



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo
a la obtención del título de Ingeniero Forestal**

**OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE *Pinus patula* Schl.et Chan EN LA
COMUNIDAD DE ZULETA, PARROQUIA ANGOCHAGUA, PROVINCIA DE
IMBABURA.**

AUTOR

José Moisés Cueva Jiménez

DIRECTOR

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

IBARRA – ECUADOR

2019

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE *Pinus patula* Schl.et Chan EN LA
COMUNIDAD DE ZULETA, PARROQUIA ANGOCHAGUA, PROVINCIA DE
IMBABURA.

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación
como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

Ing. Mario José Afíazco Romero, PhD.
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



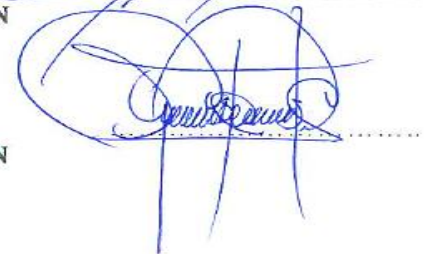
Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.
MIEMBRO TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs.
MIEMBRO TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc
MIEMBRO TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN



Ibarra - Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio digital institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
Cédula de identidad:	100442858-5
Apellidos y nombres:	José Moisés Cueva Jiménez
Dirección:	Panamá y Olmedo casa # 61
Email:	jmcuevaj@utn.edu.ec ; moiscueva@hotmail.es
Teléfono fijo:	022 364 940
Teléfono móvil:	0989623467

DATOS DE LA OBRA	
Título:	OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE <i>Pinus patula</i> Schl.et Chan EN LA COMUNIDAD DE ZULETA, PARROQUIA ANGOCHAGUA, PROVINCIA DE IMBABURA.
Autor:	José Moisés Cueva Jiménez
Fecha:	
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniera Forestal
Director:	Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, José Moisés Cueva Jiménez, con cédula de ciudadanía Nro. 100442858-5; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 7 de febrero del 2019

EL AUTOR:



José Moisés Cueva Jiménez

C.C.: 10044285-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, José Moisés Cueva Jiménez, con cédula de ciudadanía Nro. 10044285-5; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE *Pinus patula* Schl.et Chan EN LA COMUNIDAD DE ZULETA, PARROQUIA ANGOCHAGUA, PROVINCIA DE IMBABURA** que ha sido desarrolla para optar por el título de Ingeniero Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
José Moisés Cueva Jiménez

C.C.: 10044285-5

Ibarra, 2019

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 7 de febrero del 2019

José Moisés Cueva Jiménez: **OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE *Pinus patula* Schl.et Chan EN LA COMUNIDAD DE ZULETA, PARROQUIA ANGOCHAGUA, PROVINCIA DE IMBABURA** /Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 7 de febrero del 2019. 84 páginas.

DIRECTOR: Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

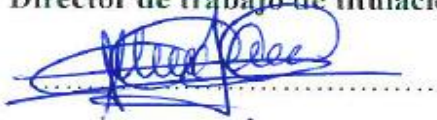
El objetivo principal de la presente investigación fue: Contribuir al uso eficiente del recurso forestal proveniente de plantaciones forestales de *Pinus patula* Schl.et Chan en la comunidad de Zuleta, parroquia Angochagua, provincia de Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentra: Determinar la cantidad de aceites esenciales que contienen las acículas de *Pinus patula* Schl.et Chan Analizar las propiedades fisicoquímico de los aceites esenciales extraídos a fin de caracterizar los principales contenidos de carotenos, Detallar el costo de producción del aceite esencial

Fecha: 7 de febrero del 2019



Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

Director de trabajo de titulación



José Moisés Cueva Jiménez

Autor

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres, en especial a mi Madre Carmen Jiménez pilar fundamental de mi vida, mi motor y mi mayor inspiración, gracias por inculcar en mí, amor, respeto, responsabilidad sobre todo ser una buena persona, por enseñarme a nunca rendirme y cumplir todas las metas que me he plantado en la vida, por brindarme todo su apoyo y amor incondicional y porque yo sé todo el esfuerzo y sacrificio que ha hecho para que lograré culminar mi carrera profesional. Es la mejor madre del mundo, La Amo!

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecerle a Dios por darme todo cuanto tengo, por darme la fuerza para superar todas las metas que me he planteado en la vida y por darme una familia como la que tengo.

Un agradecimiento a mis hermanas Rita, Yobana, Ceci, Lore y Zulay y mi hermano Nixon por su cariño y apoyo incondicional, los Amo!

Un agradecimiento especial, para mi equipo de trabajo al Ph.D. Mario Añazco, Ing. Carlos Arcos, Ing. Jorge Ramírez e Ing. Hugo Vallejos quienes dirigieron y asesoraron de manera desinteresada y oportuna.

A la Ing. María Vizcaino por su ayuda invaluable, apoyo incondicional y desinteresado con el que guio la ejecución de la presente investigación.

A la Ing. Cecilia Cadena e Ing. Edilma Jurado técnicas de las unidades productivas de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial U.T.N quienes aportaron sus conocimientos en el desarrollo de mi investigación.

A mis amigos por brindarme su cariño y aliento para seguir adelante en especial a Araceli, Jorge, Liniker, David, Willy, Isaac y Anita por los buenos momentos que hemos compartido, sin duda hicieron una de las mejores etapas de mi vida fuera inolvidable.

LISTA DE SIGLAS

MAE: Ministerio del Ambiente del Ecuador.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

CONAFOR: Comisión Nacional Forestal.

PFNM: Productos Forestales No Madereros

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

SERFOR: Servicio Nacional Forestal y de fauna silvestre.

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles.

COMAFOR: Corporación de Manejo Forestal Sustentable.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
PORTADA	
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR	v
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	x
ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	1
CAPÍTULO I	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 General	3
1.3.2 Específicos.....	3
1.4 Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Fundamentación legal	4
2.1.1 Objetivo del Plan Nacional del Desarrollo 2017-2021	4
2.1.2 Línea de investigación	4
2.2 Fundamentación teórica	5

2.2.1 Ecosistema forestal	5
2.2.1.1 Plantaciones forestales	5
2.2.1.1.1. Plantaciones de pino en Ecuador	5
2.2.1.2 Productos forestales madereros	6
2.2.1.3 Productos forestales no madereros.....	6
2.2.2 Los aceites esenciales.....	6
2.2.2.1 Compuestos orgánicos volátiles.....	8
2.2.2.2 Quimiotipo del aceite esencial.....	8
2.2.2.3 Clasificación de los aceites esenciales	8
2.2.2.4 Estado natural de los aceites esenciales	9
2.2.2.5 Aplicaciones de los aceites esenciales	10
2.2.2.6 Importancia económica de los aceites esenciales	11
2.2.2.7 Especies del género Pinus para extracción de aceite esencial.	11
2.2.2.8 Características química del aceite de pino	11
2.2.3 Métodos de extracción de aceites esenciales.....	12
2.2.3.1 Alambique	13
2.2.4 Radiación solar	15
2.2.4.1 Pigmentos fotosintéticos	15
2.2.5 Carotenos.....	16
2.2.5.1 Importancia de los carotenos	17
2.2.6. Investigaciones realizadas	18
CAPÍTULO III	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1 Ubicación del sitio	20
3.1.1 Política.....	20

3.1.2 Geográfica	20
3.1.2.1 Área de estudio	20
3.1.2.1.1 Suelo y taxonomía.....	21
3.1.3 Límites.....	21
3.2 Datos climáticos	21
3.3 Ubicación del trabajo de laboratorio.....	21
3.4 Materiales, equipos e insumos.....	22
3.5 Metodología.....	22
3.5.1 Diseño experimental	22
3.5.2 Factores de estudio.....	23
3.5.3 Variables de estudio	23
3.5.4 Tratamientos	23
3.5.4.1 Características del experimento.	25
3.5.4.2 Características de la unidad experimental.	25
3.5.5 Análisis estadístico para el rendimiento.....	25
3.5.5.1 Prueba de Tukey	26
3.5.5.2 Cálculo del rendimiento en porcentaje.....	26
3.5.5.3 Cálculo de la densidad relativa del aceite esencial	26
3.5.6 Análisis de Carotenos.....	27
2.5.6.1 Análisis estadístico.....	27
3.5.7 Proceso de obtención del aceite esencial de <i>Pinus patula</i>	27
3.5.8 Costos de producción del aceite esencial	30
CAPÍTULO IV	31
RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	31
4.1 Rendimiento del aceite esencial	31

4.1.1 Análisis estadístico	32
4.1.2 Análisis de los factores	33
4.1.3 Rendimiento	36
4.2 Contenido de Carotenos.....	37
4.2.1 Análisis estadístico de Carotenos	38
4.2.2 Análisis Clúster.....	40
4.3 Cálculo de costo de producción.....	41
CAPITULO V.....	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
5.1 Conclusiones	43
5.2 Recomendaciones	44
CAPÍTULO VI.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CAPÍTULO VII.....	52
ANEXOS.....	52
Anexo 1.....	52
Anexo 2.....	53
Anexo 3.....	55
Anexo 4.....	57
FOTOGRAFÍAS.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Alambique pera	13
Figura 2. Equipo de destilación por arrastre de vapor de la Universidad Técnica del Norte. ..	14
Figura 3. Espectro de absorción de los pigmentos	15
Figura 4. Pigmentos fotosintéticos	16
Figura 5. Clasificación de carotenos	17
Figura 6. Fases de extracción del aceite esencial	29
Figura 7. Medias del factor de estudio	33
Figura 8. Interacción entre factores	35
Figura 9. Rendimiento	36
Figura 10. Medias de carotenos	38
Figura 11. Análisis Clúster	40
Figura 12. Mapa de ubicación del sitio de estudio	52
Figura 13. Mapa de tipo de suelo del sitio de estudio	53
Figura 14. Mapa de pendientes del sitio de estudio	53
Figura 15. Mapa de isoyetas del sitio de estudio	54
Figura 16. Mapa de isotermas del sitio de estudio	54
Figura 17. Esquema de recolección de forma aleatoria.....	55
Figura 18. Interacción Factor A x Factor B	55
Figura 19. Interacción Factor A x Factor C	56
Figura 20. Interacción Factor B x Factor C	56

TITULO: OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE *Pinus patula* Schlet Chan EN LA COMUNIDAD DE ZULETA, PARROQUIA ANGOCHAGUA, PROVINCIA DE IMBABURA

Autor: José Moisés Cueva Jiménez

Director de trabajo de titulación: Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

Año: 2019

RESUMEN

La información con respecto al uso, importancia y contribución económica de los productos forestales no madereros es escasa en el país. La presente investigación tuvo como objetivo principal contribuir al uso eficiente del recurso forestal proveniente de plantaciones forestales de *Pinus patula*. El Estudio se realizó en la comunidad de Zuleta parroquia Angochagua, provincia de Imbabura. La metodología empleada fue, diseño de parcelas subdivididas, siendo los factores de estudio la edad (6,10,16 años), la altura de copa (baja, media, alta) y tiempo de recolección (08:00-12:00-16:00); las variables evaluadas fueron: el rendimiento volumétrico del aceite esencial de pino, contenido de carotenos. Para la obtención de aceites esenciales se empleó el método por arrastre de vapor, mientras que para la determinación de carotenos se lo realizó con el método de carotenoides totales por espectrofometría. En promedio se registró un rendimiento volumétrico 0,2 ml de aceite esencial de un kilogramo de material vegetativo de pino, destacándose el mejor tratamiento T18 (E2-T3-A). El porcentaje de rendimiento de aceite esencial de pino fue 0,03% de un kilogramo de materia prima. El contenido de carotenos en aceite esencial de pino varía de acuerdo con la edad, presentando una mayor concentración de carotenos a los 16 años con un promedio de 0,047 mg/ml. El costo de producción fue de 0,03 USD por kilogramo. Del presente estudio se concluye que la producción de aceites esenciales aporta a ser más eficiente el aprovechamiento de plantaciones de *Pinus patula*.

Palabras clave: aceite esencial, acículas, *Pinus patula*, extracción, carotenos.

TITLE: OBTAINING ESSENTIAL OIL FROM *Pinus patula* Schlet Chan IN THE COMMUNITY OF ZULETA, ANGOCHAGUA PARISH, IN THE PROVINCE OF IMBABURA

Author: José Moisés Cueva Jiménez

Research Director: Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

Year: 2019

ABSTRACT

In Ecuador information regarding the use, importance and economic contribution of non-wood forest products is scarce . The main objective of this research was to contribute to an efficient use of forest resources from forest plantations of *Pinus patula*. The research was performed in Zuleta located in the parish Angochagua, in the province of Imbabura. The methodology consisted in the design subdivided plots with the next research factors; age (6,10,16 years), the cup height (low, medium, high) and collection time (08:00-12:00- 16:00); the evaluated variables were: the volumetric yield of pine essential oil, carotenoid content. To obtain essential oils, the steam entrainment method was used applied, and for the determination of carotenes it was carried out with the total carotenoids by spectrophotometry. On average, a volumetric yield of 0.2 ml of essential oil of one kilogram of pine vegetative material was recorded, highlighting the best treatment T18 (E2-T3-A). The yield percentage of pine essential oil was 0.03% of a kilogram of raw material. The content of carotenes in pine essential oil varies according to age, with a higher concentration of carotenes at 16 years with an average of 0.047 mg / ml. The production cost was USD 0.03 per kilogram. From this study it is concluded that the production of essential oils contributes to the efficient use of plantations of *Pinus patula*.

Keywords: essential oil, needles, *Pinus patula*, extraction, carotenes.

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Especies de plantas empleadas en la obtención de aceite esencial	7
Tabla 2. Coordenadas geográficas de los sitios de estudio	20
Tabla 3. Materiales, equipo e insumos	22
Tabla 4. Descripción de tratamientos y factores de estudio.....	24
Tabla 5. Análisis de varianza para el rendimiento volumétrico	25
Tabla 6. Rendimiento de los aceites esenciales.....	31
Tabla 7. Análisis de varianza del rendimiento	32
Tabla 8. Contenido de carotenos	37
Tabla 9. Prueba de t de Student.....	39
Tabla 10. Costos de producción	41
Tabla 11. Media del factor A (edad).....	57
Tabla 12. Media del factor B (tiempo de recolección)	57
Tabla 13. Media del factor C (altura de copa).....	57
Tabla 14. Interacción entre factores A y B	58
Tabla 15. Interacciones entre factores A y C	58
Tabla 16. Interacciones entre factores B y C	59
Tabla 17. Interacciones entre factores Ax B x C.....	59
Tabla 18. Media carotenos factores de estudio	60
Tabla 19. Rendimiento porcentual.....	62

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales en el Ecuador son establecidas con fines de producción de madera; siendo los productos primarios: madera en rollo, puntales, pasta de madera, entre otros; productos semielaborados como tableros, aglomerados, contrachapados, MDF, elaboración de pulpa y los productos de mayor valor agregado tales como muebles, molduras decorativas, puertas, entre otros (FAO, 2010).

La visión tradicional de las plantaciones forestales ha sido aquella que se centra solo en la madera, dejando a un lado otros bienes y servicios como los Productos Forestales No Madereros (PFNM), los mismos que son ignorados o poco reconocidos en su verdadero valor y aporte (Añazco, Loján y Yaguache, 2004). Un caso es el aprovechamiento de las plantaciones de *Pinus patula* en el Ecuador, en donde únicamente se da prioridad al uso de la madera que adquieren en diámetros comerciales para la industria. Estas plantaciones tienen una gran importancia económica para el sector industrial; el pino es la tercera especie más aprovechada a nivel nacional con el 13,24% del volumen total de madera, cerca de 400.000 metros cúbicos (MAE, 2010).

Los aceites esenciales, considerados como PFNM, se obtienen principalmente de plantas herbáceas (manzanilla, menta) y arbustivas (romero); mientras que las especies forestales a excepción del *Eucalyptus globulus* son menos estudiado en el país y más aún aquellos que pueden provenir de plantaciones forestales de pino.

La acumulación excesiva de acículas de pino, se pueden considerar un problema por el riesgo de enfermedades y/o una amenaza de incendio forestal, ocasionando efectos negativos al suelo como: la erosión, disminución de la materia orgánica y reducción de la capacidad de infiltración de agua (Vidal, 1995).

Con el aprovechamiento de las acículas de pino provenientes de podas, raleos y aprovechamiento, se pueden generar ingresos económicos como es el caso en la obtención de aceite esencial de pino.

Los aceites esenciales proveniente de plantaciones forestales es muy escasa en el país, por ese motivo se realizó la investigación, cuyo objetivo es contribuir al uso eficiente del recurso forestal proveniente de plantaciones forestales de *Pinus patula*, con el fin de aportar información sobre los rendimientos del aceite esencial, sus propiedades químicas y costos de producción.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Contribuir al uso eficiente del recurso forestal proveniente de plantaciones forestales de *Pinus patula*, en la comunidad de Zuleta, parroquia Angochagua, provincia de Imbabura.

1.3.2 Específicos

- Determinar la cantidad de aceites esenciales que contienen las acículas de *Pinus patula*
- Analizar las propiedades fisicoquímico de los aceites esenciales extraídos a fin de caracterizar los principales contenidos de carotenos
- Detallar el costo de producción del aceite esencial

1.4 Hipótesis

Nula (H₀): La cantidad y calidad de carotenos es similar en los tratamientos investigados

Alterna (H_a): La cantidad y calidad de carotenos es diferente en los tratamientos investigados

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

2.1.1 Objetivo del Plan Nacional del Desarrollo 2017-2021

El presente estudio se enmarca en el objetivo, política y lineamientos estratégicos siguientes:

Eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida.

Objetivo 3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

Política 3.4. Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017 p. 66).

Política 3.7. Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017 p. 66).

2.1.2 Línea de investigación

El estudio se enmarca en la línea de investigación de la Carrera de Ingeniera Forestal: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Ecosistema forestal

Nix (2017), menciona que los ecosistemas forestales son extensas superficies que se caracterizan por el predominio de numerosas especies de árboles que forman el dosel, ya sean nativos o introducidos; en este ecosistema forestal los seres vivos coexisten juntos en simbiosis para crear una ecología única.

Los ecosistemas forestales se estima que mantiene el 75% de las especies continentales y una parte fundamental de la biomasa terrestre (Groombridge, 1992). Por su gran extensión estos desempeñan un papel crucial; los bosques cumplen funciones como bienes y servicios ambientales, a diferentes escalas desde local a lo global, albergan una gran variedad de seres vivos como: mamíferos, aves, insectos, flores, musgos y microorganismos, entre otros; son una gran fuente de alimento para millones de personas esencialmente en los países menos desarrollados (Byron y Arnold, 1999; Pimentel, D., McNair, M., Back, L., Pimentel, M. y Kamil, J., 1997).

2.2.1.1 Plantaciones forestales

Las plantaciones forestales son cultivos con especies arbóreas constituidos a partir de la intervención humana, mediante el establecimiento de una o más especies forestales nativas o exóticas; según sus fines, existen diferentes tipos de plantaciones como por ejemplo, plantaciones de producción industrial y comercial; plantaciones forestales de protección de cuencas, riveras de ríos; restauración, agroforestería y provisión de servicios ambientales (captura de carbono) (SERFOR, 2015).

2.2.1.1.1. Plantaciones de pino en Ecuador

El pino representa el 12,75% de las plantaciones forestales localizadas en la región interandina; es la tercera especie más provechada en Ecuador con un volumen de 400.000 metros cúbicos correspondiente al 76,76% del volumen total aprovechado anualmente (MAE, 2010).

2.2.1.2 Productos forestales madereros

Los productos forestales madereros son los que provienen directamente del aprovechamiento de la madera; los bosques tienen un alto potencial madero y económico, así como los productos y derivados que se obtengan de la transformación de ésta (SERFOR, 2015).

2.2.1.3 Productos forestales no madereros

Los productos forestales no madereros (PFNM) son bienes materiales de origen biológico, tales como plantas, hojas, semillas, condimentos, aromatizantes fibras, látex, aceites esenciales, hongos entre otros productos derivados del bosque, sistemas agroforestales y plantaciones forestales (FAO, 1999).

Se puede mencionar algunos ejemplos de PFNM como guato (*Erythrina edulis*), el árbol de pan o fruti pan (*Artocarpus altilis*), el maní de árbol (*Caryodendron orinocense*). También existen especies de árboles cuyos frutos o semillas albergan grandes cantidades de vitaminas, minerales y carbohidratos como el cacao (*Theobroma cacao*) (Añazco *et al.* 2004).

Los PFNM tiene una gran importancia como materia prima en las industrias que fabrican por ejemplo, muebles de bambú, aceites esenciales, productos farmacéuticos y químicos, alimentos, especias y artesanías (FAO, 1996). Algunos PFNM son comercializados internacionalmente, que se usan en alimentación, perfumes, sabores, medicinas, confitería, pinturas y ceras, entre otros.

En Ecuador Añazco *et al.* (2004) menciona que se extraen aceites esenciales de *Aniba sp*, *Ocotea sp*, *Myroxylon balsamun*, *Dacryodes cupularis*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus saligna*.

FAO, (1996) indica que en Ecuador hay especies aromáticas tales como: *Clusia dixonii*, *Myroxylon balsamum*, *Oximummicranthum* y *Schinus molle*

2.2.2 Los aceites esenciales

Los aceites esenciales son compuestos extraídos de plantas, poseen principios aromáticos y pueden ser obtenidos por destilación; es preciso indicar que dependiendo de la especie de origen

varia la composición química y su característica física, en la tabla 1 se incluyen algunos ejemplos (Ortuño, 2006).

Los aceites esenciales son de aspecto oleoso, altamente volátiles, solubles en aceites, alcohol, éter de petróleo, tetracloruro de carbono y demás solventes orgánicos; insolubles en agua aunque le transmiten su perfume, con densidad generalmente inferior a la del agua (Angulo, 2014).

Tabla 1

Especies de plantas empleadas en la obtención de aceite esencial

Nombre común	Nombre científico	Parte de la planta utilizada	Tipo de aceite esencial(consistencia)
Ciprés	<i>Cupressus sempervirens</i> ,	Ramas	Oleorresinas
Lavanda	<i>Lavandula officinalis</i>	Sumidades floridas	Esencias fluidas
Menta	<i>Menta arvensis</i>	Planta entera	Esencias fluidas
Geranio	<i>Geranium sp.</i>	Hojas	Esencias fluidas
Neroli	<i>Citrus aurantinuma</i>	Flor	Esencias fluidas
Naranja	<i>Citrus × sinensis</i>	Flavedo (capa	Esencias fluidas
Limón	<i>Citrus aurantifolia</i>	externa del fruto)	Esencias fluidas
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Planta entera	Esencias fluidas
Melisa	<i>Melissa officinalis</i>	Planta fresca	Esencias fluidas
Abeto de Siberia	<i>Abies sibirica</i>	Acículas	Oleorresinas
Manzanilla	<i>Matricaria chamomilla</i>	Flor seca	Esencias fluidas
Canela	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Corteza	Esencias fluidas
Cedro	<i>Cedrus sp.</i>	Madera	Esencias fluidas
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	Botones florales	Oleorresinas
Vetiver	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	Raíz	Oleorresinas
Mostaza	<i>Sinapis alba</i>	Semillas	Esencias fluidas

Fuente: (Ortuño, 2006)

En las plantas aromáticas, normalmente hay alrededor del 1% de COV en el material seco, pero su porcentaje varía considerablemente desde cerca de cero hasta el 17% (yemas de clavo) o más del 70% en las resinas secas (Martínez, 2001).

2.2.2.1 Compuestos orgánicos volátiles.

Los compuestos orgánicos volátiles cumplen funciones importantes: protegen a la planta de plagas, enfermedades, invasión de otras plantas e incluso le proporcionan un aroma a la flor que ejerce atracción sobre insectos y aves, favoreciendo el proceso de polinización (Davis, 2001).

Estas cualidades de protección y atracción se ven representadas en propiedades tales como: antiséptica, antiinflamatoria, antidepresiva, afrodisíaca y otras, presentes en mayor o menor grado en la totalidad de los aceites (Davis, 2001). Los compuestos orgánicos volátiles tienen un papel principalmente defensivo y se liberan localmente cuando una planta es atacada por un patógeno o un herbívoro (Ratajc, 2017).

2.2.2.2 Quimiotipo del aceite esencial

El quimiotipo de un aceite esencial define la molécula química (aromática) más abundante en dicho aceite esencial la cual se distingue en forma significativa del resto según su composición química; es decir es la variación química, biológica y botánica, de la molécula con mayor presencia en el aceite (Romero, 2004).

La variación del quimiotipo depende de muchos factores que influyen en la composición química vinculados a las condiciones de vida de la planta de la que ha sido extraído el aceite esencial, tales como: clima, región geográfica, la cantidad de horas de luz recibida, la insolación, que depende de las estaciones del año y la inclinación de los rayos solares, nutrientes del suelo, el periodo de recolección entre otros; para la identificación de las diferentes moléculas aromáticas se realiza a través de la cromatografía de gases y de la espectrofotometría de masas: con este análisis se verifica la autenticidad de un aceite esencial (Romero, 2004).

2.2.2.3 Clasificación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se clasifican con base a diferentes criterios como: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios (Salazar y Mayanquer, 2009).

- De acuerdo con su consistencia se clasifican en esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas. Las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente. Los bálsamos son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización, por ejemplo: el bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, entre otros. Las oleorresinas tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha, chicle, balata, oleorresina de páprika, de pimienta negra, de clavel, etc.). (Salazar y Mayanquer, 2009).

- De acuerdo con su origen los aceites esenciales se clasifican como naturales, artificiales y sintéticos. Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas. Los artificiales se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes. Los aceites esenciales sintéticos son producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (Salazar y Mayanquer, 2009).

- Desde el punto de vista químico, existen diferentes tipos de sustancias como: monoterpenos se denominan aceites esenciales monoterpenoides (p.ej. hierbabuena, albahaca, salvia, etc.). Los ricos en sesquiterpenos son los aceites esenciales sesquiterpenoides (p.ej. Copiaba, pino junípero, etc.). Los ricos en fenilpropanos son los aceites esenciales fenilpropanoides (p.ej. Clavo, canela, anís, etc.) (Cuaspud, M. 2004).

2.2.2.4 Estado natural de los aceites esenciales

Se encuentran muy difundidos en el reino vegetal; de 60 a 80 familias producen aceites esenciales (Angulo, 2014). Las principales plantas que contienen aceites esenciales se encuentran en familias como Lauráceas, Mirtáceas, Pináceas, Rosáceas, Rutáceas y Apiaceae.

Los aceites esenciales tienen una cantidad de usos y se obtienen tanto de plantas cultivadas como de plantas silvestres, FAO (1998) menciona que existen alrededor de 3000 aceites esenciales conocidos a nivel mundial, de los cuales aproximadamente el 10% tienen importancia comercial.

2.2.2.5 Aplicaciones de los aceites esenciales

a) Industria Alimentaria

Es un componente saborizante en muchos productos comestibles, como bebidas alcohólicas y no alcohólicas, productos de panadería, confitería, congelados, postres, gelatinas y lácteos (Harborne y Baxter, 2001).

b) Industria Farmacéutica

Se usan en cremas dentales (aceite de menta e hinojo), analgésicos e inhalantes para descongestionar las vías respiratorias, jarabes. Son utilizados en la fabricación de neutralizantes de sabor desagradable de muchos medicamentos (naranjas y menta, entre otros) (Arraiza, 2013).

c) Industria de Cosméticos

Utilizado como un ingrediente de fragancia en jabones, cremas, detergentes y muchos preparados farmacéuticos, y en aromatizantes. (Harborne y Baxter, 2001)

d) Industria de productos de uso veterinario

Esta industria emplea el aceite esencial como aromaterapia canina; por su contenido químico como acárido, vermífugo. También requiere limoneno y mentol como insecticidas (Arraiza, 2013).

e) Desodorantes Industriales

Se utilizan las esencias para ocultar el olor de algunos productos industriales como el caucho, los plásticos, juguetes y las pinturas; en textiles, como neutralizadores de olores en tratamientos con mordientes antes y después del teñido. En papelería, para impregnar de fragancias cuadernos, tarjetas, papel higiénico, toallas faciales (Arraiza, 2013).

f) Industria fitosanitaria

Los aceites y los hidrolatos obtenidos durante el proceso de extracción se utilizan para repeler y controlar plagas, con ellos se preparan herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematocidas, acaricidas, desodorizantes, desinfectantes (Arraiza, 2013).

2.2.2.6 Importancia económica de los aceites esenciales

Frete (2011) indica que la producción mundial de aceite esencial fue de 246.051 toneladas equivalente a US\$ 2.452 millones para el año 2009. En cuanto al volumen exportado esta: América con 150.743 toneladas en el año 2009, seguido de Asia con 45.233 toneladas. No obstante, Europa es el continente que ocupa el primer lugar en cuanto al valor de sus exportaciones con US\$ 858 millones, seguido por América con US\$ 810 millones y en tercer lugar Asia con US\$ 654 millones.

Los principales países exportadores de aceites esenciales son: Estados Unidos, con más de US\$ 431 millones en 2.008. Le siguen India con US\$ 382 millones, Francia con US\$ 291 millones, Brasil con US\$ 155 millones, Reino Unido con US\$ 143 millones.

2.2.2.7 Especies del género *Pinus* para extracción de aceite esencial.

La extracción de aceite esencial de pino viene desde tiempos remotos, como por ejemplo en el continente europeo se utilizan desde el siglo XIV las siguientes especies: Pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y Pino siberiano (*Pinus pumila*); en América del Sur las especies *Pinus radiata* y *Pinus caribea* (Cazar, 2005).

2.2.2.8 Características química del aceite de pino

Según García (2008) el aceite esencial de pino es un líquido móvil incoloro o amarillo pálido emite un olor muy poderoso, penetrante, amaderado y balsámico; según su estructura química son hidrocarburos monoterpénicos: pineno, careno, dipenteno, limoneno, terpinenos, mirceno, canfeno, cineol, Citral y camazuleno.

Además Formenti (1987) menciona otros compuestos químicos encontramos en: carotenos (hojas), taninos (corteza, hojas), ácidos: ascórbico, butírico, cafeico, cáprico, caproico, clorogénico (hojas), ferúlico, protocatecuico (corteza), pinitol (hojas, corteza, fructosa, glucosa, sacarosa (corteza).

El aceite esencial de pino obtenido de yemas, acículas, piñas o la resina, tienen propiedades medicinales benéficas para el tratamiento de enfermedades respiratorias, antiséptica entre otras (Formenti, 1987).

Entre las propiedades terapéuticas, García (2008) menciona las siguientes: Antirreumático, antimicrobiano, bactericida, antiséptico pulmonar, urinario y hepático, balsámico, expectorante, estimulante circulatorio e insecticida, entre otros.

2.2.3 Métodos de extracción de aceites esenciales

Las principales técnicas utilizadas para la extracción del aceite esencial son: expresión, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles, enfleurage y con fluidos supercríticos.

- a) Método de expresión. - consiste obtener aceites esenciales de plantas o partes de plantas aplicando presión, una vez liberado el aceite esencial es recolectado y filtrado; este método es utilizado en cítricos. Ejemplo los aceites de bergamota, limón, naranja, entre otros (Salazar y Mayanquer, 2009).
- b) Destilación por arrastre de vapor. - esta técnica consiste en colocar la parte del vegetal a utilizar en un recipiente, mientras es calentada agua debajo del mismo. El vapor circula a través del recipiente rompiendo las partículas del vegetal donde se encuentra el aceite esencial. El vapor es condensado mediante un sistema de refrigeración y se recolecta en estado líquido. Posteriormente se procede a su separación, sea por decantación o por extracción con solventes (Cazar, 2005).
- c) Extracción mediante disolventes volátiles. - consiste en diluir la materia seca y molida de la planta en un disolvente como hexano, o el etanol. Estos solventes solubilizan la esencia y también se extraen otras sustancias tales como grasas y ceras, obteniéndose una esencia impura. Luego de la decantación y el filtrado, el disolvente se evapora y se obtiene una esencia pura. Se utiliza a nivel de laboratorio ya que a nivel industrial resulta costoso por el valor comercial de los solventes (Davis, 2001).
- d) Método de enflorado o enfleurage. - esta técnica consiste en empapar las flores frescas (jazmín, rosa, gardenia, flor de naranjera, angélica y otras flores) en un aceite previamente

extendido por ambos lados de una bandeja de cristal, con el fin de extraer la esencia; después de varios días se obtiene los aceites esenciales 100% naturales y propios a la fragancia delicada única de las flores frescas; esta técnica fue abandonada por su bajo rendimiento, costos y tiempo de extracción (Salazar y Mayanquer, 2009).

- e) Extracción con fluidos supercríticos. - es una técnica de separación, el material vegetal cortado en pedazos pequeños se coloca en una cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de la muestra un fluido en estado supercrítico (por ejemplo, CO₂), esta presión ejerce sobre las glándulas llenas de esencia explotan con lo que se obtiene mayor cantidad de esencia y son arrastradas por el fluido supercrítico, que actúa como solvente extractor, se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente (Salazar y Mayanquer, 2009).

2.2.3.1 Alambique

El alambique es el sistema de destilación más utilizado, da mejores rendimientos técnicos que la alquitara, con calidades no inferiores y a veces superiores. Es una considerable mejora técnica sobre la alquitara, al separar las fases de vaporización y condensación, lo que permite un mayor control del proceso, ver figura 1 (Ramírez, 2016).

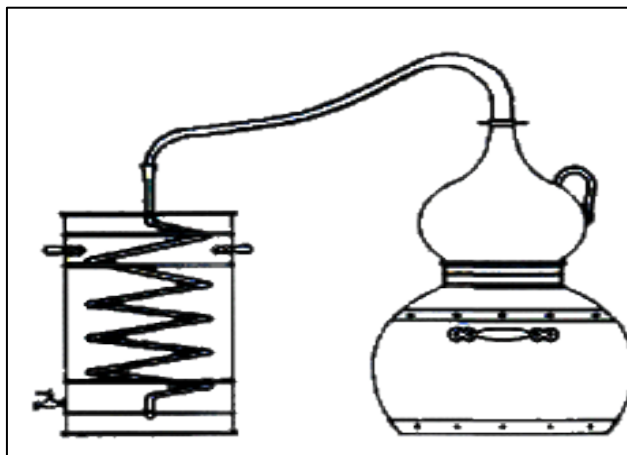


Figura 1. Alambique para
Fuente: Alambiques, 2010

El equipo consta de una caldera o pota de cobre, de capacidad variable, un capacete condensador prolongado en un cuello de cisne (o trompa de elefante), un condensador refrigerante cilíndrico (bidón) provisto en su interior de un serpentín de cobre, conectable al cuello de cisne y con salida para el destilado en su parte inferior y una base para el condensador refrigerante.

Al igual que en la alquitara, el condensador refrigerante lleva dos orificios de entrada y salida de agua (grifo), que se mueve a contracorriente de los vapores en el serpentín. En el orificio de salida del destilado hay normalmente un dispositivo para colocar el alcoholómetro o densímetro, para permitir controlar la graduación de salida y separar las distintas fracciones del destilado o saber la densidad relativa del aceite esencial. La pota o vaso suele llevar en el fondo una base metálica de cobre, perforada, para evitar el contacto intenso entre el fuego y el material vegetativo. En la figura 2 se evidencia el equipo utilizado en la destilación (Ramírez, 2016).



Figura 2. Equipo de destilación por arrastre de vapor de la Universidad Técnica del Norte.

Fuente: José Moisés Cueva Jiménez

2.2.4 Radiación solar

La radiación solar es la energía radiante emitida por el sol, particularmente la energía electromagnética comprendida entre las longitudes de onda de 0.01 nm (rayos gama) hasta 100m (ondas de radio); la radiación fotosintéticamente activa (PAR) o visible, se ubica entre los 400 nm-violeta y los 700 nm-rojo (Pyle, 1996).

2.2.4.1 Pigmentos fotosintéticos

Los pigmentos vegetales encargados del proceso fotosintético en las plantas son dos tipos: clorofila y carotenoides, que son moléculas cromóforas sensibles a la radiación luminosa, generalmente conocidos como pigmentos fotosintéticos (Azcón y Talón, 2013).

La clorofila es el pigmento fotosintético más importante ya que interviene directamente en el proceso de captación y conversión de la energía lumínica a energía química, absorben la radiación luminosa en la zona del azul y rojo, por cual posee el color verde, ver figura 3.

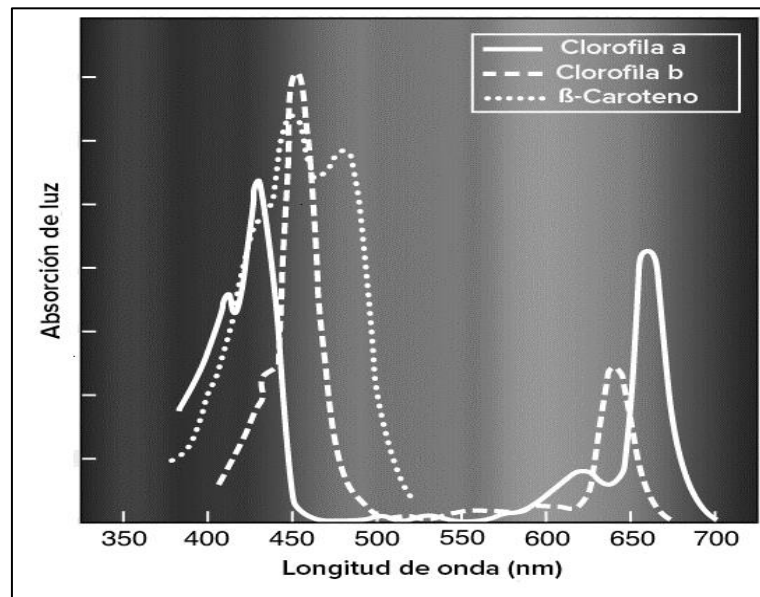


Figura 3. Espectro de absorción de los pigmentos

Fuente: Alegría, 2016

Azcón y Talón, (2013) indican que los carotenoides se clasifican en dos grupos: oxigenados llamados xantofilas y los hidrocarburos sin oxígeno son los carotenos; encargados de proteger el aparato fotosensible mediante mecanismo de disipación en forma de calor evitando daños importantes

Badui, (2006) menciona que los carotenoides son esenciales para que las plantas realicen la fotosíntesis, ya que actúan como atrapadores de la luz solar y, en forma muy especial, como escudo contra la fotooxidación destructiva.

El caroteno más importante en las plantas es el β -caroteno y la luteína es la principal xantofila; el espectro de luz de absorbancia varía entre 450 y 500 nm corresponde a la luz azul-verde, por ello el color de los carotenoides amarillo y anaranjados, (Manrique, 2003)

La relación entre clorofilas y carotenos en el aparato fotosintético, amplía la gama de energía de fotones visibles que puedan ser absorbidos evitando daños en la membrana fotosintética, tal como se muestra en la figura 4 (Manrique, 2003).

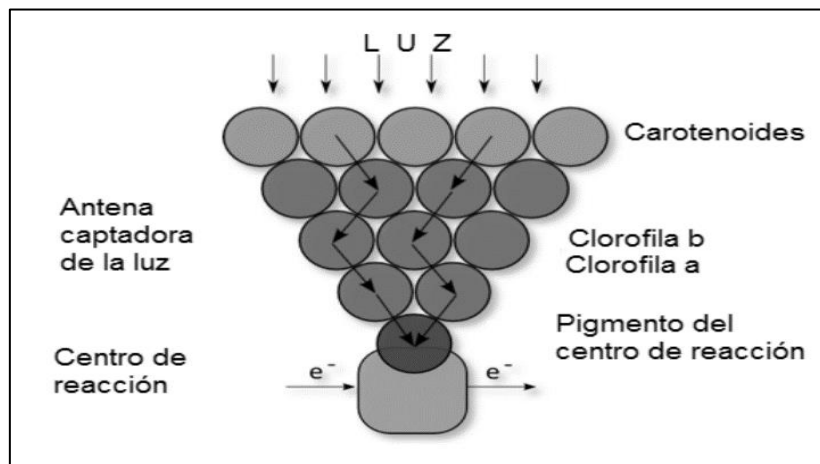


Figura 4. Pigmentos fotosintéticos
Fuente: Alegría, 2016

2.2.5 Carotenos

Gómez (1997) destaca que los carotenoides son pigmentos de color amarillo, roja o naranja, su estructura química de isoprenoides poliénicos muy hidrofóbicos, derivados del licopeno. Se

encuentra principalmente en las plantas, como la zanahoria, el boniato, los vegetales de hojas verde oscuro, acumulan en el cloroplasto una gran variedad de carotenoides y en muchas frutas, granos y aceite.

Los carotenoides se clasifican en dos grupos: carotenos y xantofilas. Los primeros solo contienen carbono e hidrógeno (por ejemplo el β -caroteno, α -caroteno, el licopeno, etc.) de ellos se conocen más de 600 compuestos, además estos carotenos precursores de la vitamina A y antioxidantes (ver figura 5); el β -caroteno y otros carotenoides proveen aproximadamente el 50% de la vitamina A necesaria en la dieta Americana (Salazar y Mayanquer, 2009).

Las xantofilas, son también muy diversas y sus características dependen de la naturaleza del caroteno que les de origen (epoxi, ceto o hidroxilo), ya que no son más que derivados oxigenados de estos pigmentos.

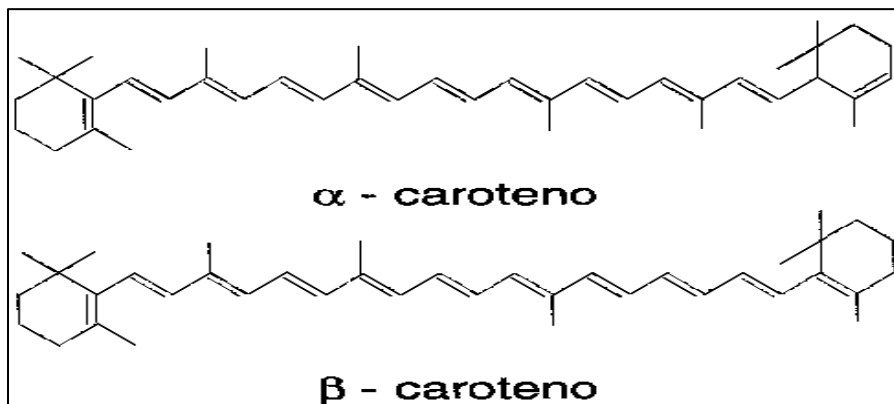


Figura 5. Clasificación de carotenos

Fuente: Gonzáles M, 2011

El caroteno más comúnmente encontrado es el β -caroteno, y normalmente constituye entre el 25-30 % del contenido total de carotenoides en las plantas. La luteína es la xantofila más abundante (40-45 %), pero siempre se encuentra en menor proporción que el β -caroteno (Davis, 2001).

2.2.5.1 Importancia de los carotenos

Según Murray, Birdsall, Pizzorno y Reilly, (2004) mencionan que en los humanos, los carotenos actúan como antioxidantes, el cuerpo humano también convierte ciertos carotenos en

vitamina A. Estas formas de carotenos se conocen como provitaminas; existen alrededor de 600 carotenos, se cree que entre 30 y 50 presentan algún grado con la vitamina A.

Murray *et al.* (2004) manifiestan que existen una serie de estudios que han llegado a una conclusión final que consiste, mientras mayor sea la ingesta de carotenos mediante la alimentación menor es el porcentaje de cáncer de pulmón, piel, útero y el aparato gastrointestinal.

A nivel farmacéutico los betacarotenos son incorporados en suplementos vitamínicos, comprimidos, capsulas, polvos; generalmente se utilizan para prevenir ciertos tipos de cáncer, enfermedades de corazón, cataratas, artrosis, degeneración macular, tratamientos para la fatiga crónica, envejecimiento de la piel, SIDA, úlceras, presión arterial, enfermedad de Parkinson, artritis, entre otras enfermedades que se utiliza el β -caroteno para su tratamiento (Murray *et al.* 2004).

En la industria de alimentos es utilizado el caroteno por ser un pigmento orgánico, lo cual ayuda a estandarizar el color el producto.

2.2.6. Investigaciones realizadas

Quert, Martínez, Martínez y Gelabert, (2000) realizaron una investigación en la Estación Experimental Forestal de Viñales, provincia de Pinar del Río, Cuba. Los resultados obtenidos demostraron que el contenido de aceite esencial varía significativamente con la edad del árbol en forma ascendente, con el valor más bajo (0,12 % en peso) a los 8 años y el más alto (0,27 % en peso) a los 30 años.

Quert, Leyva, Martínez, y Gelabert, (1997) realizaron una investigación en Cuba con respecto al contenido de carotenos en *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis*. Los resultados obtenidos para ambas especies demostraron que el follaje expuesto a la sombra contiene un mayor porcentaje de caroteno que el expuesto al sol; el tiempo de exposición influye significativamente en este contenido, así como la extracción del aceite esencial que aumenta el contenido de caroteno; los valores máximos fueron de 130,7 y 157,2 mg/kg de follaje y los mínimos de 55,3 y 57,2 mg/kg de follaje para *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis*, respectivamente.

Gallo , Sarria y Moreno Quira (2015) realizaron un inuestigacion en la Universidad del Cauca, Colombia. Los resultados de la cuantificación de follaje y rendimiento de aceite esencial de *Pinus patula* de 16 años. Los rendimientos obtenidos en aceite esencial fueron de 319,5 toneladas/año, el porcentaje de rendimiento promedio de aceite esencial fue del 0,1%.

Quert , Rolando; Martínez, Jorge M., Gelabert y Fisma (1998) realizaon una investigacion en Cuba sobre el contenido del aceite esencial en el follaje de *Pinus caribaea* según la época del Año.Los resultados fueron, los rendimientos más altos de aceite esencial se obtuvieron en los meses de marzo y abril y los más bajos entre noviembre y diciembre.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio

3.1.1 Política

La presente investigación se realizó en la Comunidad de Zuleta, situada en la Parroquia Angochagua provincia de Imbabura.

3.1.2 Geográfica

La Comunidad de Zuleta se encuentra en las siguientes coordenadas 78°05'79,2 de longitud W, 00°13'78,9" de latitud N. entre 2589 y 3899 m.s.n.m. de altitud, tal como se evidencia en el anexo 1.

3.1.2.1 Área de estudio

El estudio se desarrolló en tres plantaciones de *Pinus patula*, tal como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2

Coordenadas geográficas de los sitios de estudio

Plantaciones de Pino		Coordenadas UTM	
Edad	Altitud(msnm)	X	Y
6	3200	821111	10026597
10	3110	825301	10022017
16	2900	824999	10022017

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

3.1.2.1.1 Suelo y taxonomía

Los sitios de las tres plantaciones corresponden a suelos del orden Molisol, caracterizados por ser de superficiales a moderadamente profundos, producto de materiales volcánicos y sedimentarios; mientras que, las áreas de estudio presentan pendientes fuertes del 50 al 70 %, ver anexo 2.

3.1.3 Límites

Al norte: Ibarra y La Esperanza, provincia de Imbabura; Al sur: parroquia Olmedo, cantón Cayambe, provincia de Pichincha; Al este: parroquias San Pablo del Lago y González Suárez; cantón Otavalo, provincia de Imbabura (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Parroquial Angochagua, 2015).

3.2 Datos climáticos

La temperatura media es de 13,5°C, la precipitación media anual es 936 mm, los meses más lluviosos van de febrero a mayo, y de menor precipitación de octubre a enero, se encuentra entre los 2900 msnm y los 3200 m.s.n.m. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Parroquial Angochagua, 2015).

3.3 Ubicación del trabajo de laboratorio

El proceso de destilación se realizó en el laboratorio de las unidades productivas de la Facultad en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) - Universidad Técnica del Norte, ubicado en el sector del Camal, Parroquia El Sagrario, Cantón Ibarra, Provincia Imbabura.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Química de Alimentos y Nutrición, Departamento de Ciencias de los Alimentos y Biotecnología (DECAB) – Escuela Politécnica Nacional, ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito, Provincia de Pichincha.

3.4 Materiales, equipos e insumos

Los materiales, equipos e insumos que se utilizaron en la investigación se detallan en la tabla 3.

Tabla 3

Materiales, equipo e insumos

Materiales	Equipos	Software e Insumos
Acículas de <i>Pinus patula</i>	Balanza electrónica.	Office 2010
Libreta de campo	Balanza gramera.	ArcGIS 10.3
Martillo.	Termómetro	InfoStat 2017
Fundas Zipper.	Cronometro	Past 3.10
Marcadores y bolígrafos.	Destiladora por arrastre a vapor	
Podadora aérea.	Espectrofotómetro.	
Cámara fotográfica.	Estufa.	Probeta de 1 litro.
GPS.	Computadora	Bureta.
	Impresora	Micropipeta.
	Materiales de escritorio	Pipeta 1ml

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

3.5 Metodología

3.5.1 Diseño experimental

Se empleó el diseño de parcelas subdivididas: siendo la principal la edad, otra para la altura de copa y la última para el tiempo de recolección.

3.5.2 Factores de estudio

Para la presente investigación se consideraron los siguientes factores de estudio:

- Factor A: Edad (6,10,16 años)
- Factor B: Tiempo de recolección (8:00 am-12:00- 16:00pm).
- Factor C: Ubicación de la rama a diferente altura (copa baja, media, alta)

3.5.3 Variables de estudio

Para la presente investigación se consideraron las siguientes variables de estudio:

- Rendimiento
- Contenido de carotenos

3.5.4 Tratamientos

Se evaluaron 27 tratamientos producto de la combinación de edad, altura y tiempo de recolección, tal como se describen en la tabla 4.

Tabla 4*Descripción de tratamientos y factores de estudio*

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C	Código
T1	E1	T1	Bajo	E1-T1-B
T2	E1	T1	Media	E1-T1-M
T3	E1	T1	Alta	E1-T1-A
T4	E1	T2	Bajo	E1-T2-B
T5	E1	T2	Media	E1-T2-M
T6	E1	T2	Alta	E1-T2-A
T7	E1	T3	Bajo	E1-T3-B
T8	E1	T3	Media	E1-T3-M
T9	E1	T3	Alta	E1-T3-A
T10	E2	T1	Bajo	E2-T1-B
T11	E2	T1	Media	E2-T1-M
T12	E2	T1	Alta	E2-T1-A
T13	E2	T2	Bajo	E2-T2-B
T14	E2	T2	Media	E2-T2-M
T15	E2	T2	Alta	E2-T2-A
T16	E2	T3	Bajo	E2-T3-B
T17	E2	T3	Media	E2-T3-M
T18	E2	T3	Alta	E2-T3-A
T19	E3	T1	Bajo	E3-T1-B
T20	E3	T1	Media	E3-T1-M
T21	E3	T1	Alta	E3-T1-A
T22	E3	T2	Bajo	E3-T2-B
T23	E3	T2	Media	E3-T2-M
T24	E3	T2	Alta	E3-T2-A
T25	E3	T3	Bajo	E3-T3-B
T26	E3	T3	Media	E3-T3-M
T27	E3	T3	Alta	E3-T3-A

Factor A (edad): E1= 6 años; E2= 10 años; E3=16 años; Factor B (tiempo): T1= 08:00; T2=12:00; T3=16:00

Factor C (altura de copa): B= copa baja; M= copa media; A=copa alta

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

3.5.4.1 Características del experimento.

Tratamientos: 27

Repeticiones: 3

Unidades experimentales: 81

Número de árboles por unidad experimental: 5

3.5.4.2 Características de la unidad experimental.

Se recolectó de manera aleatoria un kilogramo de material vegetativo de pino (acículas) en verde por cada unidad experimental.

3.5.5 Análisis estadístico para el rendimiento

Con base al diseño utilizado se aplicó el análisis de varianza, como se describe en la tabla 5.

Tabla 5

Análisis de varianza para el rendimiento volumétrico

Fuente de variación		Grados de Libertad
Parcela grande		
Edad	$(e - 1)$	$3-1 = 2$
Error tipo (a)	$(n - 1)(e - 1)$	$(3-1)(3-1) = 4$
Parcela pequeña		
Altura de recolección	$(o - 1)$	$3-1 = 2$
Edad x origen	$(e - 1)(o - 1)$	$(3-1)(3-1) = 4$
Error tipo (b)	$(n - 1)(o - 1)(e - 1)$	$(3-1)(3-1)(3-1) = 8$
Subparcela		
Tiempo de recolección	$(t - 1)$	$3-1 = 2$
Edad x tiempo	$(e - 1)(t - 1)$	$(3-1)(3-1) = 4$
Origen x tiempo de recolección	$(o - 1)(t - 1)$	$(3-1)(3-1) = 4$
Edad x origen x tiempo	$(e - 1)(o - 1)(t - 1)$	$(3-1)(3-1)(3-1) = 8$
Error tipo (c)	$n(e - 1)(o - 1)(t - 1) + (e - 1)(t - 1)$ $(n - 1)(o - 1) + (n - 1)(e - 1)$ $+ (o - 1)(t - 1)$	$(3(3-1)(3-1)(3-1)) + ((3-1)(3-1)(3-1)$ $(3-1)) + ((3-1)(3-1)) + ((3-1)(3-1)) = 44$

Total

neot-1

$(3 \times 3 \times 3 \times 3) - 1 = 80$

o=altura de recolección, e=edad, t=tiempo, n=numero

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Se realizó el análisis de interacción entre las variables edad, altura de la copa, tiempo de recolección, contenido de carotenos y volumen.

3.5.5.1 Prueba de Tukey

Para el análisis funcional se empleó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad estadística

3.5.5.2 Cálculo del rendimiento en porcentaje

Para determinar el rendimiento en porcentaje del aceite esencial, se utilizó el promedio del volumen de cada tratamiento del aceite esencial en peso (g), dividido para 1000g de la materia prima utilizada en cada tratamiento. Cabe mencionar que, para el análisis estadístico se utilizó el rendimiento en mililitros. Para ello se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{M2}{M1} * 100$$

Ec. (1)

Donde:

M2 = Peso aceite extraído (g)

M1 = Peso materia prima (g)

100 = factor matemático

3.5.5.3 Cálculo de la densidad relativa del aceite esencial

Se utilizó el picnómetro para calcular la densidad del aceite esencial. Primero se lavó, desinfecto y se secó el picnómetro. En segundo lugar se pesó en la balanza electrónica con el picnómetro

vacío, En tercer lugar se colocó 1 ml de aceite esencial en el picnómetro luego se pesó en la balanza electrónica, con la formula siguiente se calculó la densidad relativa del aceite esencial:

$$\text{Densidad } \rho \text{ (g/ml)} = \frac{[(\text{Peso del picnómetro} + \text{muestra}) - (\text{peso del picnómetro})](\text{g})}{\text{Volumen del aceite esencial (ml)}}$$

Ec. (2)

3.5.6 Análisis de Carotenos

Para el análisis de carotenos se tomó una muestra de dos mililitros por cada tratamiento. Esto debido al costo de los análisis de laboratorio.

El análisis se realizó en el Laboratorio de Química de Alimentos y Nutrición, del Departamento de Ciencias de los Alimentos y Biotecnología (DECAB) – Escuela Politécnica Nacional. Se determinó el contenido de carotenos en mg/ml, por el método de Carotenoides totales (equivalente a betacaroteno) por Espectrofometria Dali B, Rodríguez-Amaya y Mieko Kimura.

2.5.6.1 Análisis estadístico

Con la finalidad de comparar el contenido de carotenos del aceite esencial de Pino se realizó la prueba de “t” de Student de los diferentes tratamientos. Posteriormente se realizó un análisis clúster para evidenciar las diferencias en función de distancias euclidianas.

3.5.7 Proceso de obtención del aceite esencial de *Pinus patula*

Se adaptó la metodología de Salazar y Mayanquer, (2009) para la extracción de aceite esenciales, se realizó la destilación por el método de arrastre de vapor de agua, que consiste en separar sustancias orgánicas insolubles en agua y ligeramente volátiles de otras no volátiles, como resinas o sales inorgánicas u otros compuestos no arrastrables, este proceso se resume en la figura 6.

El proceso de extracción del aceite esencial de pino contempla las siguientes fases:

- **Fase de campo**

- a) **Recolección de la materia prima.** - Se recolectó el material vegetativo de pino (acículas) de acuerdo a los tratamientos planteados, como se evidencia en el Anexo 2, figura 17.
- b) **Traslado.** – El material recolectado se ubicó en fundas de zipper para conservar su humedad, luego se trasladó la materia prima al laboratorio de las unidades productivas de la FICAYA - Universidad Técnica del Norte.

- **Fase de laboratorio**

- c) **Selección.** – Se eliminó las impurezas y acículas deterioradas (infectadas, acículas de color marrón, amarillas o secas).
- d) **Pesado.** - Con la ayuda de una balanza electrónica se pesó un kilogramo de materia prima.
- e) **Inicio.** – Se acopló el equipo de destilación y posteriormente se inició el proceso de extracción, se colocó en la caldera las acículas frescas y enteras.
- f) **Control flujo de agua.** – Se verificó la conexión de entrada y salida del agua, al sistema de enfriamiento de manera constante.
- g) **Destilación.** - Luego del pesado se procedió a destilar; inicialmente se llenó el caldero con 5 litros de agua, se colocó la rejilla, se incorporó la materia prima fresca y entera dentro del caldero, posteriormente se acopló al equipo de destilación con el sistema de refrigeración, este proceso fue de 120 minutos por tratamiento, a una temperatura inicial de 90° C luego se disminuyó la temperatura.
- h) **Recolección del aceite esencial.** - El aceite esencial extraído y recolectó en la en balón de decantación.
- i) **Separación.** - La separación se realizó por decantación del aceite esencial y posteriormente se midió el volumen en ml. (mililitros) obtenido del mismo.
- j) **Envasado.** - El aceite esencial obtenido se envasó en frascos de vidrio oscuros para evitar su deterioro o pierda sus principios activos.

k) **Almacenado.** - El almacenamiento de los aceites esenciales se ubicó en un lugar fresco y seco.

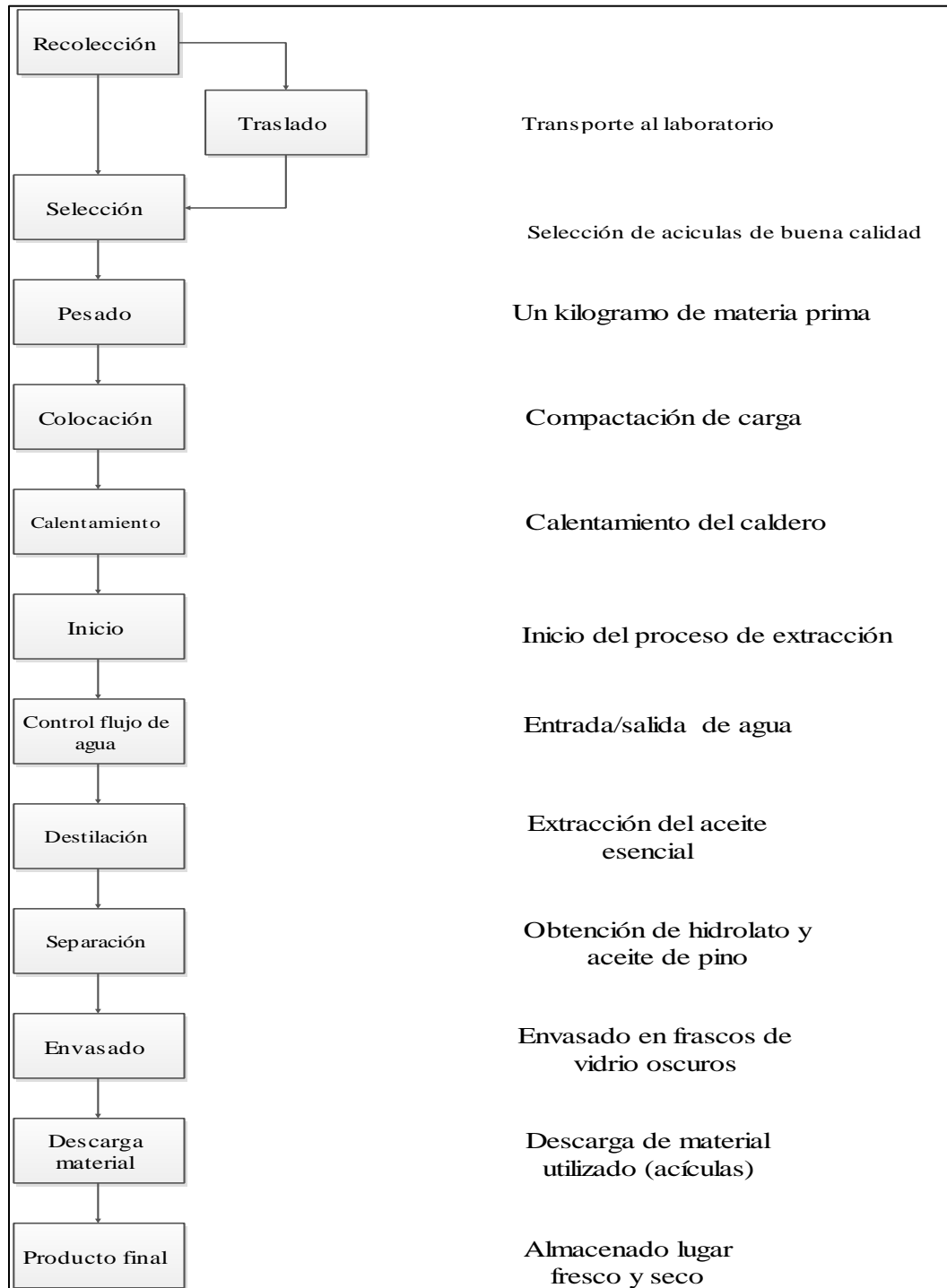


Figura 6. Fases de extracción del aceite esencial
Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

3.5.8 Costos de producción del aceite esencial

Para calcular los costos de producción se tomó como referencia el mejor rendimiento de los tratamientos estudiados T18: E2-T3-A (10 años, recolección 16H00, copa alta).

Se utilizó la metodología de costos variables y fijos; para el cálculo de los costos fijos se utilizó la depreciación con base a la ley de régimen tributario interno; la vida útil del equipo de destilación fue estimada en diez años, al igual que el quemador a gas y embudo de separación la vida útil es de cinco y dos años respectivamente; dando como resultado el costo de producción.

En los costos variables se tomaron en cuenta las siguientes actividades: materia prima (por no existir un precio establecido para el material vegetativo se tomó en cuenta el costo de transporte), fundas zipper, cinta adhesiva, envases de vidrio (5ml), etiquetas, entre otros; la mano de obra fue calculada en base a las dos horas de trabajo ocupada en la destilación del aceite esencial. Por otro lado, se detalló los precios del aceite esencial del mercado nacional e internacional.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento del aceite esencial

El rendimiento de los aceites esenciales de *Pinus patula* se determinó en cada tratamiento y repetición, como se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Rendimiento de los aceites esenciales

Tratamiento	Código	R1 (ml)	R2 (ml)	R3 (ml)
T1	E1-B-T1	0,20	0,19	0,17
T2	E1-M-T1	0,20	0,19	0,20
T3	E1-A-T1	0,23	0,22	0,22
T4	E1-B-T2	0,10	0,08	0,10
T5	E1-M-T2	0,25	0,23	0,28
T6	E1-A-T2	0,12	0,10	0,09
T7	E1-B-T3	0,15	0,18	0,12
T8	E1-M-T3	0,15	0,16	0,12
T9	E1-A-T3	0,20	0,22	0,20
T10	E2-B-T1	0,17	0,17	0,15
T11	E2-M-T1	0,20	0,21	0,18
T12	E2-A-T1	0,18	0,15	0,20
T13	E2-B-T2	0,19	0,22	0,21
T14	E2-M-T2	0,20	0,20	0,21
T15	E2-A-T2	0,24	0,26	0,22
T16	E2-B-T3	0,17	0,15	0,20
T17	E2-M-T3	0,30	0,32	0,29
T18	E2-A-T3	0,37	0,35	0,39
T19	E3-B-T1	0,12	0,11	0,10
T20	E3-M-T1	0,03	0,03	0,02
T21	E3-A-T1	0,19	0,18	0,19
T22	E3-B-T2	0,03	0,06	0,04
T23	E3-M-T2	0,03	0,01	0,06

T24	E3-A-T2	0,16	0,14	0,15
T25	E3-B-T3	0,02	0,01	0,01
T26	E3-M-T3	0,20	0,23	0,17
T27	E3-A-T3	0,16	0,13	0,17

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Quert , Rolando, Martínez, Jorge M, Gelabert y Fisma (1998) señalan que en su investigación obtuvieron aceite esencial mediante el método de arrastre de vapor, para lo cual emplearon diferentes tiempos de extracción en rangos de media hora a dos horas, obtienen rendimientos de 0,41 a 1,12 ml de aceite esencial. Valores concordantes con la presente investigación en vista que se utilizó el mismo tiempo de destilación y un kilogramo de materia prima.

4.1.1 Análisis estadístico

En el análisis de varianza se observa que todas las fuentes de variación presentaron diferencias altamente significativas; es decir, que los factores en estudio son estadísticamente muy diferentes, tal como se evidencia en la tabla 7.

Tabla 7

Análisis de varianza del rendimiento

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F α	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$	
Edad	0,21	2	0,10	767,14	**	6,94	18,00
Error tipo (a)	0,01	4	0,01	0,41			
Altura de recolección	0,08	2	0,04	113,40	**	4,46	8,65
Edad x Altura	0,02	4	0,01	17,33	**	3,84	7,01
Error tipo (b)	0,01	8	0,01	0,34			
Tiempo recolección	0,03	2	0,01	38,18	**	3,21	5,12
Edad*Tiempo	0,05	4	0,01	34,84	**	2,58	3,78
Altura*Tiempo	0,04	4	0,01	29,41	**	2,58	3,78

Edad*Altura*Tiempo	0,10	8	0,01	38,28	**	2,16	2,94
Error	0,01	44	0,03				
Total	0,54	80					

CV= 10,99

F α : Fisher calculado; F α 0,05: valor tabular 95%; F α 0,01: valor tabular 99% probabilidad estadística

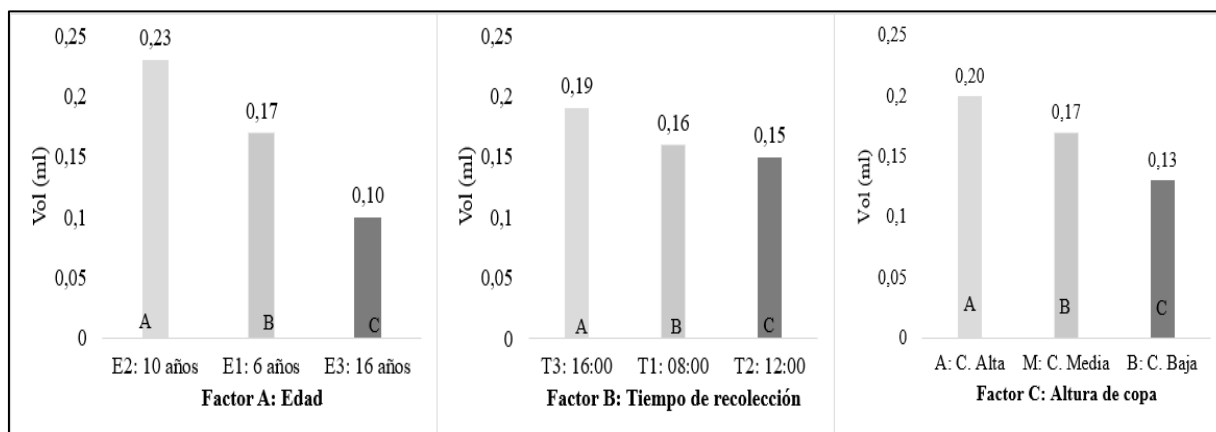
** Altamente significativo al nivel del 1% de probabilidad estadística

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

El resultado del coeficiente de variación calculado que se muestra en la tabla 6, es aceptable, con un valor de 10,99% que permite inferir que los tratamientos en estudio son homogéneos; cabe recalcar que este valor fue debido al equipo utilizado en la destilación.

4.1.2 Análisis de los factores

Los resultados del rendimiento volumétrico del aceite esencial de pino generaron tres rangos diferentes en el cual sobresalen: factor A: 10 años, en el factor B tiempo de recolección a las 16:00 y en el factor C: copa alta, tal como se indica en la figura 7. Mediante la prueba de rango múltiple de Tukey al 95% de probabilidad estadística.



Rango A: Alto; B: Medio rendimiento; C: Bajo rendimiento

Figura 7. Medias del factor de estudio

Elaborado: José Moisés Cueva Jiménez

El rendimiento del aceite esencial de *Pinus patula* con relación a la edad, tiempo de recolección y altura de copa fue de 0,23ml (10 años); 0,19ml (16:00) y 0,20ml (copa alta) respectivamente.

Estos rangos diferentes se deben a que las acículas de pino a temprana edad tienen una capa epidérmica delgada lo cual facilita la volatilización del aceite esencial (Carreras, Vidal, & Rodríguez, 1993). En árboles adultos esta capa se va lignificando cada vez más de acuerdo con su edad, lo que impide la volatilización del aceite esencial; por ello, se obtiene un mayor rendimiento volumétrico del aceite esencial de pino a los 10 años.

Según Gallo, Sarria y Moreno Quirá, (2015) señalan en su investigación un rendimiento de 3,9 ml de aceite esencial de *Pinus patula* a los 16 años; utilizaron como materia prima un promedio de 4650 g de material vegetal; el tamaño de la acícula fue de 1 y 2 cm con un tiempo de destilación de tres horas ; sin embargo estos valores difieren con la presente investigación ya que para la obtención de aceite esencial se utilizó como materia prima 1000g (1kg), con un tiempo de destilación de dos horas y no se redujo el tamaño de las acículas obteniendo 0,47 ml de aceite esencial.

Los autores en su investigación señalan resultados favorables ya que la acícula tuvo un mejor contacto con el vapor, por ello se obtuvo una mayor volatilización de aceites esenciales, posiblemente este rendimiento de aceite esencial se deba al comportamiento fisiológico de los árboles influenciado por cambios climáticos y factores ambientales donde se desarrollen.

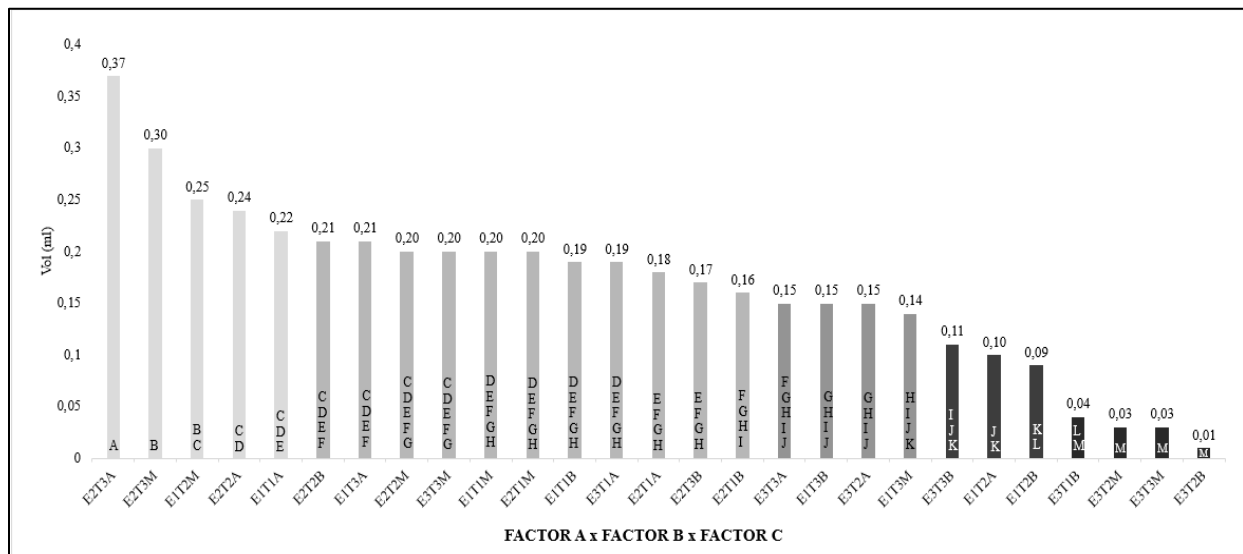
En la investigación realizada por Quert, Martínez, Martínez, y Gelabert, (2000) mencionan que el contenido de aceite esencial de *Pinus caribaea* varía significativamente con la edad del árbol en forma ascendente, con un rendimiento bajo a los 8 años (0,12) y un rendimiento alto a los 30 años (0,27). Además Stepen y Kuznetova (como se citó por Quert, 2000) indican que los rendimientos de aceite esencial de *Pinus scott* se obtiene un mayor rendimiento a los 4 a 10 años y un menor rendimiento a los 17 a 22 años; al igual que la investigación realizada se obtuvo un mejor rendimiento de 0,23 ml a los 10 años, mientras que a la edad de 16 años se obtuvo 0,10 ml de aceite esencial de pino.

Angulo (2017) señala en su investigación que el contenido de aceites esenciales aumenta alrededor del mediodía; resultado similar en la investigación realizada, debido a que, pasado el mediodía se evidencia una mayor cantidad de aceite esencial, dado que la planta comienza una deshidratación por las horas expuestas al sol; por ello, posee una humedad menor comparada con

la humedad de la mañana, esto facilita la volatilización del aceite esencial, por lo que se obtiene una mayor cantidad.

En cuanto a las interacciones de los factores A x B, A x C y B x C se destacan con los mayores volúmenes las interacciones E2T3(10 años,16:00), E2.A (10 años; copa alta), T3. A(16:00; copa alta), con 0,28; 0,26 y 0,24 ml respectivamente

En la interacción de los factores A x B x C formaron trece rangos en la prueba de Tukey, los resultados demuestran que existe un mayor efecto dado por el factor E2:10años; cabe recalcar que, la interacción que presentó mayor volumen promedio fue 0,37 ml tal como se evidencia en la figura 8.



Factor A (edad): E1= 6 años; E2= 10 años; E3=16 años.

Factor B (tiempo): T1= 08:00; T2=12:00; T3=16:00.

Factor C (altura de copa): B= copa baja; M= copa media; A=copa alta

Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de probabilidad estadística

Figura 8. Interacción entre factores

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Se observa que existe una diferencia significativa decreciente entre la mayor y menor interacción entre factores con una diferencia en el rendimiento volumétrico de 0,36 ml. Es preciso indicar que cada especie tiene su propio comportamiento fisiológico y más aún en condiciones ambientales diferentes como: temperatura, horas sol, viento, humedad, tipo y nutrientes del suelo; lo que indica una relación directa con la cantidad de aceite esencial. Cada plantación fue localizada

en sitios, edades y condiciones ambientales diferentes, como resultado de ello existe una variación en la cantidad de aceite esencial.

Otras de las posibles causas de la variación del volumen del aceite esencial es la radiación ultravioleta es más fuerte a las diez de la mañana y a las cuatro de la tarde según la Organización Mundial de la Salud, (2015) en respuesta a este efecto la planta sintetiza metabolitos secundarios como un mecanismo de protección frente a la radiación, dentro de estos metabolitos secundarios se encuentra el quimiotipo del cual se extraen los aceites esenciales posiblemente un respuesta al aumento del aceite esencia se debe a los mecanismos de protección que sintetiza la planta frente a la radiación ultravioleta.

4.1.3 Rendimiento

El mejor porcentaje de rendimiento del aceite esencial de pino fue T18 correspondiente a un 0.031% y el menor fue T25 con un rendimiento del 0.01%, tal como se evidencia en la figura 9.



Figura 9. Rendimiento

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Gallo, Sarria y Moreno (2015) y Angulo(2014), obtuvieron en sus investigaciones que el rendimiento promedio del aceite esencial fue del 0,01 % al 10%, valores que concuerdan con la investigación realizada, puesto que el rendimiento es siempre bajo, hay que resaltar que el volumen es directamente proporcional a la cantidad de materia prima.

Quert, Martínez y Gelabert (1998), indica que el contenido de aceite esencial para el género *Pinus* varía significativamente según la época del año, con los mayores rendimientos en marzo y abril y los menores entre octubre y diciembre. Resultado similar al presente estudio debido a que la recolección de la materia prima fue del mes de noviembre a enero, por lo cual se obtuvo un rendimiento bajo; una posible causa de estos rendimientos se debe a que el árbol tiene un crecimiento lento entre los meses de octubre a enero y utiliza el aceite esencial para su crecimiento

4.2 Contenido de Carotenos

En la tabla 8 se muestran los contenidos de carotenos de aceite esencial de *Pinus patula*.

Tabla 8

Contenido de carotenos

Tratamiento	Código	mg/ml
T1	E1-B-T1	0,025
T2	E1-M-T1	0,027
T3	E1-A-T1	0,019
T4	E1-B-T2	0,023
T5	E1-M-T2	0,03
T6	E1-A-T2	0,033
T7	E1-B-T3	0,041
T8	E1-M-T3	0,029
T9	E1-A-T3	0,026
T10	E2-B-T1	0,044
T11	E2-M-T1	0,047
T12	E2-A-T1	0,038
T13	E2-B-T2	0,046
T14	E2-M-T2	0,049
T15	E2-A-T2	0,043
T16	E2-B-T3	0,039
T17	E2-M-T3	0,04
T18	E2-A-T3	0,044
T19	E3-B-T1	0,049
T20	E3-M-T1	0,047
T21	E3-A-T1	0,041
T22	E3-B-T2	0,044

T23	E3-M-T2	0,047
T24	E3-A-T2	0,049
T25	E3-B-T3	0,049
T26	E3-M-T3	0,047
T27	E3-A-T3	0,051

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

4.2.1 Análisis estadístico de Carotenos

De los resultados obtenidos, el análisis de carotenos se observa la mayor concentración de carotenos se registró a la edad de 16 años, tal como se evidencia en la figura 10.

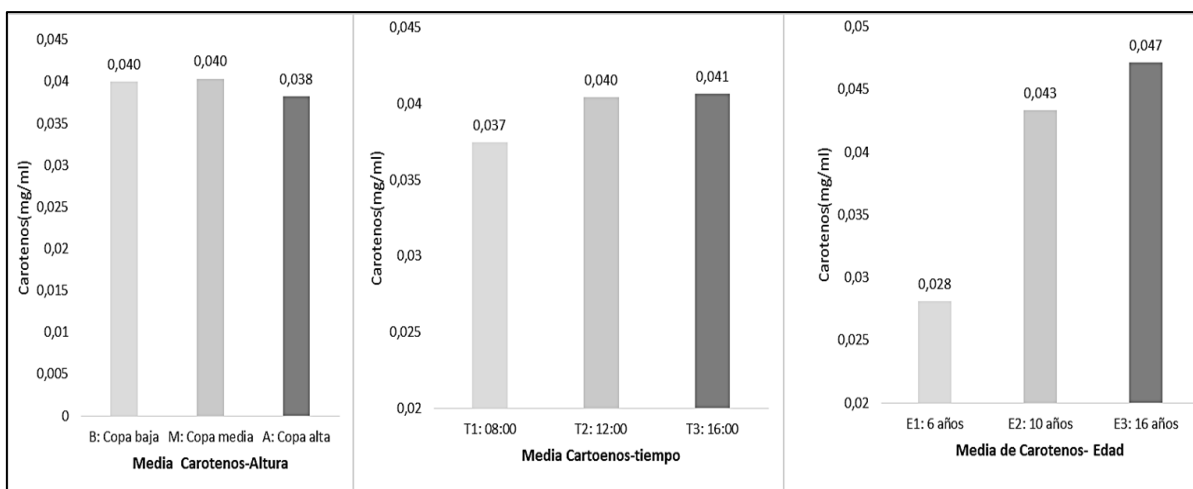


Figura 10. Medias de carotenos

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

El contenido de carotenos en relación con la edad determinó una diferencia significativa y altamente significativa de acuerdo con la prueba de T al 95% referencia tabla de probabilidad estadística, destacándose la edad de 16 años. Si bien al realizar la prueba de medias, en lo que respecta al tiempo de recolección, y altura de copa no se detectaron diferencias significativas, estadísticamente se destacan los tiempos de 12:00 y 16:00 y de la copa media.

Tabla 9*Prueba de t de Student*

Comparaciones		Tc		t $\alpha_{0,05}$	t $\alpha_{0,01}$
A: Copa alta	B: Copa baja	0,37	ns		
A: Copa alta	M: Copa media	0,45	ns		
B: Copa baja	M: Copa media	0,08	ns		
T1: 08:00	T2: 12:00	0,62	ns		
T1: 08:00	T3: 16:00	0,69	ns	2.306	3.355
T2: 12:00	T3: 16:00	0,05	ns		
E1: 6 años	E2: 10 años	6,22	**		
E1: 6 años	E3: 16 años	8,15	**		
E2: 10 años	E3: 16 años	2,36	*		

Tc: T calculada; t $\alpha_{0,05}$: valor tabular 95%; t $\alpha_{0,01}$: valor tabular 99% probabilidad estadística

** Altamente significativo * Significativo ns No significativo

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

En la prueba de t de Student se observa que únicamente en el factor edad se registran cifras significativamente al 95% y al 99% de probabilidad estadística.

Díaz, Alessandrini y Herrera, (2007) indican que el contenido de carotenos totales en las acículas fue de 117,77-185,82 mg · Kg⁻¹, debido a que utilizó la bencina como disolvente para la extracción de las sustancias bioactivas de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis*; mientras que Quert, Leyva, Martinez, y Gelabert (1997), indican en su investigación el contenido de carotenos, los valores máximos fueron de 130,7 y 157,2 mg/kg de follaje y los mínimos de 55,3 y 57,2 mg/kg de follaje para *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis* a los 18 años respectivamente.

Estos resultados difieren con la presente investigación, puesto que para la determinación de carotenos se realizó en aceite esencial de *Pinus patula*; una de las posibles causas es el método utilizado para la determinación de carotenos, otro factor plausible pero no menos importante es la especie en la cual se determina los carotenos, cabe recalcar en la investigación se determinó una mejor cantidad de carotenos a la edad de 16 años debido a la relación que existe entre la capacidad fotosintética, intensidad luminosa y la carotenogénesis como reporta Yeverino, (1997) resultados

que coinciden con la investigación debido a que en muchos vegetales la carotenogénesis se lleva a cabo con mayor capacidad en la etapa de maduración.

4.2.2 Análisis Clúster

El contenido de carotenos va desde 0,025 a 0,051 mg/ml destacándose el tratamiento E3-A-T3, seguido por los tratamientos E2-M-T2, E3-B-T1, E3-A-T2, E3-B-T3; mientras que el tratamiento E1-A-T1 es el que menor contenido registró, tal como se evidencia en la figura 11.

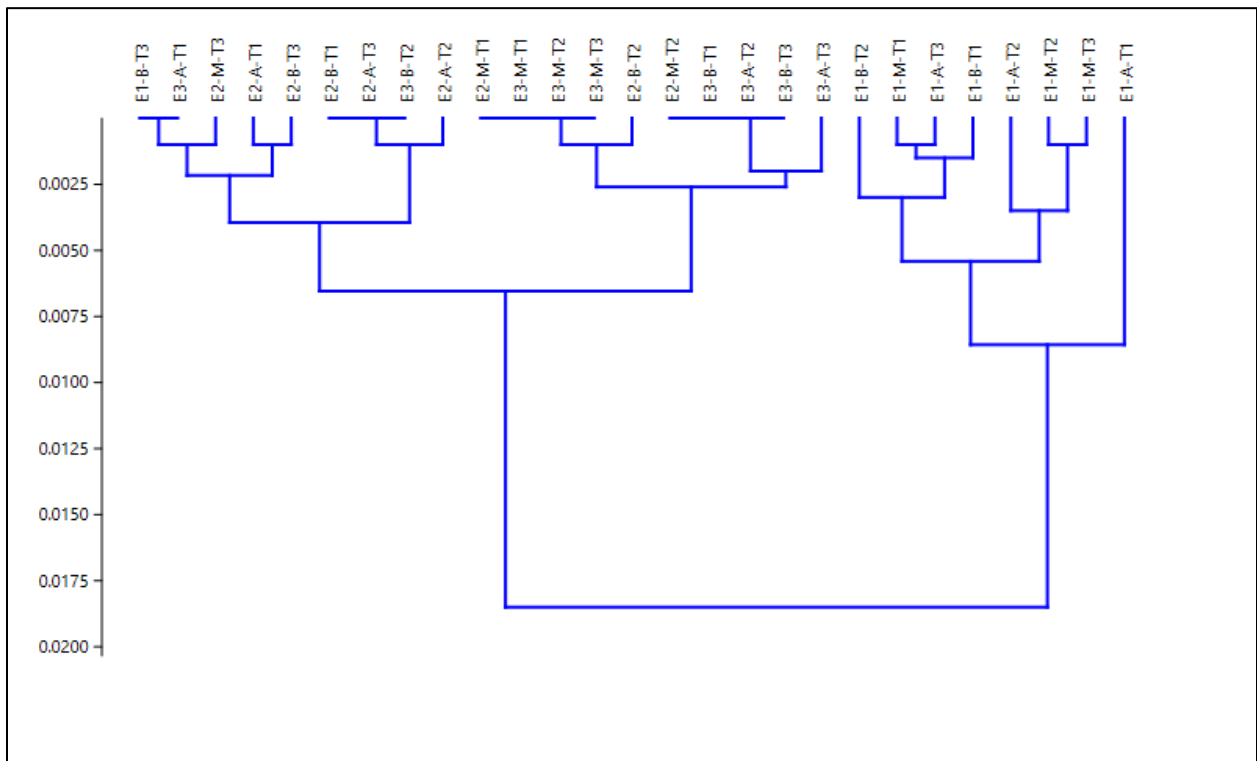


Figura 11. Análisis Clúster

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

En el análisis Clúster se observa la formación de dos grandes grupos, donde se aprecia que todos los tratamientos con la Edad 1, a excepción del tratamiento E1-B-T3, se encuentran en un solo grupo y son los de menor contenido de carotenos.

Se acepta la hipótesis alterna en la cual existe diferencia significativa en la cantidad de carotenos en los tratamientos estudiados.

4.3 Cálculo de costo de producción

El costo de producción de aceite esencial de pino, tal como se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Costos de producción

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unit. USD.	Valor total USD.
Costos fijos				
Equipo de Destilación por arrastre a vapor	Unidad	1	400	18
Quemador de gas	Unidad	1	60	5,4
Embudo de separación	Unidad	1	46	4,14
Total costos fijos (Depreciación)				27,54
Costos variables				
Insumos y materiales				
Recolección de material vegetativo	Kg	1	0,6	0,6
Fundas zipper	Unidad	1	0,2	0,2
Cinta adhesiva	Unidad	1	0,3	0,3
Envases de vidrio(5ml)	Unidad	1	0,3	0,3
Etiquetas	Unidad	1	0,1	0,1
Mano de obra,			5,53	5,3
Total costos variables			6,8	6,80
Costos de producción				34,34

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

El precio de destilación de un kilogramo de materia prima fue de \$ 0,03 dólares; de este valor los costos variables representan el 19 % y los costos fijos el 81% del cual el 52 % corresponde al valor del equipo de destilación.

Por otro lado con la destilación de un kilogramo de materia prima se obtuvo el mayor rendimiento de 0,4ml de aceite esencial, el precio de un litro de aceite esencial en el mercado nacional es de \$80 dólares, medio litro \$45 dólares y el mercado internacional los 10 ml en \$ 20,25 dólares.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El mejor rendimiento de aceites esenciales de *Pinus patula* se registró a los diez años, siendo la edad el único factor que mostró influencia significativa sobre esta variable. En cuanto a la interacción el T18 (10 años, 16H00, copa alta) mostró los mejores rendimientos.

El contenido de carotenos tiene una relación directamente proporcional a la edad del árbol, demostrando que a mayor edad existe una mayor concentración de carotenos. En el presente estudio se registró el mayor contenido de carotenos a los 16 años.

La relación entre el costo de producción, rendimiento y precio en el mercado del aceite esencial de pino, hace que su producción sea una alternativa económicamente rentable y complementaria al posible aprovechamiento maderero

5.2 Recomendaciones

Para el campo agroindustrial (cosméticos, alimentos, entre otros) se recomienda el tratamiento T18: E2-T3-A (10 años, recolección 16H00, copa alta); mientras que, para la industria farmacéutica (carotenos) se recomienda extraer el aceite esencial de pino a los 16 años.

Para obtener mayor productividad de aceites esenciales de *Pinus patula* u otros productos forestales no madereros se recomienda emplear nuevos métodos de extracción diferentes al arrastre de vapor.

En actividades de manejo silvicultural y aprovechamiento forestal es recomendable utilizar la biomasa en verde y con la finalidad de tener valor agregado complementario de los productos forestales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alambiques. (2010). *ALAMBIQUES*. Obtenido de ALAMBIQUES: DESCRIPCIÓN Y TIPOS:
<http://www.alambiques.com/alambiques.htm>
- Alegría , W. (2016). *Texto básico para profesional en ingeniería forestal en el área de fisiología vegetal*. IQUITOS – PERÚ: FCF-UNAP. Obtenido de
<http://www.unapiquitos.edu.pe/pregrado/facultades/forestales/descargas/publicaciones/FI-SIO-TEX.pdf>
- Almanza M, P. J. (2004). *Radiación Solar UV-B y estrés en las plantas*. Bogotá: C.Científica. Obtenido de https://www.academia.edu/32923091/Radiaci%C3%B3n_Solar_UV-B_y_estr%C3%A9s_en_las_plantas
- Angulo, A. M. (2014). *Introducción a la industria de los aceites esenciales extraídos de plantas medicinales y aromáticas*. Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Obtenido de Introducción a la industria de los aceites esenciales extraídos de plantas medicinales y aromáticas: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/1643>
- Añazco, M., Loján, L., & Yaguache, R. (2004). *Productos forestales no madereros en el Ecuador (PFNM)*. Quito-Ecuador: FAO.
- Arraiza, P. (2013). *Uso Industrial de Plantas Aromáticas y Medicinales*. Obtenido de Universidad Politecnica de Madrid: http://www.med-informatica.net/TERAPEUTICA-STAR/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf
- Azcón, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Madrid-ESpaña.: McGRAW-HILL - INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. L. ISBN: 978-84-481-9293-8. Obtenido de https://www.academia.edu/18820284/Fundamentos_de_Fisiologia_Vegetal-Azc%C3%B3n_Bieto_2ed
- Badui , S. (2006). *Química de los alimentos*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN,. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Libro-Badui2006_26571.pdf

- Byron, R N; Arnold, J E.M;. (. 1999.). *What futures for the people of the tropical forests? World Development* 27(5): 789-805. Obtenido de http://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/WP-19.pdf
- Carreras, R., Vidal, A., & Rodríguez, J. (1993). *Estructura anatómica del follaje, madera y corteza de Pinus caribae Morelet, Pinus tropicalis Morelet en investigaciones biológicas y tecnológicas.* Rev. Forestal Baracoa. Obtenido de http://www.actaf.co.cu/revistas/rev_forestal/Baracoa-2008-1/Revista%201-2008.pdf
- Cazar, A. (2005). *Impacto de la extracción de aceite esencial de una plantación de pino (pinus patula) en la población de la comunidad de Zhipta , parroquia Jima, Provincia del Azuay (Tesis de maestria).* Riobamba, Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4069/1/20T00167.pdf>
- COMAFORS. (2007). *Guía práctica de apoyo a la toma de conciencia forestal.* Quito: COMAFORS.
- Davis, E. (2001). *Essential Oils.* Obtenido de www.micom.com/rap/vol32/oil
- Díaz Aguirre, S., Alessandrini Díaz, M., & Herrera , G. (2007). Comportamiento del follaje de Pinus caribaea var. Caribaea y Pinus tropicalis en el desarrollo de una metodología para la obtención de cera conífera, pasta clorofila-caroteno y residuo forrajero a escala de banco. (U. d. Oriente, Ed.) *Revista Cubana de Química, XIX*, pp. 81-83. Obtenido de Comportamiento del follaje de Pinus caribaea var.Caribaea y Pinus tropicalis en el desarrollo de una metodología para la obtención de cera conífera, pasta clorofila-caroteno y residuo forrajero a escala de banco: <http://www.redalyc.org/pdf/4435/443543706025.pdf>
- FAO. (1995). *Pequeñas Industrias Forestales.* Quito, Ecuador: ISBN 9978-82-716-9.
- FAO. (1996). *Desarrollo de Productos Forestales no Madereros en America Latina y el Caribe.* Santiago, Chile: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/t2360s/t2360s00.htm>

- FAO. (1999). Los productos forestales no Madereros y la generacion de ingresos. *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*.
- FAO. (2007). *Situación de los bosques del mundo*. Roma: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/009/a0773s/a0773s00.htm>
- FAO. (2010). *Anuario FAO Productos Forestales* . Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/012/i1521m/i1521m04.pdf>
- Formenti, A. (1987). Rivista Vita in. *Le propietá curative del pino silvestre.*, 76. Obtenido de <http://www.vitaincampaña.it/?s=+Le+propriet%C3%A1+curative+del+pino+silvestre&submit.x=0&submit.y=0>
- Fretes, F. (2011). *Aceites esenciales Análisis de la cadena de valor*. Paraguay: USAID PARAGUAY. Obtenido de https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/aceites_esenciales.pdf
- Gallo Corredor, J., Sarria Villa, R., & Moreno Quirá, P. A. (1 de Agosto de 2015). Caracterización del follaje de *Pinus patula* como materia para la extracción de aceites esenciales. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 54-58. Obtenido de <https://jci.uniautonoma.edu.co/2015/2015-8.pdf>
- García, M. (2008). *Guía de Aromaterapia. La salud a través de los aceites esenciales*. Cataluña-España: Ulzama. Obtenido de https://www.academia.edu/30954857/Gu%C3%ADa_de_Aromaterapia_La_salud_a_trav%C3%A9s_de_los_aceites_esenciales
- Gómez, L. (1997). *Cultivo y Aplicación de las Microalgas Dunaliella salina y Chlorella vulgaris en Cuba*. Cuba: Tesis Doctoral en Biología. Universidade Da Coruña A Coruña, 1997.
- Grieve, M . (1997). *Modern Herbal*. Obtenido de Botanical.com: www.botanical.com/botanical
- Grijalva, J., Checa , R., Ramos, P., & Barrera , R. (2012). *Situación de los Recursos Genéticos Forestales – Informe País Ecuador*. Quito: Preparado por el Programa Nacional de

Forestería del INIAP con aval del INIAP/FAO/MAE/MAGAP/MMRREE. Documento sometido a la Comisión Forestal de la FAO-Roma, preparación del Primer Informe sobre el Estado de los Recursos Genéticos Forestales del Mundo.

Groombridge, B;. (. 1992). *Global biodiversity. Status of the Earth's living resources*. Londres: WCMC, Cambrigde y Chapman &Hall. Obtenido de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/97636#page/15/mode/1up>

Harborne, J., & Baxter, H. (2001). *Chemical Dictionary of Economic Plants*. Australia: Jhon Wilwy & Sons LTD. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ry11ai2iPS0C&oi=fnd&pg=PR15&dq=Harborne,+J.,+%26+Baxter,+H.+\(2001\).+Chemical+Dictionary+of+Economic+Plant&ots=oMVVYa-K6S&sig=A4Dpe3sBCEvCQZx-w0h8Z0zDoMw#v=onepage&q=Harborne%2C%20J.%2C%20%26%20Baxter%2C%20H.%](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ry11ai2iPS0C&oi=fnd&pg=PR15&dq=Harborne,+J.,+%26+Baxter,+H.+(2001).+Chemical+Dictionary+of+Economic+Plant&ots=oMVVYa-K6S&sig=A4Dpe3sBCEvCQZx-w0h8Z0zDoMw#v=onepage&q=Harborne%2C%20J.%2C%20%26%20Baxter%2C%20H.%)

Ibanes de Novion, H. (09 de 2008). *Povos Indígenas no Brasil Instituto Socioambiental (ISA)*. Obtenido de Servicios ambientales: https://pib.socioambiental.org/es/Servicios_ambientales

Infor. (2011). *Sistema de gestion forestal*. Obtenido de http://www.gestionforestal.cl/pt_02/plantaciones/txt/Manejo/MAPIN.htm

MAE. (2010). *Aprovechamiento de los Recursos Forestales 2007 -2009*. Quito-Ecuador.

MAE. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del*. Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural.

MAGAP. (2010). *Ficha Informativa de Proyecto 2016*. MAGAP. Obtenido de <http://servicios.agricultura.gob.ec/transparencia/pdfs/GPR-Dic-Acceso.pdf>

Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. (CSIC, Ed.) *Ecosistemas, Revista Científica y técnica de Ecología y Medio Ambiente, XII*, pp. 1-11. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/540/54012108.pdf>

- Martínez, A. (14 de 05 de 2001). *UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA*. Obtenido de ACEITES ESENCIALES: http://www.med-informatica.net/TERAPEUTICA-STAR/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf
- Murray, M., Birdsall, T., Pizzorno, J., & Reilly, P. (2004). *La Curación del cáncer: métodos naturales*. Barcelona- España: Ediciones Robinbook.
- Nix, S. (12 de 08 de 2017). *Understanding Forest Ecosystems and Biodiversity*. Obtenido de <https://www.thoughtco.com/what-is-forest-ecosystem-and-biodiversity-1342815>
- Ortuño, M. (2006). *Manual practico de de aceites esenciales, aromas y perfumes*. España: AIYANA EDICIONES. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/292983158/Manual-Practico-de-Aceites-Esenciales-Aromas-y-Perfumes>
- Pavia, Lampman, & Kriz. (1990). *Química orgánica experimental*,. Obtenido de https://books.google.com.ec/books/about/Qu%C3%ADmica_org%C3%A1nica_experimental.html?id=_jTzjwEACAAJ&redir_esc=y
- Petiti, Aldana. (2001). *Conceptos e importancia de los productos forestales no madereros*. IFLA.
- Pimentel, D., McNair, M., Back, L., Pimentel, M. y Kamil, J. (1997.). *The value of forests to world's food security Human*.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Parroquial Angochagua. (2015). Angochagua. Obtenido de <http://gisimbabura.gob.ec/geositio/index.php/download/pdot-angochagua/>
- Pyle, J. (1996). *Global ozone depletion. P.J. Lumbsden, ed, plants and UVB r espunses to environmental chage*. USA: Cambridge University.
- Quert , Rolando; Martínez, Jorge M. ; Gelabert , Fisma. (1 de 1998). *Contenido del aceite esencial en el follaje de Pinus caribaea Morelet según la época del Año. I*. Habana - Cuba: Rev Cubana Farm v.32 n.1 Ciudad de la Habana. Obtenido de Contenido del aceite esencial en el follaje de Pinus caribaea Morelet según la época del Año. I:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0034-75151998000100010&script=sci_arttext&tlng=en

Quert, R., Leyva, B., Martínez, J., & Gelabert, F. (1997). Contenido de carotenos en el follaje de *Pinus caribaea* Morelet y *Pinus tropicalis* Morelet. *Revista Cubana de Farmacia*, ISSN 1561-2988. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75151997000200011

Quert, R., Martínez, M., Martínez, J., & Gelabert, F. (2000). *Biblioteca Virtual de Cuba/Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de La Habana*. Obtenido de Contenido del aceite esencial en el follaje de *Pinus Caribaea morelet* en función de la edad del árbol. II: http://www.bvs.sld.cu/revistas/far/vol34_2_00/far07200.htm

Ramírez, E. (2016). *ALAMBIQUES: DESCRIPCIÓN Y TIPOS*. Obtenido de <http://www.alambiques.com/alambiques.htm>

Ratajc, P. (11 de 08 de 2017). *The PhytoVolatilome*. Obtenido de Why are there no essential oils in plants? Meet the plant volatiles: <https://phytovolatilome.com/plant-volatiles/>

Romero, M. (2004). *Plantas Aromáticas: Tratado de aromaterapia científica*. Buenos Aires, ISBN 950-17-1260-5: KIER. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=OhbQymtQUP4C&printsec=frontcover&dq=Plantas+Arom%C3%A1ticas:+Tratado+de+aromaterapia+cient%C3%ADfica.&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj91uH_1PzdAhUPrlkKHS3DBKsQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Plantas%20Arom%C3%A1ticas%3A%20Tratado%20de

Salazar, P., & Mayanquer, S. (2009). *Obtención de aceites esenciales de cedròn, sunfo, hierba luisa en un alambique tipo chachimbo por cohobacion (Tesis de Pregrado)*. Ibarra: Universidad Tecnica del Norte.

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, Objetivo 3*. Quito: Semplades.

- Sen, D. (09 de 01 de 2018). *Information About a Forest Ecosystem*. Obtenido de <https://sciencing.com/about-6325114-information-forest-ecosystem.html>
- Sepúlveda, G., Porta, H., & Rocha, M. (3 de diciembre de 2003). La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21, 355-363. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/612/61221317.pdf>
- SERFOR. (2015). *SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR)*. Obtenido de <http://www.serfor.gob.pe/bosques-productivos/servicios-forestales/plantaciones-forestales>
- Vasquez, E. (1988). *Usos probable de algunas maderas del Ecuador*. Quito-Ecuador: Ministerio de agricultura y ganaderia. Programa Nacional Forestal.
- Vidal, A. (1995). *Estudio de las posibilidades del aprovechamiento de la biomasa de copa de coníferas en la provincia de Pinar del Rio. Tesis doctoral thesis*. Cuba: Universidad de Pinar del Río.
- Yeverino, M. (1997). *Determinación cuantitativa de carotenoides en hojas de cinco especies del género Leucaena(Tesis de Postgrado)*. Monterrey, N.L.: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1

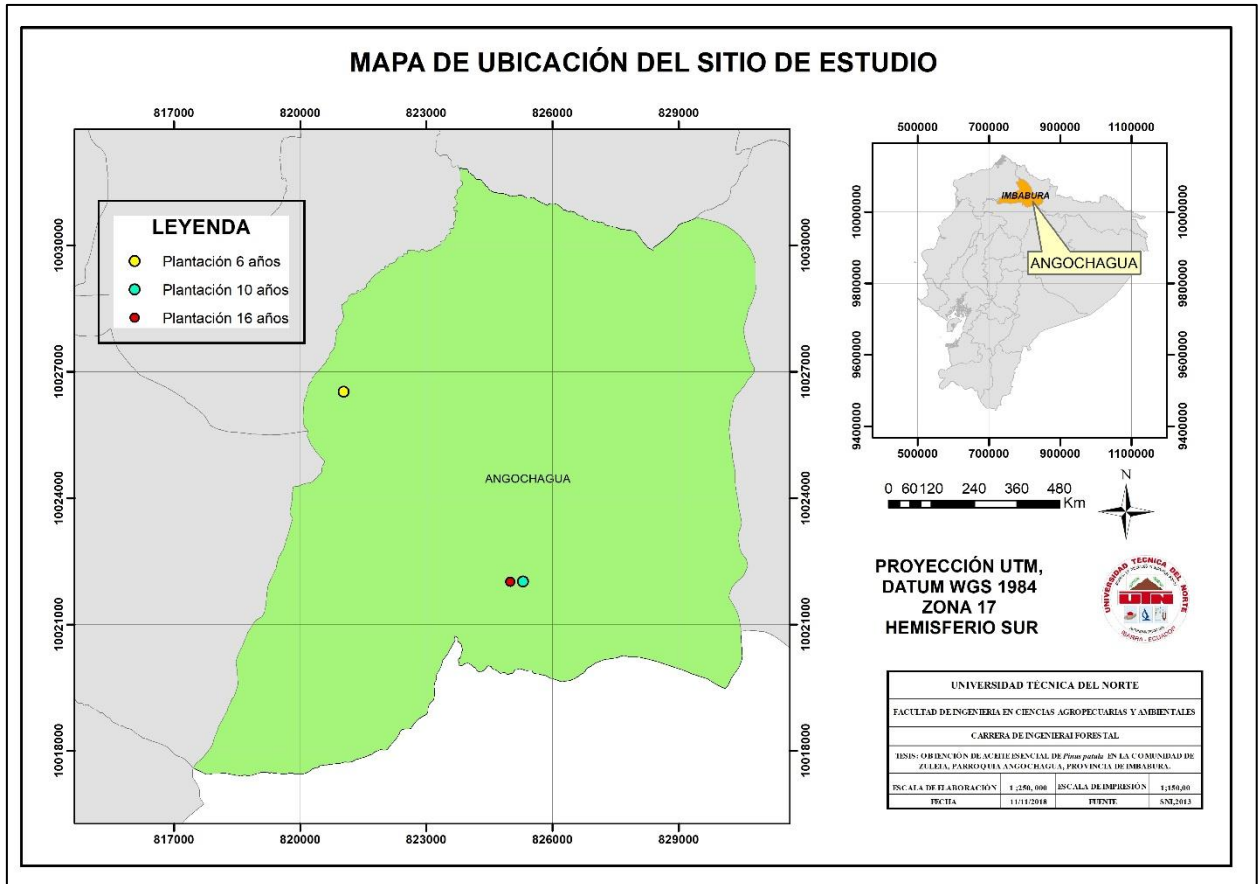


Figura 12. Mapa de ubicación del sitio de estudio

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Anexo 2

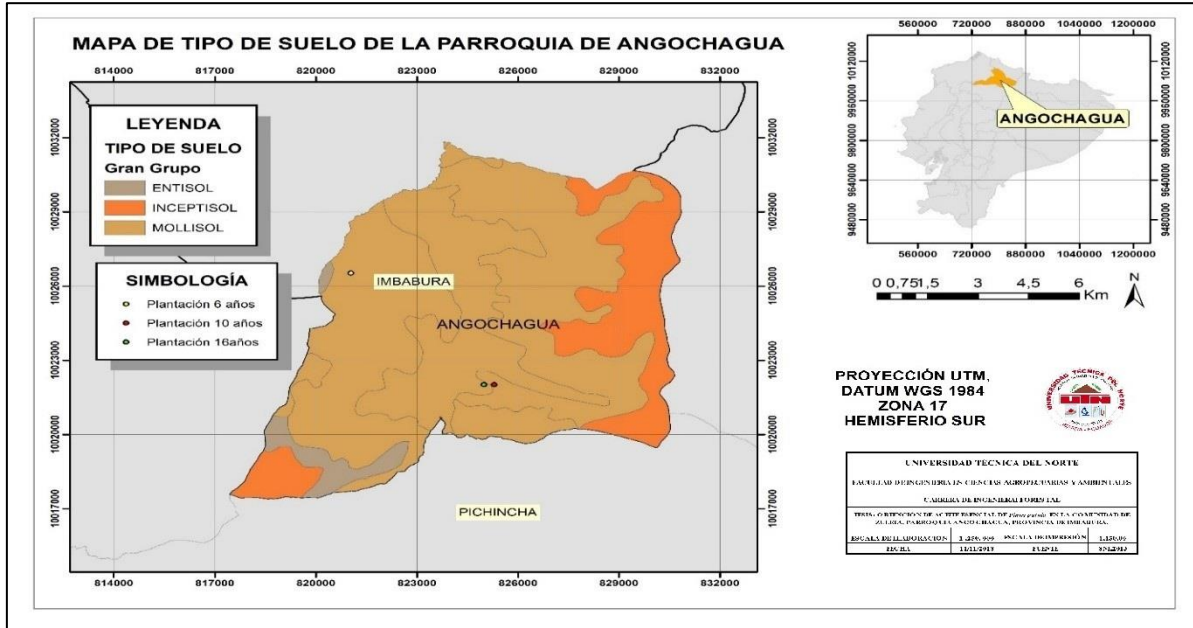


Figura 13. Mapa de tipo de suelo del sitio de estudio
 Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

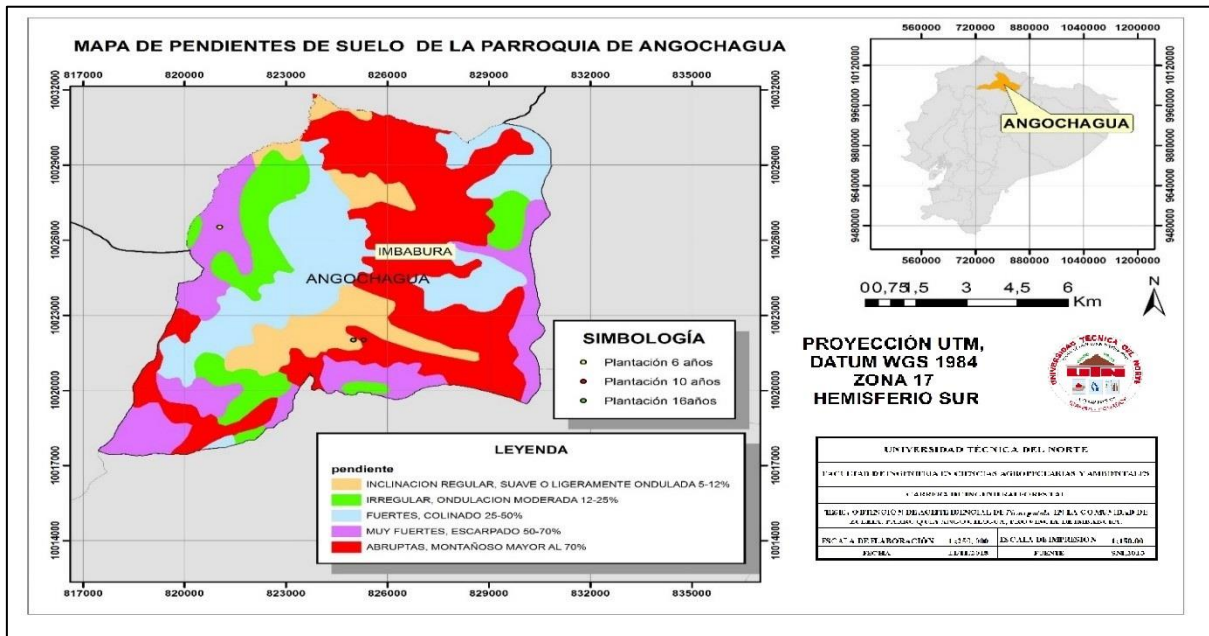


Figura 14. Mapa de pendientes del sitio de estudio
 Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

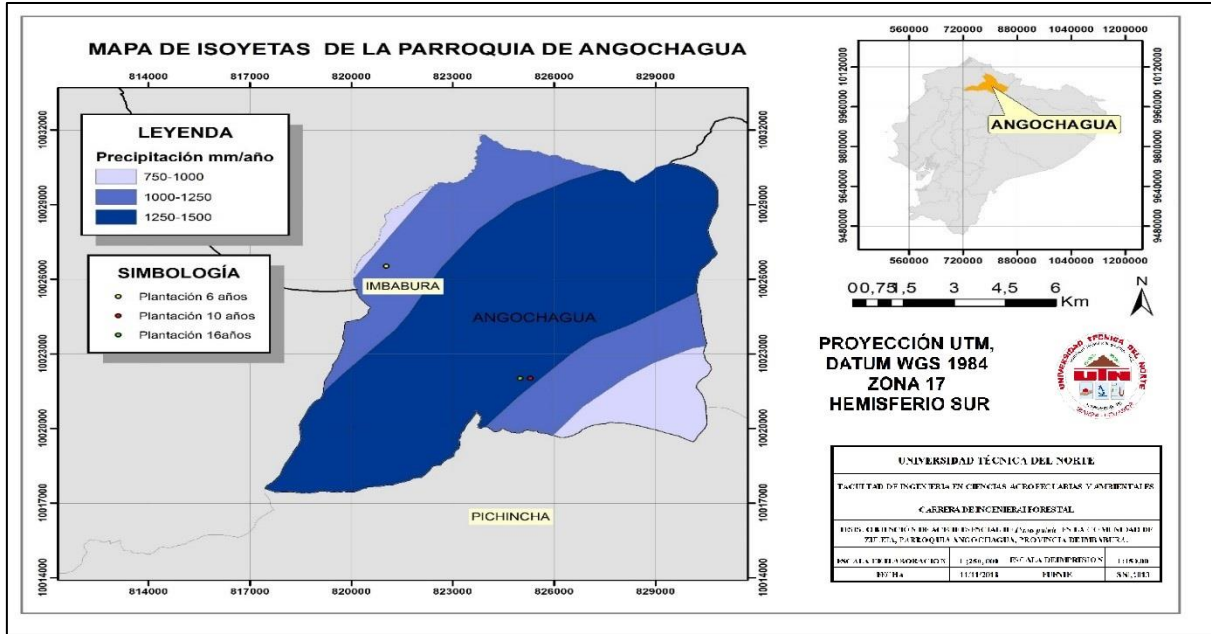


Figura 15. Mapa de isoyetas del sitio de estudio
Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

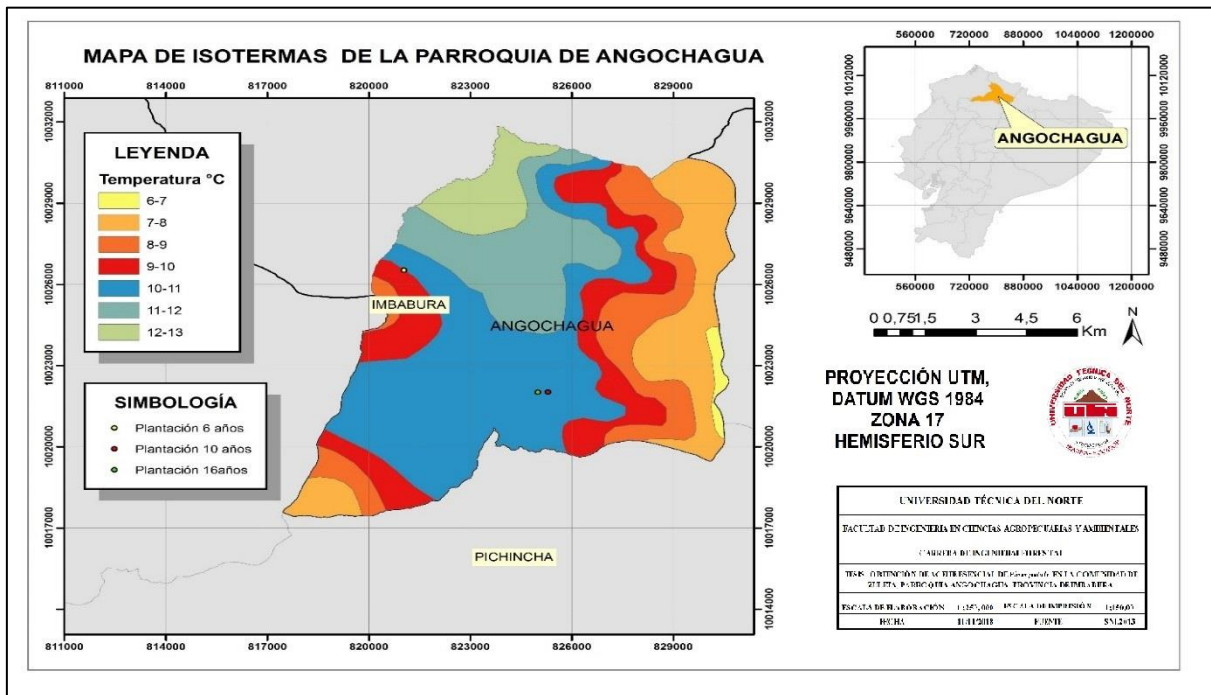


Figura 16. Mapa de isotermas del sitio de estudio
Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

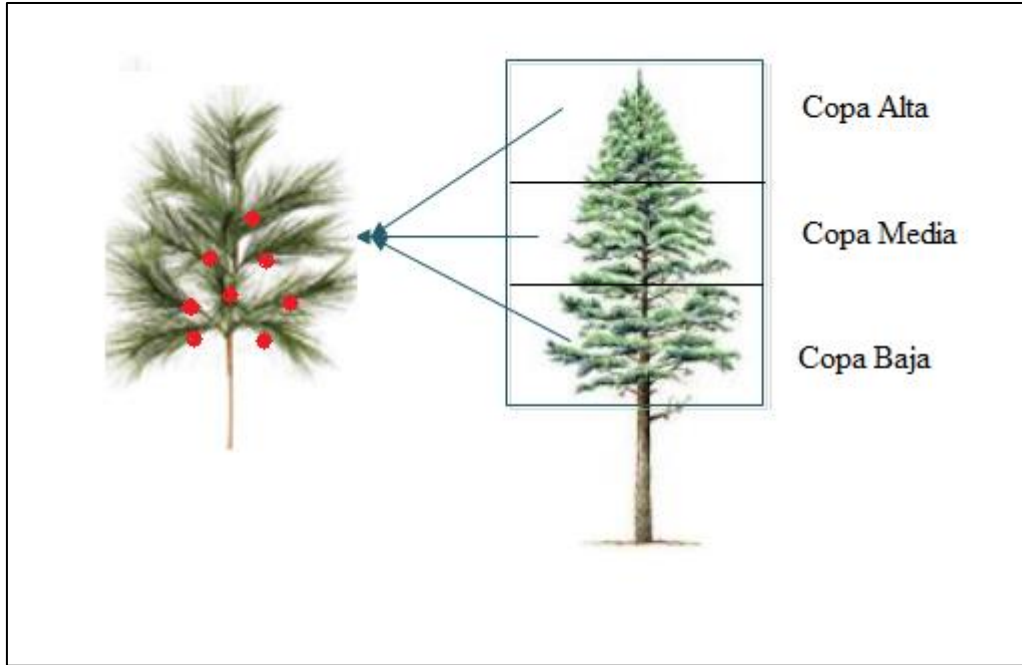
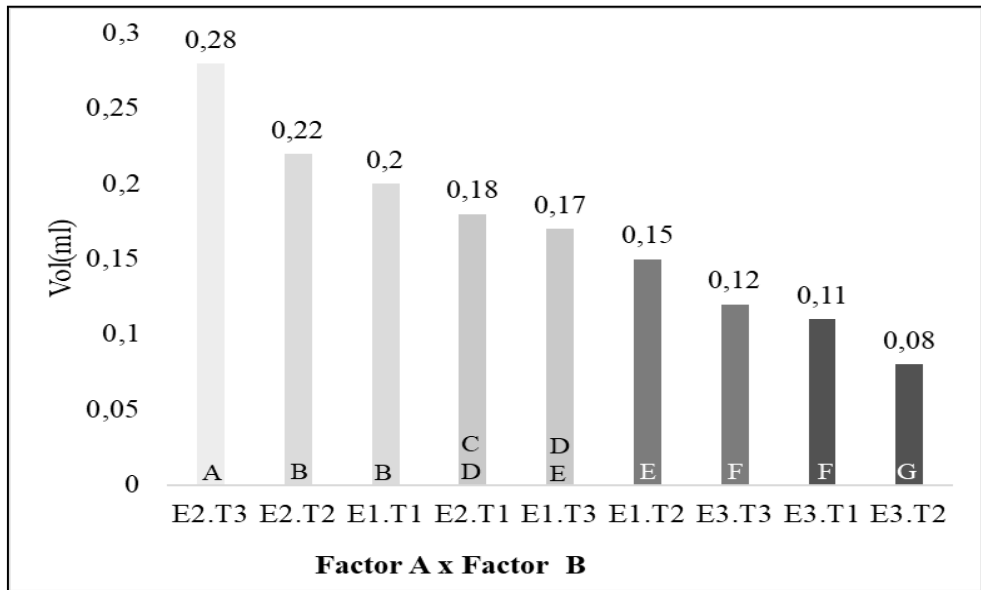


Figura 17. Esquema de recolección de forma aleatoria
 Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Anexo 3. Interacciones



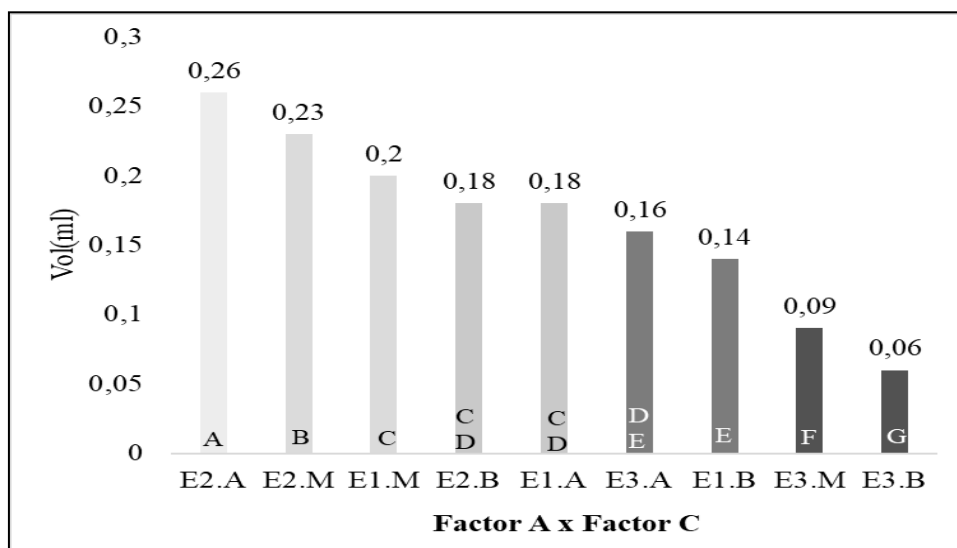
Factor A(edad): E1= 6 años; E2= 10 años; E3=16 años.

Factor B(tiempo): T1= 08:00; T2=12:00; T3=16:00

Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de probabilidad estadística

Figura 18. Interacción Factor A x Factor B

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez



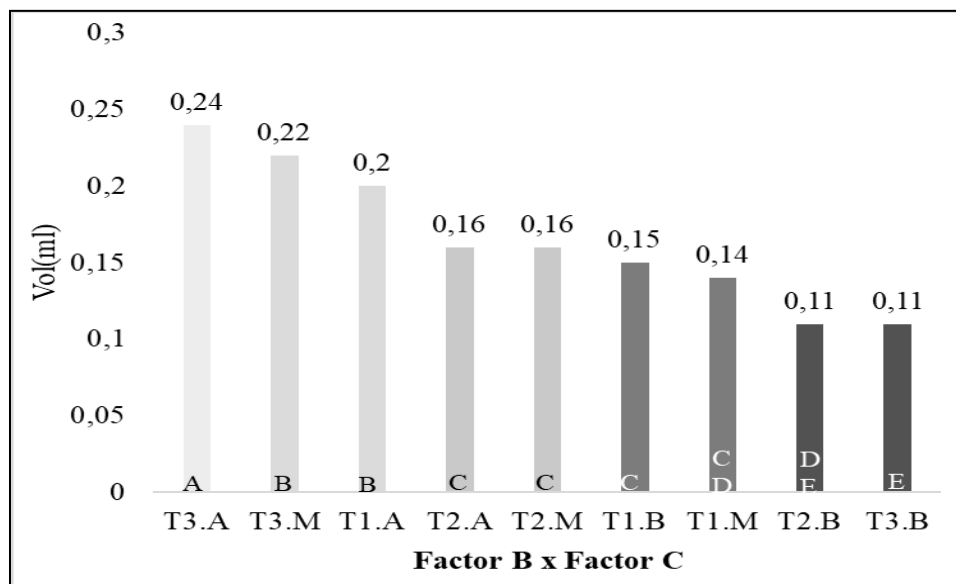
Factor A (edad): E1= 6 años; E2= 10 años; E3=16 años.

Factor C (altura de copa): B= copa baja; M= copa media; A=copa alta

Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de probabilidad estadística

Figura 19. Interacción Factor A x Factor C

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez



Factor B (tiempo): T1= 08:00; T2=12:00; T3=16:00.

Factor C (altura de copa): B= copa baja; M= copa media; A=copa alta

Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de probabilidad estadística

Figura 20. Interacción Factor B x Factor C

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Anexo 4

Tabla 11

Media del factor A (edad)

Edad	Factor A	
	Medias	Rango
E2: 10 años	0,23	A
E1: 6 años	0,17	B
E3: 16 años	0,1	C

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Tabla 12

Media del factor B (tiempo de recolección)

Tiempo	Factor B	
	Medias	Rango
T3: 16:00	0,19	A
T1: 08:00	0,16	B
T2: 12:00	0,15	C

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Tabla 13

Media del factor C (altura de copa)

Altura	Factor C	
	Medias	Rango
A: Copa alta	0,2	A
M: Copa media	0,17	B
B: Copa baja	0,13	C

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Tabla 14*Interacción entre factores A y B*

Factor A Edad	Factor B Altura	Medias	Rango			
E2: 10 años	A: Copa alta	0,26	A			
E2: 10 años	M: Copa media	0,23		B		
E1: 6 años	M: Copa media	0,2			C	
E2: 10 años	B: Copa baja	0,18			C	D
E1: 6 años	A: Copa alta	0,18			C	D
E3: 16 años	A: Copa alta	0,16				D E
E1: 6 años	B: Copa baja	0,14				E
E3: 16 años	M: Copa media	0,09				F
E3: 16 años	B: Copa baja	0,06				G

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez**Tabla 15***Interacciones entre factores A y C*

Factor A Edad	Factor C Tiempo	Medias	Rango			
E2: 10 años	T3: 16:00	0,28	A			
E2: 10 años	T2: 12:00	0,22		B		
E1: 6 años	T1: 08:00	0,2		B	C	
E2: 10 años	T1: 08:00	0,18			C	D
E1: 6 años	T3: 16:00	0,17				D E
E1: 6 años	T2: 12:00	0,15				E
E3: 16 años	T3: 16:00	0,12				F
E3: 16 años	T1: 08:00	0,11				F
E3: 16 años	T2: 12:00	0,08				G

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Tabla 16*Interacciones entre factores B y C*

Factor B Altura	Factor C Tiempo	Medias	Rango
A: Copa alta	T3: 16:00	0,24	A
M: Copa media	T3: 16:00	0,22	B
A: Copa alta	T1: 08:00	0,2	B
A: Copa alta	T2: 12:00	0,16	C
M: Copa media	T2: 12:00	0,16	C
B: Copa baja	T1: 08:00	0,15	C
M: Copa media	T1: 08:00	0,14	C D
B: Copa baja	T2: 12:00	0,11	D E
B: Copa baja	T3: 16:00	0,11	E

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez**Tabla 17***Interacciones entre los factores A x B x C*

Factor A Edad	Factor B Altura	Factor C Tiempo	Medias	Rango
E2: 10 años	T3: 16:00	A: Copa alta	0,37	A
E2: 10 años	T3: 16:00	M: Copa media	0,3	B
E1: 6 años	T2: 12:00	M: Copa media	0,25	B C
E2: 10 años	T2: 12:00	A: Copa alta	0,24	C D
E1: 6 años	T1: 08:00	A: Copa alta	0,22	C D E
E2: 10 años	T2: 12:00	B: Copa baja	0,21	C D E F
E1: 6 años	T3: 16:00	A: Copa alta	0,21	C D E F
E2: 10 años	T2: 12:00	M: Copa media	0,2	C D E F G
E3: 16 años	T3: 16:00	M: Copa media	0,2	C D E F G
E1: 6 años	T1: 08:00	M: Copa media	0,2	D E F G H
E2: 10 años	T1: 08:00	M: Copa media	0,2	D E F G H
E1: 6 años	T1: 08:00	B: Copa baja	0,19	D E F G H
E3: 16 años	T1: 08:00	A: Copa alta	0,19	D E F G H
E2: 10 años	T1: 08:00	A: Copa alta	0,18	E F G H
E2: 10 años	T3: 16:00	B: Copa baja	0,17	E F G H
E2: 10 años	T1: 08:00	B: Copa baja	0,16	F G H I
E3: 16 años	T3: 16:00	A: Copa alta	0,15	F G H I J

Continúa.../...

Continuación.../...

E1: 6 años	T3: 16:00	B: Copa baja	0,15	G H I J
E3: 16 años	T2: 12:00	A: Copa alta	0,15	G H I J
E1: 6 años	T3: 16:00	M: Copa media	0,14	H I J K
E3: 16 años	T3: 16:00	B: Copa baja	0,11	I J K
E1: 6 años	T2: 12:00	A: Copa alta	0,1	J K
E1: 6 años	T2: 12:00	B: Copa baja	0,09	K L
E3: 16 años	T1: 08:01	B: Copa baja	0,04	L M
E3: 16 años	T2: 12:01	M: Copa media	0,03	M
E3: 16 años	T3: 16:01	M: Copa media	0,03	M
E3: 16 años	T2: 12:01	B: Copa baja	0,01	M

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Tabla 18

Media carotenos factores de estudio

Factores	Carotenos (mg/ml)
E1: 6 años	0,0281
E2: 10 años	0,0433
E3: 16 años	0,0471
B: Copa baja	0,04
M: Copa media	0,0403
A: Copa alta	0,0382
T1: 08:00	0,0374
T2: 12:00	0,0404
T3: 16:00	0,0407

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

Rendimiento porcentual del aceite esencial del pino.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso aceite extraído (g)}}{\text{Peso materia prima (g)}} \times 100$$

En donde:

$$\text{densidad } (\rho) = \frac{m}{v} \longrightarrow \text{peso}(m) = \rho \times v$$

$$m = 0,831 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 2 \text{ ml}$$

$$m = 1,66 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{1,66 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 0,16\%$$

Tabla 19*Rendimiento porcentual*

Tratamiento	Rendimiento %
T18	0,031
T17	0,025
T5	0,021
T15	0,020
T3	0,019
T1	0,017
T11	0,017
T14	0,017
T2	0,017
T26	0,017
T9	0,017
T13	0,016
T21	0,016
T12	0,015
T10	0,014
T16	0,014
T24	0,013
T27	0,013
T7	0,012
T8	0,012
T19	0,010
T6	0,010
T4	0,008
T20	0,002
T22	0,002
T23	0,002
T25	0,002

Elaborado por: José Moisés Cueva Jiménez

FOTOGRAFÍAS



Foto 1. Plantación de Pino 6 años



Foto2. Plantación de Pino 10 años



Foto 3. Plantación de pino 16 años



Foto 4. Recolección materia prima



Foto 5. Recoleccion de materia prima , copa alta



Foto 6. Recoleccion materia prima



Foto 7. Empaquetado de las aciculas



Foto 8. Selección y pesado.

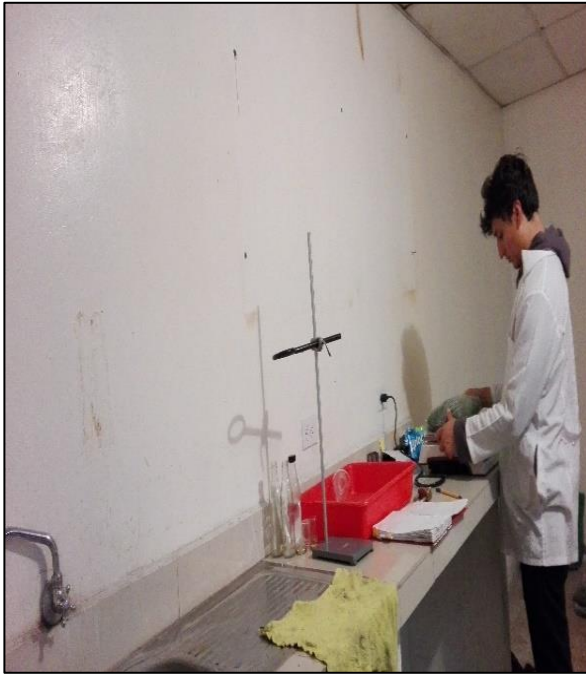


Foto 9. Laboratorio de Destilación



Foto 10. Obtencion de aceite esencial de pino



Foto 11. Aceite esencial de pino



Foto 11. Medicion y envasado



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte
Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño
Personas de Contacto: Quím. Paola Gutierrez. Telf.: 2976 300 ext. 4236 e-mail:
paola.gutierrez@epn.edu.ec
Tiga. Elisabeth Venegas . Telf.: 2976 300 144 ext. 2122 . e-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec
Quito- Ecuador



INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

ORDEN: DC-OT 0035-2018

IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

No. Muestra	ID Muestra	Muestra	Servicio/Analito	Laboratorio
1	DC-MU4553	ACEITE ESENCIAL DE PINO T1	Carotenoides totales (Equivalente de beta carotenos)	Química de Alimentos y Nutrición
2	DC-MU4554	ACEITE ESENCIAL DE PINO T2		
3	DC-MU4555	ACEITE ESENCIAL DE PINO T3		
4	DC-MU4556	ACEITE ESENCIAL DE PINO T4		
5	DC-MU4557	ACEITE ESENCIAL DE PINO T5		
6	DC-MU4558	ACEITE ESENCIAL DE PINO T6		
7	DC-MU4559	ACEITE ESENCIAL DE PINO T7		
8	DC-MU4560	ACEITE ESENCIAL DE PINO T8		
9	DC-MU4561	ACEITE ESENCIAL DE PINO T9		
10	DC-MU4562	ACEITE ESENCIAL DE PINO T10		
11	DC-MU4563	ACEITE ESENCIAL DE PINO T11		
12	DC-MU4564	ACEITE ESENCIAL DE PINO T12		
13	DC-MU4565	ACEITE ESENCIAL DE PINO T13		
14	DC-MU4566	ACEITE ESENCIAL DE PINO T14		
15	DC-MU4567	ACEITE ESENCIAL DE PINO T15		
16	DC-MU4568	ACEITE ESENCIAL DE PINO T16		
17	DC-MU4569	ACEITE ESENCIAL DE PINO T17		
18	DC-MU4570	ACEITE ESENCIAL DE PINO T18		
19	DC-MU4571	ACEITE ESENCIAL DE PINO T19		
20	DC-MU4572	ACEITE ESENCIAL DE PINO T20		
21	DC-MU4573	ACEITE ESENCIAL DE PINO T21		
22	DC-MU4574	ACEITE ESENCIAL DE PINO T22		
23	DC-MU4575	ACEITE ESENCIAL DE PINO T23		
24	DC-MU4576	ACEITE ESENCIAL DE PINO T24		
25	DC-MU4577	ACEITE ESENCIAL DE PINO T25		
26	DC-MU4578	ACEITE ESENCIAL DE PINO T26		
27	DC-MU4579	ACEITE ESENCIAL DE PINO T27		



RESULTADOS

No. Muestra	Servicio/Analito	Resultado	Unidades	Método
1	Carotenoides totales	0.025 ± 0.000	mg/100mL	Carotenoides Totales por Espectrofometria Delia B. Rodríguez-Amaya & Mieko Kimura.
2		0.027 ± 0.001		
3		0.019 ± 0.002		
4		0.023 ± 0.000		
5		0.030 ± 0.001		
6		0.033 ± 0.003		
7		0.041 ± 0.001		
8		0.029 ± 0.002		
9		0.026 ± 0.003		
10		0.044 ± 0.001		
11		0.047 ± 0.001		
12		0.038 ± 0.002		
13		0.046 ± 0.001		
14		0.049 ± 0.001		
15		0.043 ± 0.001		
16		0.039 ± 0.001		
17		0.040 ± 0.000		
18		0.044 ± 0.002		
19		0.049 ± 0.001		
20		0.047 ± 0.001		
21		0.041 ± 0.001		
22		0.044 ± 0.003		
23		0.047 ± 0.001		
24		0.049 ± 0.001		
25		0.049 ± 0.002		
26		0.047 ± 0.001		
27		0.051 ± 0.001		

PROFESIONAL RESPONSABLE
DEL ANÁLISIS


Ing. Mayra Anaguano

AUTORIDAD AUTENTICADORA
(JEFE DECAB)


Ing. Francisco Quiroz





ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte
Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño
Personas de Contacto: Quím. Paola Gutierrez. Telf.: 2976 300 ext. 4236 e-mail:
paola.gutierrez@epn.edu.ec
Tlga. Elisabeth Venegas . Telf.: 2976 300 144 ext. 2122 . e-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec
Quito- Ecuador



QUEJAS Y SUGERENCIAS

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe, u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB, o de la persona Encargada de Recepción de Muestra y Atención al Cliente, ya sea en forma verbal o en forma escrita hasta 8 días después de la entrega del informe. En el DECAB se mantiene un registro de quejas y sugerencias con el fin de mejorar el Servicio al Cliente.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al DECAB, pero si se responsabiliza de las muestras recibidas, tal como se las entrega.

