado	
Fitol	Alcohol diterpénico acíclico	precursor para la fabricación de formas sintéticas de vitamina E y K.

Fuente: Laboratorio de análisis industriales Univalle, 2017.

Como se muestra en el cuadro 12., se encuentra presencia de ac. palmítico, mirístico y fitol, terpenos, sesquiterpenos, salineros, escalenos, humulenos, farnesenos y guaiol, que son característicos del olor en las plantas de cannabis y además agregan un valor medicinal a los productos derivados, estas moléculas han soportado las temperaturas de extracción y es un indicio, que usando bajas temperaturas podemos conservar estas sustancias, así mismo se observa que hay presencia de ácido palmítico y mirístico que son ácidos grasos que pueden provenir de las semillas presentes en las flores usadas en la extracción donde se pudieron mezclar en la etapa de macerado, y fueron arrastradas por el alcohol, además de muchas otras sustancias de interés medicinal e industrial (Univalle, 2017).

Cabe señalar que, como resultado de la viscosidad de la muestra, mientras más concentrado llega a ser un extracto más difícil será eliminar su disolvente residual. En tal caso la aplicación de más calor aumentará la evaporación, pero al mismo tiempo se perderán más terpenos. Siempre hay una pérdida de terpenos a cambio de una menor cantidad de residuos del disolvente. Por esta razón se recomienda el uso de disolventes no tóxicos para que los potenciales residuos no sean perjudiciales para la salud.

En la extracción de cannabis con aceite de oliva y su variante de mezcla para las pomadas calientes a base de cera de abejas y otras plantas, se calculó por medio de balances de masa el comportamiento del cannabidiol en cada etapa del proceso. La concentración inicial de la materia prima es de 2,7% de CBD la cual fue hallada anteriormente, y se calcula una concentración final de CBD de 0,6% (Romanos, 2013).

En la obtención de aceite esencial de cannabis por arrastre de vapor se obtienen otras sustancias volátiles que se disuelven en vapor de agua como terpenos y flavonoides, y no tiene presencia del cannabidiol CBD. Por lo que no se le realizó el balance composicional de masa para CBD,

3.2.3 Movimiento del personal. Por otra parte en cuanto a la estimación de trayectos, el nuevo diseño de planta se realizó de acuerdo a los recorridos realizados entre las diferentes áreas, todas las áreas están determinadas según la reglamentación que el

gobierno ha expedido sobre producción de *Cannabis sativa* medicinal y sobre el requerimiento de las áreas mínimas que una planta de transformación debe tener. Adicionalmente en el cuadro 13 se agregan el área de transformación de semilla y cáñamo, puesto que es uno de los objetivos del proyecto.

Cuadro 13. Descripción de áreas

No.	Departamento
1	Zona de recepción de materia prima y despacho
2	Almacenamiento de cannabis como materia prima
3	Zona de almacenamiento de insumos y herramientas.
4	Zona de producción y fabricación de derivados.
5	Zona de almacenamiento de producto terminado
6	Zona de almacenamiento de desechos y devoluciones
7	Zona de pruebas físicas y microbiológicas
8	Zona de secado
9	Zona de separación y clasificación de flores de cannabis.
10	Zona de servicios de vestier y casilleros.
11	Oficina del director técnico.
12	Zona de espera y recepción de clientes.
13	Zona de descanso
14	Zona de aprovechamiento de semilla
15	Zona de aprovechamiento de cáñamo

Fuente: Decreto 2467, 2015.

Se muestran todas las zonas obligatorias que debe tener una planta de producción integral legal de cannabis.

Flujo interdepartamental. Se calculó el flujo diario de personas entre los departamentos asumiendo valores según el número de operarios y el flujo de proceso propuesto de obtención de extracto puro de flor de cannabis, tal como se registra en cuadro 14. No se consideró el recorrido de los materiales, ya que este varía de acuerdo con la cantidad y el tipo de producto a procesar.

Cuadro 14. Flujo de operarios entre departamentos

DPTO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-	6	2	1	0	0	6	0	3	0	1	0	0	0
2	6	-	2	2	0	0	4	5	6	0	3	0	0	0
3	0	0	-	6	0	0	3	2	4	0	2	0	0	0
4	0	4	6	-	6	3	5	6	2	2	6	0	0	2
5	0	0	0	4	-	0	0	0	0	0	0	4	0	6
6	0	0	0	0	0	-	0	0	4	0	0	0	0	2
7	6	2	0	6	6	0	-	0	0	0	4	0	0	0
8	0	0	0	2	0	0	0	-	4	0	2	0	0	0
9	0	6	0	0	0	0	0	5	-	0	0	0	0	0
10	2	2	0	2	0	0	2	0	0	-	2	0	2	0
11	3	2	0	6	0	0	3	0	0	0	-	0	0	0
12	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	6	-	6	6
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	6	-	6
14	0	0	0	4	6	0	0	0	0	0	4	3	0	-

La tabla de flujo de operarios representa el número de recorridos que se deben hacer entre departamentos en las dos direcciones, establecidas por medio de los diagramas de flujo de los productos que en Sannabis se transforman.

En el cuadro 15 se muestra la sumatoria del flujo total de operarios entre cada par de departamentos, es decir, el número de recorridos en ambas direcciones. Así, los departamentos con mayores flujos entre sí, deberán ser adyacentes.

Cuadro 15. Flujo total de operarios

Desde	Hasta													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-	12	2	1	0	0	12	0	3	2	4	0	0	0
2		-	2	6	0	0	6	5	12	2	5	0	0	0
3			-	12	0	0	3	2	4	0	2	0	0	0
4				-	10	3	11	10	2	4	12	0	0	6
5					-	0	6	0	0	0	0	6	0	12
6						-	0	0	4	0	0	0	0	2
7							-	0	0	2	7	0	0	0
8								-	9	0	2	0	0	0
9									-	0	0	0	2	0
10										-	2	0	7	0
11											-	6	6	4
12												-	12	9
13													-	6
14														-

El cuadro anterior muestra la sumatoria de recorridos, que es el total de desplazamientos que se hacen entre departamentos en una jornada de trabajo. Y con el cual se determina la importancia de adyacencia entre las áreas.

3.3 PROCESO Y DISEÑO PRELIMINAR DEL APROVECHAMIENTO DE FIBRA Y SEMILLA DE *Cannabis sativa* L.

En la industria del *Cannabis sativa* no tecnificado, se generan muchos desperdicios entre los cuales se encuentra la fibra de buena composición y resistencia. En la empresa Sannabis se ha iniciado el proceso de aprovechamiento de fibra como material textil y material de construcción.

En la revisión preliminar de los procesos se identificaron problemas en algunos equipos y se evidencia que no se sigue un proceso continuo por lo cual se recomienda el procedimiento más adecuado que conserva la más alta calidad de los productos.

3.3.1 Operaciones unitarias para aprovechamiento de la fibra. A continuación se presentan las operaciones unitarias para el aprovechamiento de la fibra.

Cosecha: la cosecha de cáñamo para fibras consiste en el corte de los tallos maduros frecuentemente precedido de una defoliación para promover el secado pre-cosecha.

Enriado: un periodo de almacenamiento sobre el suelo húmedo o inmerso en el agua es importante, ya que promueve el desarrollo de hongos y bacterias que digieren las pectinas y resinas que unen las fibras a los tallos.

Secado: los tallos resultantes del enriado se secan en periodos de 45° durante 48 horas, para facilitar el espadillado

Espadillado: tiene como finalidad separar con mayor profundidad las fibras del material leñoso. La operación se efectúa por medio de un batido o golpeado brusco, manualmente o mecánicamente por medio de cuchillas de acero montadas sobre el eje de un brazo giratorio.

Rastrillado o peinado: este proceso consiste en hacer pasar los trozos a través de una serie de rastrillos en los que sobresalen agujas colocadas a diferentes distancias entre sí. Con ellos se consigue separar finalmente la fibra de la cañamiza, eliminando toda impureza, y puede ser usada en la industria textil. Además este procedimiento permite separar los haces de fibra, que constituyen la hilaza, de la parte leñosa.

Reducción de tamaño: el material sobrante del espadillado y del peinado, se mezclan y se llevan al molino de martillos para disminuir el tamaño de partícula y homogenizar la mezcla.

Tamizado: el material resultante se pasa por un tamiz, y se recolecta en un contenedor. El material que no sobrepase la malla se recircula.

Mezclado: el cáñamo triturado se mezcla homogéneamente con arena, cal, cemento y tierra en proporciones establecidas, y se depositan en un contenedor

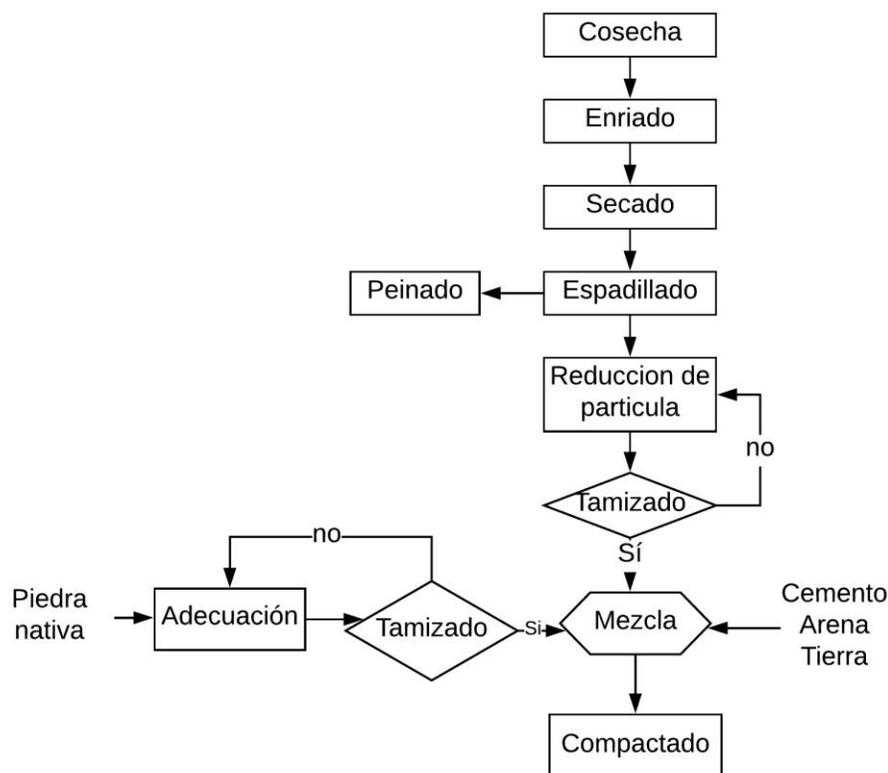
Prensado: la mezcla se deposita en la tolva de la maquina prensadora y esta alimenta un molde de dimensiones (30x15x10) cm. Un operario realiza la compresión del material por medio de una palanca hidráulica.

En la figura 11 se presenta el diagrama de flujo del aprovechamiento de fibra mencionado.

La producción de fibra lleva mucho más operaciones unitarias que la obtención de principio activo de la flor, y su tratamiento, desde la cosecha hasta la transformación

comienzan desde la des lignificación de la fibra por medio del enriado, y una separación según su finalidad. En la producción de ladrillos se mezclan otros compuestos, además del cannabis, que aportan distintas características y que son importantes en el producto final. La fibra que se utiliza en tejidos, se debe seleccionar por medio del peinado y se hilan hasta obtener la fibra textil.

Figura 11. Diagrama de flujo del aprovechamiento de fibra



3.3.2 Operaciones unitarias para semilla. Para la obtención de aceite de semilla de cáñamo la empresa Sannabis adquirió dos equipos técnicos y funcionales, que permitan extraer un aceite de alta calidad, el primero es una prensa que funciona con un tonillo sin fin y a temperatura controlada, y una filtro prensa que separa impurezas que pueda tener el aceite.

A continuación se describen las operaciones unitarias del proceso:

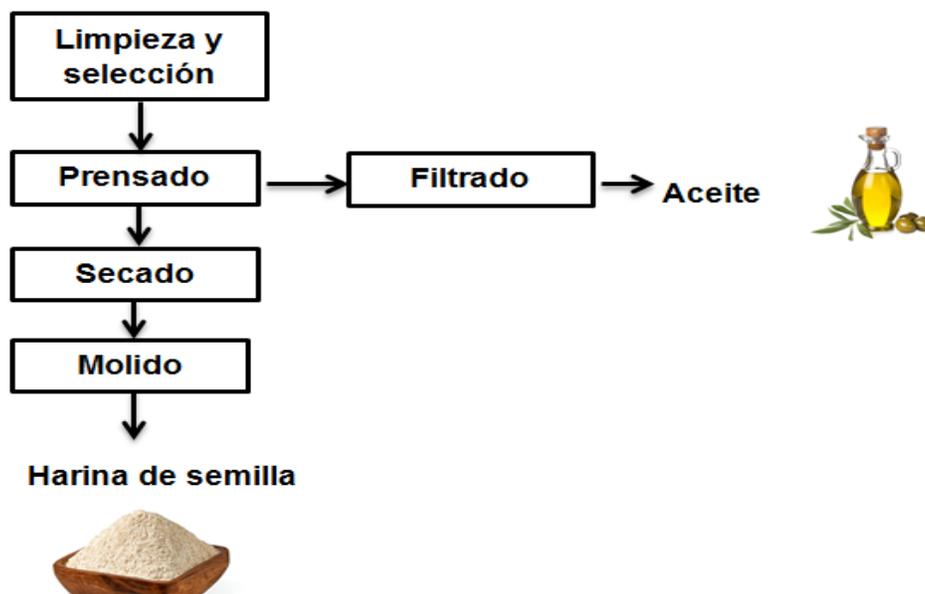
Selección y limpieza: para poder separar los contaminantes es necesario tener en cuenta características de la semilla, para identificar malezas, basuras, pajas, vainas u objetos extraños que puedan quedar de la cosecha. Las semillas se limpian mediante ventilación y zarandeo para eliminar impurezas.

Prensado: la semilla limpia se lleva a la prensa: un extrusor a tornillo sin fin. Aquí se vigila especialmente que la temperatura generada por la presión no supere los 45° C para asegurar la estabilidad molecular de los ácidos grasos poliinsaturados. Se evita así también la disolución de ceras y otras sustancias.

Filtrado: la filtro prensa consiste en una serie de placas y marcos alternados con una tela filtrante a cada lado de las placas. Las placas tienen incisiones con forma de canales para drenar el filtrado en cada placa.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la extracción de aceite de semilla.

Figura 12. Diagrama de flujo del aprovechamiento de la semilla



Además del aceite que se obtiene en el prensado, la cascarilla resultante de la operación, se seca y se muele, ya que al ser una extracción en frío conserva propiedades nutricionales y se podría utilizar en la alimentación animal.

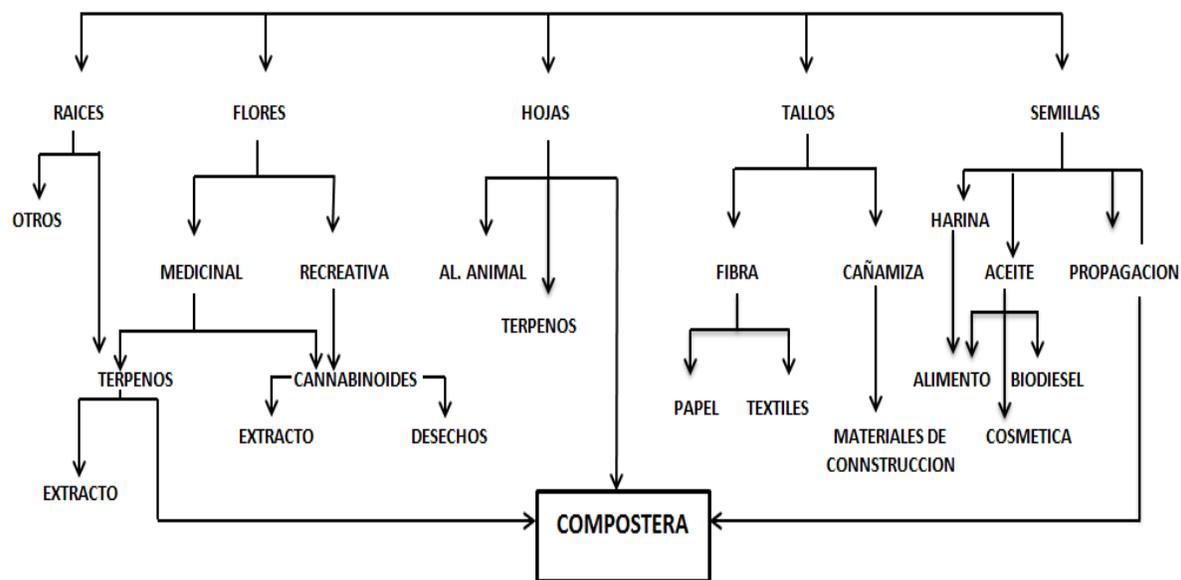
3.3.3 Equipos para el aprovechamiento integral. Para la transformación de la flor de cannabis, se recomendaron equipos que según los procedimientos se necesitan para que la empresa pueda llevar a cabo esta actividad comercial (anexo D) pues existen equipos sobredimensionados, sub dimensionados y otros en condiciones de deterioro.

Para la extracción de fibra en Sannabis no cumplen con los requerimientos absolutos de seguridad y salud en el trabajo por lo que la nueva planta y sus espacios se diseñaran de

acuerdo a los equipos usados actualmente con sus debidas recomendaciones de mejora y se adjuntan los equipos usados actualmente para el procesamiento de semillas (Anexo E).

En la figura 13 se muestran todas las posibles acciones de aprovechamiento integral de la planta de cannabis.

Figura 13. Aprovechamiento integral del cannabis



El aprovechamiento integral del cannabis consiste en transformar la parte medicinal, industrial, nutricional y desechos, de forma ordenada y completa.

3.4 INSTALACIÓN Y ESPACIO DE LA PLANTA FÍSICA

Para llevar a cabo la actividad industrial del cannabis, se debe contar con una infraestructura según los requerimientos de la norma y todo lo que se dicte acorde con la ley 1787, de 2016.

La tabla de relaciones del cuadro 16 describe en forma cuantitativa el grado de proximidad entre los diferentes departamentos según el número de recorridos que se calculó en el numeral 3.2.2.

Se asignaron valores desde -1 para relaciones no deseables hasta 3 para aquellas absolutamente necesarias, según el flujo de personas entre los departamentos.

Cuadro 16. Clasificación de proximidad para la tabla de relaciones

Clave	Tipo de relación	Valor	Flujo personal	Identificación
A	Absolutamente necesario	3	11 – 12	
I	Importante	2	9 - 10	
O	Ordinario	1	6 – 8	
P	Poco importante	0	3 – 5	
N	No deseable	-1	0 – 2	

El grado de importancia de cada departamento y su tipo de relación con las demás áreas de la empresa, se presentan de forma cualitativa en el cuadro 17.

Cuadro 17. Calificación entre departamentos

Dept.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-	A	N	N	N	N	A	N	P	N	P	N	N	N
2		-	N	O	N	N	O	P	A	N	P	N	N	N
3			-	A	N	N	P	N	P	N	N	N	N	N
4				-	I	P	A	I	N	P	A	N	N	O
5					-	N	O	N	N	N	N	O	N	A
6						-	N	N	P	N	N	N	N	N
7							-	N	N	N	O	N	N	N
8								-	I	N	N	N	N	N
9									-	N	N	N	N	N
10										-	N	N	O	N
11											-	O	O	P
12												-	A	I
13													-	O
14														-

La calificación entre departamentos se establece por medio de siglas según el valor establecido de proximidad y se representa según su tipo de relación. En el cuadro 18 las siglas se reemplazan por sus valores numéricos.

Cuadro 18. Calificación de las relaciones entre departamentos

Dept.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
1	-	3	-1	-1	-1	-1	3	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	1
2		-	-1	1	-1	-1	1	0	3	-1	0	-1	-1	-1	3
3			-	3	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-7
4				-	2	0	3	2	-1	0	3	-1	1	1	11
5					-	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	3	0
6						-	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-11
7							-	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	2
8								-	2	-1	-1	-1	-1	-1	-6
9									-	-1	-1	-1	-1	-1	-3
10										-	-1	-1	1	-1	-10
11											-	1	1	0	0
12												-	3	2	-2
13													-	3	3
14														-	1

Se representa de forma numérica según el cuadro de la clasificación de proximidad, y se suma en "L", según la puntuación, se representará de forma representativa la proximidad entre departamentos. Entre mayor sea el valor numérico, mayor importancia tendrá ese departamento.

3.4.1 Representación nodal. De acuerdo al orden de la tabla racional, se dispone a hacer tres representaciones nodales, donde se ubican en la parte central, los departamentos con calificación A, siendo estos los más importantes. Luego de ubicar el primer departamento, se ubican alrededor los demás departamentos, dependiendo de la relación que tenga unos con otros.

Figura 14. Representación nodal A

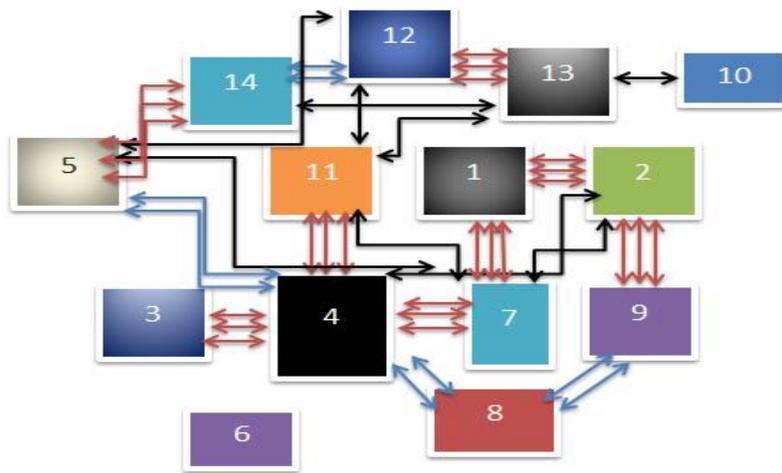


Figura 15. Representación nodal B

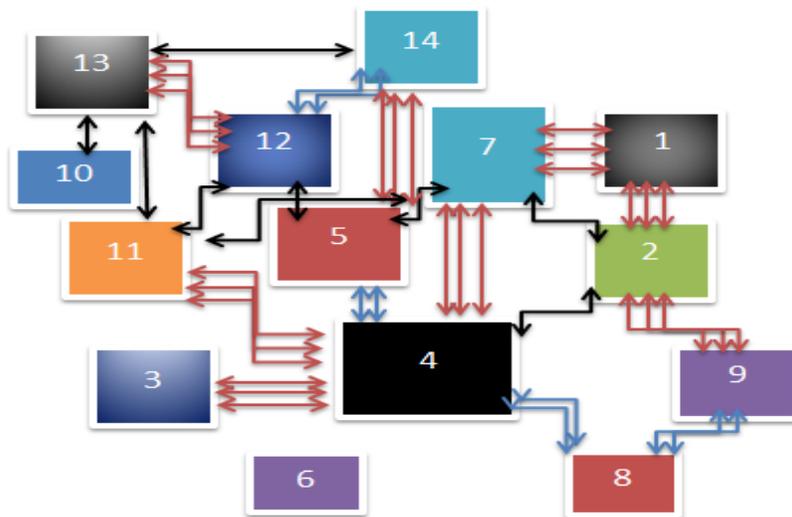
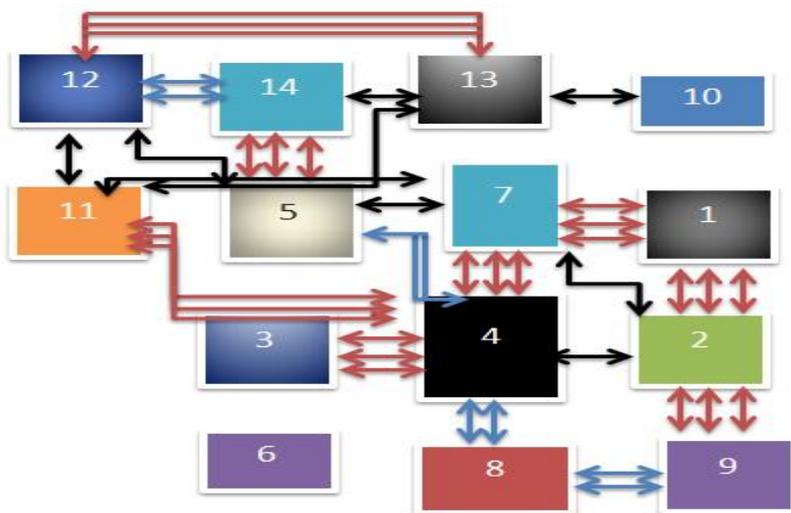


Figura 16. Representación Nodal C



La representación nodal se realizó con el fin de encontrar la mejor distribución posible de acuerdo a la tabla de relaciones entre departamentos y la distribución con menor número de cruces entre sí. La distribución que mejor se encuentra relacionada con la tabla de clasificación de proximidad es la alternativa C.

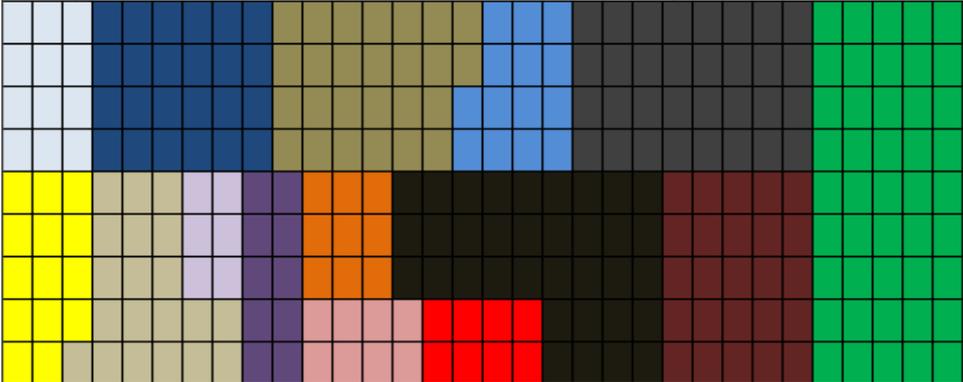
Con el propósito de evaluar la eficiencia en los departamentos, disponemos a hacer una representación gráfica por medio de una cuadrícula que represente el número de metros cuadrados que necesitamos para la nueva distribución (Anexo F). En el cuadro 19 cada unidad (bloque) representa 1m² real en la distribución.

Cuadro 19. Requerimientos de bloques para representar cada departamento

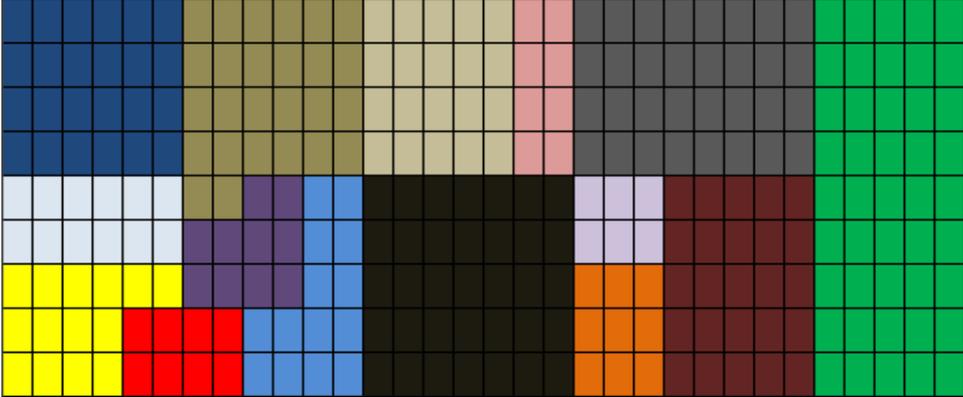
No.	DEPARTAMENTO	Área (m ²)	Bloques
1	Zona de recepción de materia prima y despacho	24	24
2	Almacenamiento de cannabis como materia prima	26	26
3	Zona de almacenamiento de insumos y herramientas.	8	8
4	Zona de producción y fabricación de derivados.	32	32
5	Zona de almacenamiento de producto terminado	8	8
6	Zona de almacenamiento de desechos, excedentes o derivados devueltos	6	6
7	Zona de pruebas físicas y microbiológicas	9	9
8	Zona de secado	35	35
9	Zona de separación y clasificación de flores de cannabis.	14	14
10	Zona de servicios de vestier y casilleros.	20	20
11	Oficina del director técnico.	10	10
12	Zona de espera y recepción de clientes.	14	14
13	Zona de descanso	12	12
14	Zona de aprovechamiento de semilla	25	25
15	Zona de aprovechamiento de cáñamo	45	45
		288	288

En el cuadro 19 se evidencia que son necesarios 288 bloques para representar la distribución de la planta, a continuación en la figura 10. Y guiados por la representación nodal, se muestran las 3 alternativas:

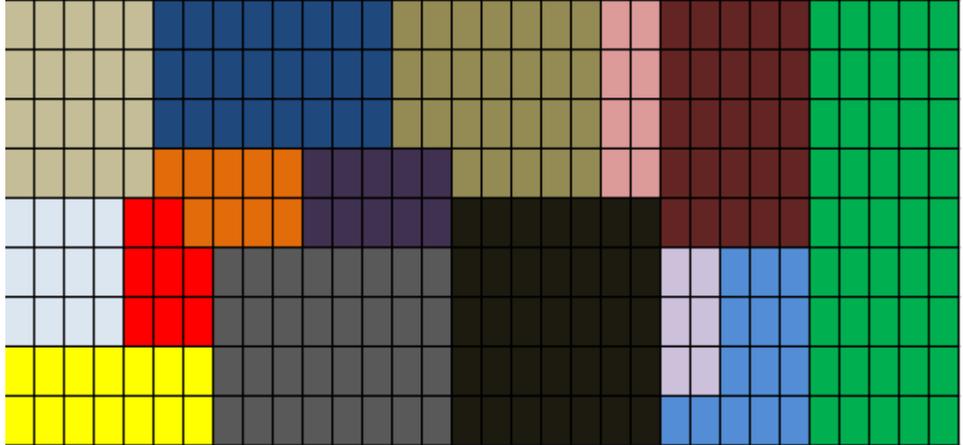
Figura 17. Representación en bloques ALTERNATIVA A, B y C



Representación en bloques ALTERNATIVA B



Representación en bloques ALTERNATIVA C



En la distribución por bloques se representa gráficamente la distribución final de la planta de producción de cannabis integral. Además de representar las áreas necesarias en la extracción de flor de cannabis se agregan las áreas de aprovechamiento de fibra y semilla de cannabis, ya que el propósito a corto plazo de la organización es aprovechar toda la planta.

Para el cálculo de la eficiencia (Anexo G), se tuvieron en cuenta dos criterios, el primero es la adyacencia entre departamentos, la cual denota el cumplimiento del cuadro que relaciona la distancia entre departamentos, para lo cual se multiplica la distancia rectilínea más corta entre un departamento y otro, por el de la relación que existe entre los mismos. Cuando dos departamentos son adyacentes se califican con el valor de uno (1).

Los resultados se suman verticalmente para obtener la calificación total en cada alternativa, de esta manera la alternativa que tenga menor valor será considerada como la mejor entre ellas, debido a que representaría el mínimo de cruces entre los departamentos.

Para este caso la alternativa que presento mejor eficiencia es la alternativa C, puesto que entre los 3, obtuvo un valor menor (-69), con relación a las otras dos alternativas A y B, que obtuvieron -46 y -49 respectivamente.

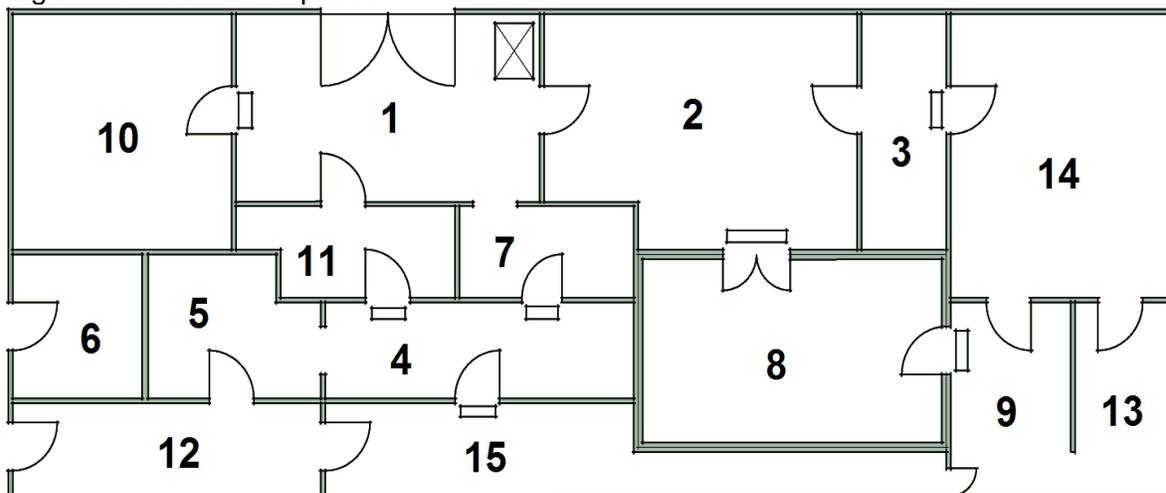
Para complementar la evaluación de los criterios de distribución, se realiza el cálculo de la regularidad (cuadrada o rectangular) (ANEXO H), el cual favorece el aprovechamiento del espacio entre los departamentos y facilita el flujo de material y de proceso. Para esto se evalúa mediante la ecuación que Tompkins planteó (Grass *et al.*, 2010).

Al obtener el F de cada departamento, se procede a sumarlos y sacar un promedio en cada alternativa, siendo la alternativa A, en este caso, la que más se acerca a 1, comparándola con las otras dos alternativas.

Teniendo en cuenta los resultados que obtuvimos en eficiencia y regularidad, ninguno nos da un criterio exacto sobre cuál es la correcta distribución. En el caso de la alternativa C, obtuvo la F (regularidad) que más se alejó de 1 (1,09), con respecto a las otras dos alternativas, pero en eficiencia fue la que menos cruces entre departamentos obtuvo, lo que es muy favorable en la producción de cannabis, puesto que se debe evitar la contaminación cruzada, y en este caso las alternativas A y B, presentan este inconveniente.

Por estos motivos se escogió la alternativa C, al presentar los mejores resultados en cuanto a la evaluación de los dos criterios (eficiencia y regularidad). Se procede a hacer un plano donde se especifican las áreas, y las entradas están sujetas a modificaciones de la empresa.

Figura 18. Plano de la planta



1	Zona de recepción de materia prima y despacho
2	Almacenamiento de cannabis como materia prima
3	Zona de almacenamiento de insumos y herramientas.
4	Zona de producción y fabricación de derivados.
5	Zona de almacenamiento de producto terminado
6	Zona de almacenamiento de desechos, excedentes o derivados devueltos
7	Zona de pruebas físicas y microbiológicas
8	Zona de secado
9	Zona de separación y clasificación de flores de cannabis.
10	Zona de servicios de vestier y casilleros.
11	Oficina del director técnico.
12	Zona de espera y recepción de clientes.
13	Zona de descanso
14	Zona de aprovechamiento de semilla
15	Zona de aprovechamiento de cáñamo

4. CONCLUSIONES

Se debe cumplir con los análisis de contenido de metabolitos y realizar las pruebas físicas y microbiológicas según las recomendaciones del presente trabajo. Para el caso de la empresa Sannabis, se hace necesario construir un laboratorio para hacer pruebas iniciales como las organolépticas, características macroscópicas y microscópicas, porcentaje de materias extrañas y pérdidas por secado, para lo cual se debe adquirir equipos como microscopios, estereoscopios y equipos microbiológicos. Para las pruebas de contenido de metabolitos y presencia de hongos, levaduras, coliformes totales y residuos de pesticidas se podrá tercerizar con un laboratorio externo certificado además, se debe documentar estas pruebas para dar una calificación de la calidad inicial de la materia prima.

A partir de estudios previos de espectrometría infrarroja se encontró presencia de cannabidiol (CBD) en el extracto puro, calculado en un 14%, y mediante balances composicionales de CBD, se calculó la concentración inicial en las flores de cannabis sativa de este mismo metabolito, dando como resultado 2,7%. Estos niveles corresponden a variedades de cannabis cultivadas y naturalizadas en la región, han sido encontrados concentraciones de CBD que están entre 2% y 6%. Es de entender que las diversas condiciones de cultivo (fertilizantes, tipo de suelo, tipo de cultivo, crecimiento en tierra o sin ella, cantidad de agua), influyen en la composición final de metabolitos

En la producción industrial de fibra de cannabis destinado a la elaboración de papel y fibra textil se genera un subproducto denominado cañamiza, por tanto la utilización de este subproducto que hace parte del aprovechamiento integral de la planta promueve un valor agregado de producción, que maximiza la relación costo - beneficio y repercute en un mayor desarrollo industrial y social en los lugares donde se cultive.

De los disolventes probados, el aceite de oliva es la opción más óptima para la preparación de aceites de cannabis. Es barato, no inflamable ni tóxico, y tiene que ser calentado sólo hasta el punto de ebullición del agua al baño maría (metiendo el producto en un recipiente de vidrio y este en una recipiente con agua hirviendo) por lo que no es posible el sobrecalentamiento del aceite. Después de enfriar y filtrar el aceite, el producto está inmediatamente listo para el consumo. Como contrapartida, el extracto de aceite de oliva no puede ser concentrado por evaporación, lo que significa que los pacientes tendrán que consumir un volumen más grande del mismo para obtener los mismos efectos terapéuticos que con la extracción de alcohol

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de disolventes no tóxicos para que los potenciales residuos no sean perjudiciales para la salud, pues en la producción de extractos, mientras más concentrado llega a ser este más difícil será eliminar su disolvente residual. En tal caso la aplicación de más calor aumentará la evaporación, pero al mismo tiempo se perderá también más metabolitos secundarios. Siempre hay una pérdida de terpenos, flavonoides o compuestos aromáticos, a cambio de una menor cantidad de residuos del disolvente.

Se recomienda una ultrafiltración para eliminar partículas residuales y asegurar una solución homogénea al aceite esencial por arrastre de vapor.

Se propone realizar análisis físicos y microbiológicos al cannabis, que tienen como fin identificar residuos de pesticidas, metales pesados, materias extrañas, levaduras, hongos y contaminantes para que la materia prima ingrese con una calidad aceptable al proceso de producción y fabricación. Estos análisis deben realizarse a cada lote de Cannabis para determinar las siguientes características:

Se debe realizar un pre tratamiento a las flores de cada cosecha antes de ser transformada. Se recomienda que las flores de cannabis que llegan a su madurez, sean recolectadas cortando el tallo y llevadas a un proceso de secado el cual debe hacerse en un lugar oscuro para evitar la degradación de los cannabinoides. Los parámetros de temperatura y humedad en el secado, irán determinados según las condiciones geográficas y ambientales donde se lleve a cabo la actividad productiva, para el caso de la planta de producción de la empresa Sannabis ubicada en Corinto Cauca el cual tiene una temperatura promedio de 27°C y una humedad relativa de 6,1%, se deben usar corrientes de aire caliente que no supere los 30°C y no se hace necesario el uso de deshumidificadores. Posteriormente se debe realizar una separación de la flor de los demás componentes de la planta y esta se debe depositar en recipientes de vidrio que sean almacenados en un lugar oscuro y ventilado por un tiempo no máximo a 90 días donde se realizará la maduración de los tricomas. Es importante una adecuada conservación de la materia prima para evitar los procesos de degradación de los cannabinoides. Finalmente debe hacerse una reducción de tamaño en fragmentos más pequeños hasta homogenizar y se almacena a -4°C hasta su uso.

Separar la totalidad de las semillas de las flores que entran a la producción de resina y Reducir el tamaño de las flores y conservar a -4°C.

Se propone realizar una extracción por etapas con recirculación del solvente durante un periodo de 40 minutos, sin que la materia prima este en contacto con el solvente previamente. En el proceso de destilación se debe controlar la temperatura a no más de 70°C, para favorecer la descarboxilación de los cannabinoides; durante la concentración, se debe evitar que la sustancia se queme o pierda su calidad por exceso de calor.

Por parte de la organización se recomienda adquirir un roto-evaporador, donde se controlé la temperatura de la mezcla durante la separación y se garantice la conservación de los metabolitos en la evaporación. La mezcla se debe dejar enfriar y conservar en lugar oscuro y ventilado por varios días (curado), para eliminar las trazas del solvente y mejorar las características, antes de empacar.

Se debe fortalecer la industria en la extracción del cáñamo, puesto que siempre fue estigmatizado y la siembra se detuvo así mismo la industria dejó de producir

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Xaquín. Análisis ambiental del aprovechamiento energético del cáñamo. Tesis Licenciatura de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, España: 2003.

ALADIĆ, K.; JOKIĆ, S.; MOSLAVAC, T.; TOMAS, S.; VIDOVIĆ, S.; VLADIĆ, J. & ŠUBARIĆ, D. Cold Pressing and Supercritical CO₂ Extraction of Hemp (*Cannabis sativa*) Seed Oil. En: Chemical & Biochemical Engineering Quarterly, 2014, vol. 28, no. 4, pág. 481-490.

ANMAT. Informe ultrarrápido de evaluación de tecnológica sanitaria - Usos terapéuticos de los cannabinoides [en línea] 2016 [citado septiembre, 2017] Disponible en internet en : http://www.anmat.gov.ar/ets/ETS_Cannabinoides.pdf

ARRAIZA, B. Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales. Material de clase. Tema 13. Universidad Politécnica de Madrid [en línea]. UPM ©: 2010 [citado junio, 2017] Disponible en: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/uso-industrial-de-plantas-aromaticas-y-medicinales/material-de-clase>

BAUSO, José. Estudio de la Calidad de Vida Relacionada con la Salud en usuarios terapéuticos de cannabis [en línea]. Fundación CANNA ©: 2015 [citado octubre, 2017] Disponible en internet en: <https://www.fundacion-canna.es/estudio-de-la-calidad-de-vida-relacionada-con-la-salud-en-usuarios-terapeuticos-de-cannabis>

CARDOZO, D. Localización y distribución de planta de la empresa PRETECOR Ltda. Tesis Ingeniería Industrial. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ciencias físico- mecánicas. Bucaramanga: 2006, pág. 7.

CALLAWAY, J.C. Hemp seed as a nutritional resource: An overview. Departamento de química farmacéutica [en línea]. Finlandia: 2004 [citado agosto, 2017] Disponible en internet en: http://www.fao.org/fsnforum/sites/default/files/discussions/contributions/Hempseed_as_a_nutritional_resource-_An_overview_2.pdf

CANNA, Fundación CANNA/ Beneficios nutricionales de las semillas de cáñamo [en línea]. Fundación CANNA ©: 2015 [citado septiembre, 2017] Disponible en internet en: <https://www.fundacion-canna.es/beneficios-nutricionales-semillas-canamo>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Proyecto de ley 80 de 2014. Por medio del cual se reglamenta el acto legislativo 02 de 2009. El Honorable Congreso de la República. Bogotá D.C.: 2014.

CORDIS SERVICIO DE INFORMACIÓN COMUNITARIO SOBRE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. Cáñamo con rasgos mejorados [en línea]. Cordis ©: 2017 [citado septiembre, 2017]. Disponible en internet en: https://cordis.europa.eu/result/rcn/164512_es.html

DE LA FUENTE, J.R. Marihuana y salud. FCE - Fondo de Cultura Económica. México, D.F.: 2015,

DÍAZ, J.A. La denominación del cáñamo: Un problema terminológico y lexicográfico [en línea]. Universitat de Valencia. España: 2003 [citado octubre, 2017]. Disponible en internet en: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/5486/RL_104.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DRONKERS, B. El conocimiento y los hechos sobre el cannabis [en línea]. Hash Marihuana & Hemp Museum ©: 2015 [citado agosto, 2017]. Disponible en internet en: <http://hashmuseum.com/es/la-planta/cannabis-medicinal/la-historia>

GALÁN P., J.M. *et al.* 2015. Ponencia para segundo debate al proyecto de ley N° 80 de 2014 senado, "Por medio del cual se reglamenta el acto legislativo 02 del 2009". El Honorable Congreso de la República. Bogotá, D.C.: 2015.

GÓMEZ. D. Extractos: Aceites de cannabis [Blog]. En: MCN Medical Cannabis News, 2017. [citado Diciembre, 2017] Disponible en internet en: <https://medicalcannabisnews.com/es/extractos-un-metodo-seguro-para-producir-aceite-de-cannabis/>

GRASS, J.F. *et al.* Metodología para la localización y distribución física de instalaciones de manufactura. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia: 2010, pág. 73-76.

KALLISTI, A. Propiedades industriales del cáñamo [Blog]. Scribd ©: 2011 [citado febrero 2018]. Disponible en internet en: <https://es.scribd.com/document/59900722/Propiedades-Industriales-del-Canamo>

MIKULCOVÁ, V.; KAŠPÁRKOVÁ, V.; HUMPOLÍČEK, P. & BUŇKOVÁ, L. Formulation, characterization and properties of hemp seed oil and its emulsions. En: *Molecules*, 2017, vol. 22, no. 5, pág. 1-13.

MÜLLER, A. Procedimiento para la producción de un extracto que contiene tetrahidrocannabinol y cannabidiol a partir de material de la planta del Cannabis así como extractos de Cannabis [en línea]. Oficina española de patentes y marcas. Madrid: 2005

[citado agosto, 2017] Disponible en internet en: http://www.espatentes.com/pdf/2243580_t3.pdf

OCHOA, J.R. Industria Química basada en biomasa. Observatorio Industrial del sector químico. Centro de Desarrollo Tecnológico. España: 2007.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Convención única de 1961 sobre estupefacientes, enmendada por el protocolo de 1972 de modificación de la convención única de 1961 sobre estupefacientes de 1961 [en línea]. ONU: s.f. [citado septiembre, 2017]. Disponible en internet en: https://www.incb.org/documents/Narcotic-Drugs/1961-Convention/convention_1961_es.pdf

OTERO, P. y DUARTE, R.A. Elaboración del estudio de pre factibilidad para el montaje de una empresa de cultivo y comercialización de cannabis en Colombia. Tesis Especialización en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá D.C.: 2016.

PALMER, S. ¿Es el cáñamo el mejor biocombustible? [en línea]. Seniseeds©: 2016 [citado Octubre, 2017] Disponible en internet en: <https://sensiseeds.com/es/blog/es-el-canamo-el-mejor-biocombustible/>

RAVA, C. Cáñamo industrial: ventana de oportunidad para Uruguay. En: Estudios de Economía Agraria y Ambiental, 2015, pág. 15-32.

ROMANO, L.L. Aceite de cannabis: evaluación química de un nuevo medicamento derivado del cannabis. En: Cannabinoids, 2013, vol. 1, no. 1, pág. 1-12.

SÁNCHEZ, C. Preparaciones de cannabis utilizados con fines terapéuticos. Instituto Universitario de Investigación Neuroquímica. Madrid: 2017. ISBN: 978-84-697-2394-4.

SESHATA. La Ciencia de los Cannabinoides 101: El Cannabidiol [en línea]. Sensiseeds ©: 2002 [citado junio, 2017.] Disponible en internet en: <https://sensiseeds.com/es/blog/la-ciencia-de-los-cannabinoides-101-el-cannabidiol/>

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE INVESTIGACIÓN SOBRE CANNABINOIDES (SEIC). Guía Básica sobre los Cannabinoides. Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Bioquímica y Biología molecular. Facultad de Medicina. Madrid: 2002.

TESCHKE, K. Industria del papel y de la pasta de papel. En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Sectores basados en recursos biológicos. Barcelona: 2002.

TÉLLEZ, C. Regulación y perspectivas en América Latina sobre el uso del cannabis con fines medicinales [en línea]. Creative Commons: 2017 [citado octubre, 2017] Disponible en internet en: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14880/1/Art%C3%ADculo%20de%20grado%20CNTG%20con%20licencia.pdf>

TÉLLEZ, J. Marihuana Cannabis: Aspectos toxicológicos, clínicos, sociales y potenciales usos terapéuticos. Ministerio de Justicia y del Derecho. Bogotá: 2015.

VALLEJOS, M. Aprovechamiento integral del *Cannabis sativa* como material de refuerzo/carga del polipropileno. Tesis Ph. D. Ciencia y Tecnología en las Industrias textiles y papeleras. Universitat de Girona. España: 2006.

ZALAZAR, B. Diseño y distribución en planta [en línea]. Creative Commons: 2016 [citado marzo, 2017]. Disponible en internet en: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/>