



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ESTANDARIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN POR ARRASTRE
CON VAPOR DE ACEITE DE NARANJA PARA LA ASOCIACIÓN
DEL HATO EN EL MUNICIPIO DE GIRARDOTA**

Autor(es)

Carolina Arias Gallego

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química

Medellín, Colombia

2019



Estandarización de la extracción por arrastre con vapor de aceite de naranja para la
Asociación Del Hato en el municipio de Girardota

Carolina Arias Gallego

Trabajo de grado
como requisito para optar al título de:
Ingeniera química.

Asesor

Rolando Barrera Zapata
Doctor en Ingeniería Química

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento, Escuela, Instituto, etc.
Medellín, Colombia
2019.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS	3
3. MARCO TEÓRICO	4
Aceites esenciales	4
Características de los aceites esenciales	5
Métodos de extracción de los aceites esenciales.....	5
Aplicaciones (Stashenko, Aceites Esenciales, 2009).....	7
Factores y condiciones del proceso.....	7
Métodos de caracterización.....	8
Naranja.....	9
Aceite de naranja	10
Patógenos post-cosecha para cultivos críticos (Técnico agrícola, 2012).....	10
Rendimiento.....	11
4. METODOLOGÍA	11
Pruebas a escala laboratorio.....	12
• Materia prima sin procesamiento previo.	12
• Lavado de la cáscara.	13
• Secado de la cáscara	13
• Presencia de albedo.....	14
• Trozado de la cáscara.....	14
Pruebas a escala piloto	15
• Experimento 1.....	15
• Experimento 2.....	15
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	16
Pruebas a escala laboratorio.....	16
• Factor de empaquetamiento	16
• Humedad de la biomasa.....	17
• Lavado y Grado de descomposición.....	18
• Presencia de albedo.....	19
Pruebas a escala piloto	19
• Experimento 1	19

• Experimento 2.....	20
Manual de Producción de Aceite de Naranja para la Asociación Del Hatos Aromas y Sabores.....	20
6. CONCLUSIONES	23
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

RESUMEN

En esta investigación se evaluaron de manera preliminar y a escala laboratorio, diferentes factores en el pre-tratamiento de la cáscara de la naranja que afectan el rendimiento, la calidad y la seguridad del aceite extraído por el método de arrastre con vapor, utilizando como materia prima, cáscaras de naranja residuales del proceso de obtención y comercialización de jugos en la Asociación Del Hato Aromas y Sabores del municipio de Girardota, Antioquia. Se encontró una importante influencia del porcentaje de humedad de la cáscara sobre el rendimiento en la extracción del aceite, siendo óptima entre el 12-15%. A mayor cantidad de agua en la cáscara, menor rendimiento en el proceso. En cuanto a la bioseguridad de la materia prima y del aceite obtenido, el lavado con agua caliente antes de las extracciones es un proceso necesario para limpiar la cáscara de polvo o microorganismos que puedan generar infecciones o podredumbre, especialmente si las cáscaras tendrán algún período de almacenamiento previo al proceso de extracción. También se observó que el fraccionamiento previo de la cáscara puede resultar o no conveniente de acuerdo al escalado previsto para el proceso. Este aspecto adquiere mayor relevancia cuando la escala de operación es menor. Para las condiciones de este estudio, el rendimiento fue aceptable utilizando las cáscaras con su tamaño normal cuando la naranja se troza en 2 partes iguales.

A partir de los mejores resultados observados en el laboratorio, el proceso a escala piloto se estandarizó para su implementación en la destilación por arrastre por vapor utilizando el equipo que dispone la Asociación en el municipio de Girardota (Antioquia). Para el proceso a escala piloto se realizó la extracción de aceite de naranja operando a 60 psi y 100°C, logrando rendimientos cercanos al 12.14%, lo que representa una alternativa de valoración de desechos que permite a los campesinos de la zona evaluar la posibilidad de diversificar los subproductos derivados de sus actividades cotidianas mediante la obtención (y eventual comercialización) de aceite esencial de naranja.

Como producto final de esta investigación, se elaboró un Manual de Producción de Aceite de Naranja para la Asociación Del Hato Aromas y Sabores de acuerdo con las particularidades de las materias primas y los medios de producción que ellos disponen.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1747 con la prevención del escorbuto hasta la actualidad, la naranja ha llegado a popularizarse como una gran fuente de vitamina C, esto sin contar los subproductos de este fruto y sus beneficios. El comercio, en la modernidad, ha hecho del jugo de naranja un sinónimo de una vida saludable y su venta ha aumentado en el mundo, Antioquia no es la excepción. Los informes de la Cámara de Comercio de Antioquia y múltiples noticias corroboran el aumento en la cosecha y comercio de la naranja y jugo de naranja en los últimos años. Adicionalmente, las noticias resaltan a Antioquia como el principal productor de naranjas de Colombia en los últimos años donde las regiones de Copacabana y Girardota se reconocen por su variedad “común”.

Por otra parte, es importante rescatar el potencial de Colombia como participante en el sector productivo y agrícola de aceites esenciales sabiendo las riquezas naturales, clima, experiencia en cultivo de plantas aromáticas, infraestructura y posibilidades de comercialización interna y externa. Este sector de la química fina puede incentivar a grandes empresas a mejorar su huella verde y promueve las microempresas de pequeños campesinos colombianos, como los integrantes de la Asociación del Hato Esencias y Sabores del municipio de Girardota.

La Asociación Del Hato Aromas y Sabores es una microempresa conformada por un grupo de campesinos antioqueños dedicados a la producción y comercialización de productos naturales como aceites esenciales, jabones con aromas naturales, bebidas aromáticas (de citronela, romero y limoncillo) y productos de limpieza aromatizados. Ellos cuentan con cultivos de naranjas que sólo aprovechan en la venta de jugo de naranja. Ante la preocupación por desperdiciar el valor agregado de las cáscaras de naranja que actúan como residuos tras un día de venta de jugo, su deseo es la producción del aceite esencial de naranja para la comercialización o transformación en productos de mayor valor agregado como limoneno o epóxido de limoneno. El equipo disponible para este proyecto es un extractor por arrastre con vapor a escala piloto que puede operar hasta 80 psi y 200°C y cuenta con una capacidad de carga de 50kg de biomasa. No obstante, los parámetros que estandarizan el proceso como las especificaciones del equipo y volúmenes de producción, y la metodología para la caracterización del aceite a partir de biomasa residual son ajenos a la Asociación, que en su mayoría está conformada por campesinos de la zona. La realización de este trabajo de grado pretende dar respuesta a las necesidades de la Asociación mediante la estandarización de la obtención y caracterización del aceite de naranja a través de una investigación enmarcada en contextos de compromiso social y ambiental.

2. OBJETIVOS

Extraer aceite de la cáscara de naranja por arrastre con vapor y estandarizar este proceso de acuerdo con las necesidades específicas de la Asociación del Hato en el municipio de Girardota.

Objetivos Específicos

- Identificar y estudiar los principales factores que afectan la producción del aceite de naranja en equipos a diferente escala.

- Estandarizar el proceso de extracción de aceite a partir de cáscaras de naranja para el equipo a escala laboratorio.
- Evaluar y ajustar el proceso para la extracción de aceite a escala piloto en el equipo propio de la Asociación.
- Elaborar un manual de instrucciones paso a paso para la producción de aceite de naranja destinada a los campesinos del Hato, de acuerdo con la técnica indicada y los equipos disponibles.
- Proponer pruebas de caracterización para el aceite que sean fácilmente aplicables bajo las condiciones de producción definidas.

3. MARCO TEÓRICO

Aceites esenciales

Las plantas necesitan de dos tipos de metabolitos para su crecimiento y desarrollo, los primarios y los secundarios. Los metabolitos primarios consisten en las sustancias vitales como las proteínas, lípidos o azúcares. Por otra parte, los productos de los procesos de biosíntesis (alcoholes, ácidos, ésteres, fenoles o terpenos) cumplen varias funciones dentro de las plantas como la atracción (para la polinización) o repulsión (para disminuir el apetito o como bioinsecticida) de animales, remedios endógenos o definir el crecimiento de la planta.

Los aceites esenciales son mezclas homogéneas que hacen parte de los metabolitos secundarios. Estos pueden estar compuestos por más de 100 compuestos químicos orgánicos entre los que se hallan los alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, ésteres y terpenos. Estos últimos provienen del ácido mevalónico, siendo más abundantes los monoterpenos (C10) y sesquiterpenos (C15) (Lugo Mancilla, Yañez Rueda, & Parada Parada, 2007). Los terpenos provocan la oxidación de los aceites, especialmente los cítricos, y generan insolubilidad en aguas y alcoholes, lo que supone una desventaja a nivel industrial. Una solución ante este problema ha sido la extracción del aceite mediante desterpenación. (Sánchez, 2002)

Generalmente se liga el concepto de esencia al aceite obtenido a través de procedimientos como prensado en frío, raspado o destilación. Sin embargo, el proceso va a tener influencia sobre el color, viscosidad, solubilidad, volatilidad y la composición. Es por ello que existen los extractos, sustancias que están ligadas a la obtención de aceites esenciales. A continuación se exponen algunos tipos de extractos (Aduanas México, 2007):

- Concretos o esencias concretas: Aceites obtenidos mediante extracción con solventes orgánicos (éter de petróleo, benceno, acetona o tolueno) o fluidos supercríticos (anhídrido carbónico a presión). Tienden a ser tener una textura similar a la de la cera y su solidez dependerá de la cantidad de sustancias ceras que contenga.
- Esencias absolutas o quintaesencias: Esencia que proviene de un concreto al que se le ha removido la cera mediante el uso de alcohol caliente.

- Resinoides o bálsamos: Extracción de resinas naturales desecadas de origen animal o vegetal usando solventes orgánicos o fluidos supercríticos. Tienen una alta viscosidad y se usan como fijadores en la industria cosmética y de aseo.
- Oleorresinas: Extracción del aceite de un material vegetal en bruto (especies o planta aromática) a través de disolventes orgánicos o fluidos supercríticos. A diferencia de un aceite esencial, este extracto puede contener, aparte de los compuestos no volátiles, principios aromatizantes no volátiles como resinas, aceites grasos o picantes que son propios de la biomasa.

Algunos procedimientos para producción de aceites a gran escala son: Rectificación, fraccionamiento, desterpenado, des-encerado, filtración, decoloración y lavado. (Montoya Cadavid, 2010)

Características de los aceites esenciales

Comúnmente son llamados “aceites” a sustancias grasosas al tacto no volátiles que no tienen un olor característico y agradable. Los aceites esenciales comparten este nombre ya que son grasosos al tacto, sin embargo, al ser compuestos volátiles tienen la capacidad de evaporarse dejando a su paso una fragancia agradable cuyo olor depende de los grupos funcionales específicos de la fuente donde provenga (Lugo Mancilla , Yañéz Rueda, & Parada Parada, 2007).

Las características fundamentales para diferenciar un aceite esencial son: Alta volatilidad, olor típico y generalmente agradable, naturaleza química diversa, inflamabilidad, nula toxicidad, baja densidad, bajo peso molecular y obtención de raíces, tallos, hojas, flores, frutos, rizomas o semillas. (Stashenko & Martínez, Plantas aromáticas y aceites esenciales: estudio y aplicaciones, 2012) (Revilla Fuentes & Rivera Guillen, 2014)

Aunque popularmente se estime que las esencias no tienen riesgos para la salud al ser de origen natural, pueden existir reacciones cutáneas, respiratorias o digestivas ante ciertas dosis de algunos aceites (como el de canela de Ceilán, albahaca exótica, menta, clavo, ajonjolí, niaouli, tomillo, mejorana, ajedrea y hierba de limón), otros pueden ser altamente tóxicos. En particular, algunas esencias cítricas, como la de naranja, son fototóxicas, es decir, son sustancias fotosensibles que, al tener contacto con la luz solar, pueden generar lesiones en la piel similares a una quemadura solar grave. (Comité para la Protección de la Salud de los Consumidores (CD-P-SC), 2018)

Métodos de extracción de los aceites esenciales

Los métodos de extracción pueden ser directos o indirectos. Los métodos directos son extrusión y exudación. Los métodos indirectos son destilación, extracción con solventes y métodos modernos (ultrasonidos, microondas y fluidos súper críticos). Los procesos de destilación y extracción mecánica se presentan a continuación con énfasis en el arrastre por

vapor y el prensado en frío por ser los métodos que producen “esencias verdaderas”, es decir, aceites con alto grado de pureza (Stashenko & Martínez, Plantas aromáticas y aceites esenciales: estudio y aplicaciones, 2012):

- Destilación en seco: Sin uso de agua u otra sustancia como solvente, el material vegetal se calienta a altas temperaturas para la estimulación de la dilatación de las glándulas odoríferas. Este proceso se usa en tallos o cortezas.
- Hidrodestilación: Este método consiste en sumergir la biomasa en agua en el alambique, llevándolo hasta ebullición. Suele usarse con biomasa delicada que pueda verse afectada por el vapor, por ejemplo, las flores.
- Destilación con agua-vapor: Este procedimiento se lleva a cabo en un alambique donde se disponen el material vegetal (sobre una malla) y vapor que proviene de agua calentada en el fondo del alambique. Genera mayores rendimientos para plantas herbáceas.
- Destilación por arrastre con vapor: A diferencia de los dos procesos anteriores, en este es necesario un calderín (para producir vapor seco sobrecalentado) conectado a la parte inferior del alambique donde está colocado el material vegetal sobre una malla a una altura superior a la conexión con el calderín. El objetivo es permitir que el vapor entre por el material vegetal con una presión de vapor mayor a la atmosférica para romper los canales oleíferos y así obtener, tras la condensación posterior al alambique, una mezcla heterogénea de aceite esencial e hidrolato (que se puede separar por decantación) (Stashenko & Martínez, Plantas aromáticas y aceites esenciales: estudio y aplicaciones, 2012). El hidrolato se presenta en mayor cantidad y se compone de agua y compuestos solubles volátiles que conservan propiedades olfativas que genera un subproducto con valor agregado en la producción.

Aunque el costo de inversión puede ser alto respecto a otras técnicas, la destilación por vapor cuenta con otras ventajas (Montoya Cadavid, 2010):

- Mayor eficiencia energética.
- Mejor control de la velocidad de destilación.
- Posibilidad de variación de la presión del vapor según la volatilidad de la biomasa.
- Prensado en frío: Método directo por extrusión donde, sin calentamiento, una acción abrasiva se aplica a la superficie del material vegetal, generalmente a frutas cítricas, bajo una corriente de agua. En el caso de los cítricos, el aceite se exprime de las glándulas odoríferas del pericarpio y se lleva con la corriente a una centrífuga donde se separan la fase acuosa y la orgánica. La separación también se puede llevar a cabo por decantación o filtración. Suele ser utilizado en procesos de escala industrial especialmente en instalaciones donde también se produzcan jugos cítricos. (Comité para la Protección de la Salud de los Consumidores (CD-P-SC), 2018). Una máquina para extracción de aceite de naranja por este método que cuente con una baja capacidad (Aproximadamente 80 kg/h) puede tener un costo que oscila los 1500USD (Henan Olten Environmental Sci-Tech Co., Ltd., 2019). En la Tabla 1 se hace una

comparación entre los métodos de destilación con vapor y prensado en frío para aceite de limón con el mismo lugar de procedencia (Heath, 1981).

Tabla 1. Comparación entre métodos de extracción para aceite de limón. (Heath, 1981)

Método	Prensado en frío	Destilado
Rendimiento	6-7 lb/ton	14 lb/ton
Procedencia	Italy, California, Arizona	California
Gravedad específica 25°/25°C	0.846-0.855	0.842-0.856
Índice de refracción 20°C	+57° - +78°	+55° - +75°
Contenido de aldehídos	1.7-5%	1-3.5%

Aplicaciones (Stashenko, Aceites Esenciales, 2009)

- **Medicina:** Se aprovechan los terpenoides de los aceites como quimiopreventivos o en tratamientos para arterosclerosis, trombosis, diabetes y virus. También son usados en áreas de la medicina y farmacéutica no convencional como homeopatía, fitofármacos y fitoquímica.
- **Industria alimenticia:** Uso en bebidas (gaseosas y licores), dulces, salsas y tabaco.
- **Cosmetología y productos de aseo:** Producción de jabones, fitocosméticos, perfumes o dentríficos.
- **Aromaterapia y fisioterapia:** Uso en SPA, balnearios y sanatorios.
- **Agricultura:** Por propiedades antifúngicas, insectidas y antibacteriales.

Factores y condiciones del proceso

La calidad de un aceite esencial y el rendimiento del proceso se pueden ver afectados durante cualquier momento del proceso de producción: cultivo, cosechado, secado, molienda y almacenamiento. Los siguientes apuntes hacen referencia a las condiciones necesarias de bioseguridad y a los factores que influyen sobre el producto final (Comité para la Protección de la Salud de los Consumidores (CD-P-SC), 2018):

- **Cultivo y cosechado:** El lugar de plantación (coordenadas de la ubicación exacta), las condiciones climáticas (datos sobre humedad y temperatura promedio durante tiempo de cultivo) y la variedad de la planta afectan, en primera mano, las propiedades físicas del aceite y, por tanto, el valor comercial del mismo. Por ejemplo, el aceite esencial de las naranjas dulces tiene un mayor costo por masa en comparación con las naranjas amargas (Stashenko, Aceites Esenciales, 2009).
La materia prima vegetal que se somete al proceso de extracción debe estar limpia, es decir, debe estar libre de impurezas y enfermedades: polvo, tierra, suciedad, infecciones fúngicas, contaminación animal y daños por podredumbre.
Es necesario que el productor también puntualice sobre el uso de pesticidas o fertilizantes, la etapa vegetativa de la planta y el tipo de planta (salvaje o cultivada).
- **Secado y molienda:** Existen procesos como prensado en frío donde no es necesario realizar el secado o fraccionamiento de la materia vegetal al tratarse, por lo general, de procesos en continuo acoplados a la previa obtención de la biomasa. En procesos

donde sí sea necesario, el secado debe ser realizado de forma cuidadosa, con material que haya sido seleccionado para evitar la proliferación de infecciones y residuos perjudiciales.

- Almacenamiento: Un mal cuidado de las esencias puede modificar las propiedades por fotoisomerización, fotociclación, escisión oxidativa, peroxidación y descomposición de alcoholes y cetonas, isomerización térmica, hidrólisis y transesterificación.

Una forma de evitar la degradación del aceite es almacenarlo en un recipiente limpio y seco de aluminio cristalizado, acero inoxidable o vidrio ámbar, no es recomendable usar recipientes de plástico por incompatibilidad química. El recipiente debe estar casi completamente lleno y sellado herméticamente. En contenedores grandes se puede usar un gas inerte para llenar el espacio vacío. Además, los recipientes no deben tener contacto con la luz o fuentes de calor que provoquen la volatilización del aceite. El uso de conservantes o antioxidantes debe ser indicado en el recipiente del producto de venta.

Métodos de caracterización

De acuerdo con Montoya (Montoya Cadavid, 2010), entidades reguladoras de la calidad exigen la determinación de la composición del aceite esencial a través de índices químicos con técnicas como cromatografía de gases, RMN, espectroscopía de masas y cromatografía líquida. Estos índices pueden ser:

- Índice de acidez
- Índice de éster
- Índice de saponificación
- Índice de acetilo
- Índice de fenoles

Cada uno de ellos indican, cualitativa y cuantitativamente, los grupos funcionales que participan en la esencia.

Por otra parte, pueden existir formas más sencillas y menos rigurosas para tener una aproximación sobre la calidad de un aceite esencial. Se trata a través de las características organolépticas y las propiedades físicas comparadas con valores de la literatura o de un valor promedio en la producción.

- Características organolépticas:
 - Olor
 - Color
 - Sabor
 - Apariencia
- Determinación física:
 - Densidad
 - Punto de congelación
 - Índice de refracción
 - Poder rotatorio
 - Solubilidad en etanol
 - Punto de inflamación
 - Rango de destilación

Posteriormente serán descritos los valores reportados para el aceite de naranja como un punto de partida para la determinación de la calidad de la esencia en una producción nueva.

Naranja

La naranja pertenece a la familia de los cítricos o rutáceas, siendo la naranja común del género *Citrus sinensis*. Este grupo se caracteriza por un gran contenido de ácido cítrico ($C_3H_4OH(COOH)_3$) y aromas profundos (Lugo Mancilla, Yañéz Rueda, & Parada Parada, 2007). En Colombia ha predominado el cultivo de naranjas por encima de otros cítricos como la mandarina, lima ácida, toronja, tangelo, limón y otros (Cerón-Salazar & Cardona Alzate, 2011). La Cámara de Comercio establece que, especialmente en el departamento antioqueño, las variedades de naranja más cultivadas son la “común o criolla” y la “valenciana” (Antioquia) (Cámara de Comercio de Antioquia, 2010). La naranja criolla es un fruto de corteza dura con semillas que prospera en la región de Girardota gracias a su temperatura promedio (22°C) y humedad promedio superior al 70% (Alcaldía de Girardota, 2019).

Las partes del fruto de naranja se describen brevemente a continuación (Revilla Fuentes & Rivera Guillen, 2014), y se pueden observar en la Figura 1:

- **Pericarpio:** Es todo aquello en el fruto que envuelve la semilla. Se divide en 3 partes, desde la más externa a la más interna: Exocarpo, mesocarpo y endocarpo.
 - ✓ **Mesocarpo:** Es la cáscara del fruto que es aprovechada para la obtención de productos de valor agregado como el aceite esencial de naranja y se compone principalmente de materia seca, agua, carbohidratos, minerales (calcio, magnesio, fósforo, potasio, azufre), grasas, ceniza, proteínas, azúcares, ácido urónico, lignina, ácido cítrico y pectina (Cerón-Salazar & Cardona Alzate, 2011).
 - **Mesocarpo externo o flavedo:** También llamada exocarpo o epicarpo. Es la parte más externa del fruto. Típicamente de un color naranja o amarillo en su punto de maduración. Contiene vesículas oleíferas que son glándulas canaliformes de paredes finas con diámetros entre 0.4-0.6mm donde se sintetizan los terpenoides, característicos del olor cítrico. Las glándulas están rodeadas por una solución acuosa de azúcares, sales y coloides. (Revilla Fuentes & Rivera Guillen, 2014)
 - **Mesocarpo interno o albedo:** Parte blanca carnosa de sabor amargo que se encuentra entre el flavedo y el endocarpo. Se compone de pectina, celulosa y aceites esenciales.
 - ✓ **Endocarpo:** Parte interna del fruto que antecede a la semilla y está contenida entre el albedo y los tabiques formando gajos que contienen vesículas de zumo donde está contenida la pulpa del fruto. La presencia de semillas depende del tipo de naranja.
- **Pendúculo:** Punto donde se une el fruto con el tallo de la planta que lo sujeta al árbol.

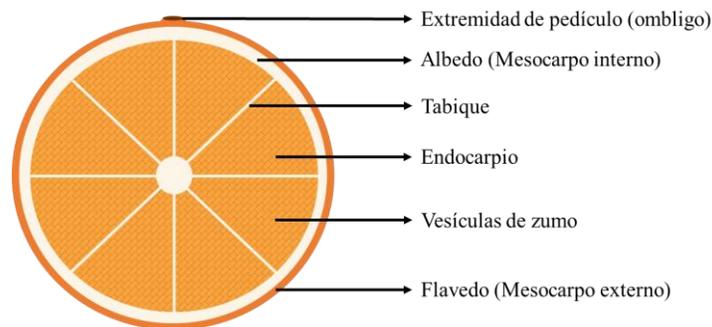


Figura 1. Partes de la naranja (Fuente propia).

Aceite de naranja

El aceite de naranja (*Citrus sinensis*) es un líquido amarillo que cuenta con las características presentadas en la Tabla 2 (Revilla Fuentes & Rivera Guillen, 2014). Éste contiene más del 90% de su composición en d-limoneno y terpenos (Lugo Mancilla , Yañéz Rueda, & Parada Parada, 2007).

Tabla 2. Características del aceite esencial de naranja. (Revilla Fuentes & Rivera Guillen, 2014)

Características organolépticas	Aspecto: Líquido
	Color: Amarillo o anaranjado
	Olor: Dulce
Características físicas	Densidad relativa a 20°C Mínima: 0.842 Máxima: 0.85
	Índice de refracción a 20°C Mínimo 1.470 Máximo 1.476
	Desviación polarimétrica a 20°C en tubo de 1dm Límites comprendidos entre +94° y +99°
Características químicas	Residuos de evaporación Mínimo 1% Máximo 5%
	Tenor en constituyentes carbonilados expresado en decanal Mínimo 0.9% Máximo 5.0%

Patógenos post-cosecha para cultivos críticos (Técnico agrícola, 2012)

El olor del aceite de naranja se ve afectado por las condiciones post-cosecha del cítrico previas a la extracción del aceite. Éste torna desagradable debido a la podredumbre por microorganismos. A continuación, se exponen brevemente los hongos que se dan principalmente por malas condiciones de recolección o almacenamiento:

Penicillium Digitatum y *Penicillium Italicum*

Estos son característicos hongos de color verde y azul, respectivamente, presentes en la corteza de la naranja. Las condiciones óptimas para el crecimiento de la *Penicillium Digitatum* son alta humedad relativa y 20°C. La *Penicillium Italicum* puede crecer entre los 3 y 32°C, de forma óptima a los 24°C. La propagación se da a través del contacto con frutos contaminados.

Alternia Citri

Infección de la fruta durante su crecimiento con condiciones óptimas a bajas y prolongadas temperaturas, vientos secos y frutos maltratados por el sol u otro factor externo.

Botrytis Cinerea

Humedades altas y bajas o moderadas temperaturas favorecen el crecimiento de este hongo que se presenta como una pudrición marrón con esporas algodonosas blanco/gris en frutas mal conservadas en frigoríficos.

Geotrichum Candidum

Se presenta sobre frutas maduras con heridas que lleven almacenadas durante un largo tiempo generando una pudrición blanca de olor agrio.

Phytophthora Citrophthora

A condiciones ambientales crecen manchas cafés con moho blanco que desprenden un olor rancio. Se recomienda para su prevención, sumergir la fruta en agua caliente durante 2-4 minutos y separar los frutos infectados.

Rhizopus Nigricans

Cortezas heridas o maltratadas contribuyen al crecimiento de este hongo en temperaturas superiores a 10°C. Se identifica por la aparición de micelios blancos que terminan en puntos negros (esporas).

Rendimiento

El rendimiento es la relación de la cantidad de aceite producido y la cantidad de biomasa ingresada. Matemáticamente se define según la Ecuación 1. (Revilla Fuentes & Rivera Guillen, 2014)

$$\%Rendimiento = \frac{g_{aceite}}{100 g_{biomasa}} \quad \text{Ecuación 1}$$

4. METODOLOGÍA

Ante los altos costos que puede implicar el desarrollo de ensayos experimentales directamente en un equipo a escala piloto, el proyecto se lleva a cabo a escala laboratorio en una primera etapa desarrollada en el Laboratorio Ambiental de Gestión del Recurso Hídrico del Politécnico Jaime Isaza Cadavid, con el objetivo de realizar una serie de experimentos para evaluar los efectos del pretratamiento de la cáscara de naranja para luego, evaluar los mejores resultados a escala piloto en el equipo disponible en la Asociación. A continuación, se describen los procedimientos (experimentos) realizados:

Pruebas a escala laboratorio

El objetivo de los ensayos realizados a esta escala fue determinar algunos factores del pretratamiento que afectan la extracción del aceite. El equipo utilizado es un extractor de aceite por arrastre con vapor FIGMAY de 5 litros que se observa en la Figura 2. El equipo consiste en un cilindro de vidrio acoplado a un condensador y un cuello florentino. El fondo del cilindro se llena con agua hasta cubrir una resistencia eléctrica que calienta el agua hasta el equilibrio térmico. Sobre esta parte se ubican dos recipientes de malla metálica que contienen la biomasa de la cual es arrastrado el aceite usando el vapor hasta el condensador donde cambia a la fase líquida y se recolecta en el cuello florentino que funciona como decantador para la separación del hidrolato y la esencia. Las variables analizadas y su efecto sobre los rendimientos fueron: el lavado de la cáscara, su secado, el retiro del albedo y el trozado o tamaño de cáscara para realizar la extracción del aceite.



Figura 2. Equipo de extracción FIGMAY con capacidad de 5 litros. (Fuente propia).

- Materia prima sin procesamiento previo.

Inicialmente, las cáscaras se utilizaron con las mismas características con que fueron suministradas por la Asociación (sin ningún tratamiento previo, Figura 3). Como consecuencia, dependiendo del tiempo transcurrido entre la obtención de las cáscaras y el proceso de extracción, parte de la materia prima podía llegar a estar en estado de podredumbre.



Figura 3. Materia prima sin modificaciones según es recibida de manos de la Asociación. (Fuente propia).

- Lavado de la cáscara.

Para evitar la posible reproducción de infecciones postcosecha, se realizaron extracciones con un previo lavado de las cáscaras con agua caliente (80-100°C) e hipoclorito de sodio 5%p/p en una proporción de 3mL de hipoclorito por cada 2 Litros de agua. El proceso se llevó a cabo en un recipiente que contiene la mezcla y las naranjas frescas y estas se pueden cubrir o no con un papel plástico como se muestra en la Figura 4. Todos los experimentos posteriores incluyeron el lavado previo de la cáscara.



Figura 4. Proceso de lavado de las cáscaras con agua caliente e hipoclorito de sodio. (Fuente propia).

- Secado de la cáscara

Dadas las condiciones particulares de la Asociación, para el proceso de secado no se evaluaron técnicas ni equipos de secado específicos sino estrategias que pudieran ser implementadas para los procesos de secado que conoce y utiliza comúnmente la Asociación con otros productos o proceso agrícolas, esto es, secado directo al sol o uso de marquesinas. Se evaluaron dos formas de secar la biomasa: en interior (Figura 5) y en la intemperie usando una cubierta plástica translúcida (Figura 6). En ambos casos, analizando el efecto de la presencia del albedo, la distribución de las cáscaras sobre la superficie y el tiempo de secado



Figura 5. Proceso de secado en interior. (Fuente propia).



Figura 6. Proceso de secado en intemperie. (Fuente propia).

- Presencia de albedo.

Con el propósito de evaluar la relevancia la concentración de aceite en el albedo, tabiques, semillas y endocarpo residual, para algunos experimentos se fueron removidas dichas partes del cítrico, realizando así la extracción únicamente con el flavedo. La apariencia de las cáscaras procesadas es presentada en la Figura 7.



Figura 7. Cáscaras de naranja sin albedo, semillas y tabiques. (Fuente propia).

- Trozado de la cáscara.

Según la teoría, partes de cáscara más pequeñas, tendrán mayor contacto con el vapor y producirán un mejor arrastre, por lo cual se esperan mayores rendimientos; no obstante, dependiendo del equipo de extracción, el factor de empaquetamiento y/o la caída de presión pueden llegar a ocasionar efectos inversos. Para evaluar el efecto del trozado, se realizaron diferentes experimentos utilizando cáscaras de naranja partidas en 2, 4, 8 y 16 partes iguales

(conservando los procedimientos previos de lavado y secado similares para todas las muestras).

Pruebas a escala piloto

El equipo de extracción de aceites esenciales a escala piloto, mostrado en la Figura 8, consiste en una caldera a gas que alimenta vapor a un alambique donde se dispone la biomasa sobre una malla. El vapor fluye a través de la biomasa arrastrando el aceite hasta el condensador que opera con agua a temperatura ambiente. El producto se obtiene por el fondo del condensador en un erlenmeyer. El aceite se obtiene por decantación de las fases.



Figura 8. Extractor de esencias a escala piloto ubicado en la Secretaría de Agricultura del municipio de Girardota, Antioquia. (Fuente propia).

- Experimento 1.

Inicialmente se realizó un arrastre en vacío para eliminar restos de componentes de otras plantas de extracciones anteriores. Las condiciones para el arrastre utilizadas por los operarios son 50psi y 100°C.

Con base en las condiciones de operación utilizadas comúnmente por la Asociación, fueron definidos 60psi y 100°C como las condiciones de operación para la extracción de esencia de naranja. De acuerdo con los resultados de los procedimientos definidos previamente, se garantizó que la biomasa contenía bajos porcentajes de humedad, no tenía presencia de podredumbre u hongos y cada naranja se encontraba fraccionada a la mitad.

El proceso se mantuvo hasta no observar cambios significativos en la cantidad de aceite recolectada. Finalmente, se registró el tiempo de operación y se calcularon los rendimientos con base al volumen medido.

- Experimento 2.

Se repiten las condiciones para el arrastre utilizadas en el Experimento 1. Las diferencias fueron la presión de operación (70psi) y un mayor contenido de humedad en las cáscaras.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Pruebas a escala laboratorio

- Factor de empaquetamiento

El mejor resultado fue obtenido por una prueba donde cada cáscara de naranja estaba dividida en 16 partes iguales con una humedad del 5.6% que generó un rendimiento del 88.018%. Si bien es cierto que un mayor fraccionamiento permite una mayor área de contacto entre la dos fases, debe tenerse en cuenta que el vapor puede presentar canalizaciones si el lecho compuesto por biomasa es muy compacto, es decir, al no haber espacios libres para el flujo de vapor entre las partes de cáscara, el vapor fluye a través de los espacios libres con la pared del recipiente, no rompe las glándulas odoríferas y no tiene la capacidad suficiente para arrastrar el poco aceite para su recolección, de forma que los rendimientos se ven afectados negativamente. Lo anterior dificulta la reproducibilidad de los resultados ya que en los equipos utilizados no es posible controlar la distribución del flujo de vapor través del lecho. Esto se demuestra en la Figura 9 donde las demás pruebas con fraccionamiento en 16 partes implicaron resultados sustancialmente menores respecto al rendimiento del 88%. Adicionalmente, el fraccionamiento de la cáscara en más de 2 partes no es un método práctico que pueda ser llevado a una planta piloto pues demanda una alta inversión de tiempo para los productores. Por su parte, las discrepancias entre los resultados en ensayos realizados para cáscaras partidas en 8 y 16 partes recaen en el factor de empaquetamiento. A menor tamaño, mayor es la posibilidad de tener cáscaras apiladas de tal forma que los espacios de flujo de vapor se vean reducidos.

La incertidumbre en los resultados obtenidos se ve igualmente reflejada en el fraccionamiento de una naranja en 8 partes. Para este caso en particular, las muestras de los ensayos 1 al 5 contaban con humedades similares (Aproximadamente 11-14%) y sus resultados son comparables con tener una naranja dividida en 2 partes de forma que se vuelve injustificable fraccionar la cáscara para la extracción. Análogamente, los resultados obtenidos por el fraccionamiento en 4 partes son equiparables y, ligeramente menores, a los presentados con el fraccionamiento en 8 y 2 partes.

Una de las posibles causas para los altos rendimientos del fraccionamiento en 2 partes puede entenderse desde la porosidad del lecho que deja los espacios vacíos suficientes para la

interacción del vapor con las glándulas odoríferas de la cáscara y así, como consecuencia, se obtiene un tamaño de cáscara óptimo y práctico dentro de las variabilidades del sistema.

RENDIMIENTO OBTENIDO CON DIFERENTES FRACCIONAMIENTOS DE CÁSCARA

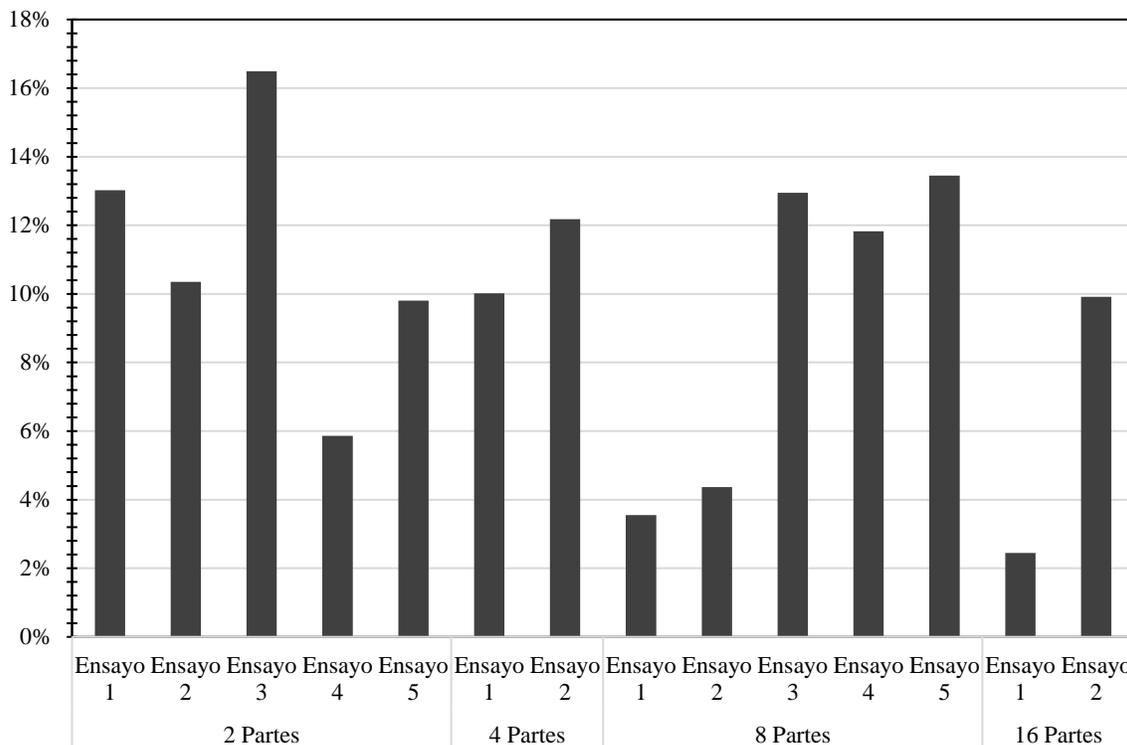


Figura 9. Porcentajes de rendimiento obtenidos con diferentes fraccionamientos de cáscara. (Fuente propia).

- Humedad de la biomasa

La Figura 10 evidencia que existe un mayor rendimiento en la producción del aceite al disminuir la humedad de la cáscara. La explicación para esta tendencia puede ser una mayor concentración del aceite en la cáscara debido al secado de manera que, el calor entregado por el vapor se va a enfocar en romper directamente las glándulas odoríferas en vez de evaporar los líquidos que se encuentren superficialmente como agua del lavado o la solución acuosa de metabolitos propia de la cáscara.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, se recomienda entonces utilizar cáscaras cuya humedad se encuentre entre el 7 y 15% para tener un proceso con mayor rendimiento y eficiencia energética. Debido a que los tiempos de secado son relativos a las condiciones climáticas, la determinación de este rango del porcentaje de humedad se puede dar de forma cualitativa según características descritas en el Manual de Producción de Aceite de Naranja para la Asociación Del Hatos Aromas y Sabores (Página 20). Alternativamente y en otros contextos, pueden considerarse técnicas de secado alternativas (como hornos o túnel de secado) para garantizar la cantidad de humedad deseada antes de iniciar los procesos de extracción.

VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO CON EL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LA CÁSCARA

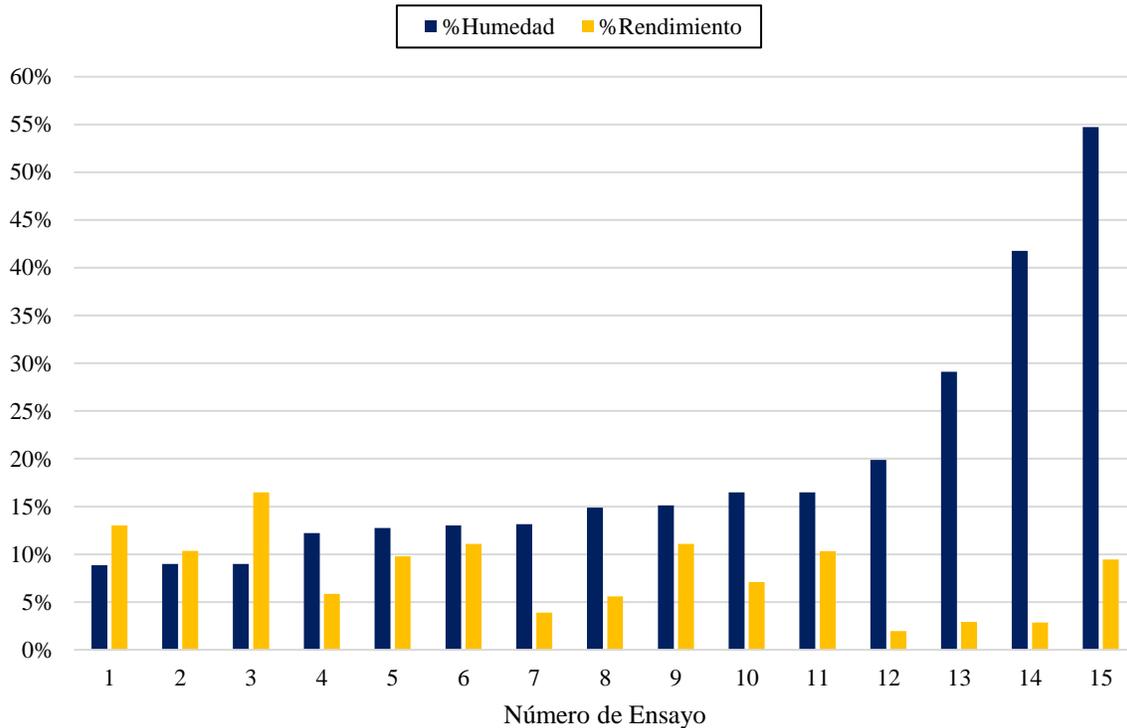


Figura 10. Porcentajes de rendimiento obtenidos para cáscaras de naranja partidas en 2 con diferentes porcentajes de humedad (Fuente propia).

- Lavado y Grado de descomposición.

El almacenamiento de las cáscaras en bolsas durante tiempos prolongados (en el caso de la Asociación, 2 o 3 días que corresponden al período transcurrido entre las ventas de jugos que se dan principalmente en fines de semana y la disponibilidad de los campesinos para dedicarse a la tarea de la extracción de aceites) es un procedimiento inviable debido a que las altas humedades inician procesos de podredumbre y fermentación que provocan malos olores e infecciones que se propagan rápidamente entre las naranjas. Como solución a este problema, fue necesaria la búsqueda de una nueva forma de almacenamiento: extender todas las cáscaras sobre una superficie donde pueda recibir luz solar y separar cada cascarón de los demás (aprox. a una distancia de 1cm) para evitar contaminación.

Se observó también que, el lavado realizado de forma previa a la extracción del jugo no es suficiente, pues se pueden generar infecciones provenientes del medio exterior durante el proceso de secado, por tanto, es importante inhibir el posible crecimiento de microorganismos a través de lavados de la cáscara (después de la extracción del zumo) con inmersión en agua caliente (85-100°C) durante 5 minutos. El uso de hipoclorito de sodio no afecta el rendimiento, sin embargo, dependiendo del destino final de los aceites extraídos, puede ser conveniente evitarlo con el fin de obtener un producto (aceite de naranja) más bioseguro.

Los rendimientos de cáscaras con podredumbre y cáscaras limpias no varían significativamente, sin embargo, la calidad del aceite se ve afectada de manera negativa en sus propiedades organolépticas al presentar eventualmente olores desagradable.



Figura 11. Infecciones fúngicas desarrolladas sobre cáscaras de naranja. (Fuente propia).

- Presencia de albedo

La Tabla 3 muestra una gran disminución del rendimiento cuando no hay presencia de albedo en comparación con muestras limpias y completas que tengan el mismo porcentaje de humedad. Esto es porque, al quitar esta parte del fruto, se desecha el aceite presente en albedo, semillas y zumo presente de forma residual que, si bien, no están en la misma proporción en la cáscara, pueden aportar de forma significativa a la cantidad de aceite producido para el método de arrastre con vapor.

Un método que extrae aceite casi de manera exclusiva del flavedo es el prensado en frío. Este, en relación al método de arrastre con vapor, proporciona menores rendimientos.

Tabla 3. Resultados de rendimiento para cáscaras con y sin presencia de albedo. (Fuente propia).

Albedo	%Humedad	%Rendimiento
No	29,10%	2,9124%
No	13,17%	3,9046%
Si	13,01%	11,0886%
Si	12,75%	9,8043%

Pruebas a escala piloto

- Experimento 1

Las condiciones de operación y resultados del proceso fueron:

- Presión: 60 psi.

- Temperatura: 100°C.
- Biomasa: 21 kg.
- Humedad aproximada: 12-15%.
- Tiempo de operación: 1.5h.
- Volumen de aceite obtenido: 30mL.
- Volumen de hidrolato obtenido: 10L.
- Rendimiento: 12.143%.
- Características organolépticas: Líquido de color amarillo pálido, translúcido de olor agradable.

- Experimento 2

Las condiciones de operación y resultados del proceso fueron:

- Presión: 70 psi.
- Temperatura: 100°C.
- Biomasa: 21 kg.
- Humedad aproximada: 12-27%.
- Tiempo de operación: 3h.
- Volumen de aceite obtenido: 30mL.
- Volumen de hidrolato obtenido: 13L.
- Rendimiento: 12.143%.
- Características organolépticas: Líquido de color amarillo pálido, translúcido de olor agradable.

En las pruebas a escala piloto, el rendimiento se mantuvo constante al haber obtenido la misma cantidad de aceite de la misma cantidad de materia prima. Sin embargo, el tiempo de extracción se vio afectado en el Experimento 2 al operar con una humedad de las cáscaras superior y por fuera del rango indicado por los resultados de la escala laboratorio. No se detectó un efecto significativo en la diferencia de la presión de operación, salvo la mayor recolección de hidrolato.

El hidrolato de la cáscara de naranja no cuenta con olores fuertes y prolongados que generen un alto valor agregado a comparación de otras plantas aromáticas. Por tanto, no es deseable un mayor consumo energético y un mayor tiempo de operación para aumentar el volumen de hidrolato producido.

Una extracción dos veces más extensa aún operando a mayor presión prueba la importancia del secado en el pretratamiento de la cáscara y el efecto con el que inciden los factores sobre el escalamiento del proceso. Por consiguiente, se define como altamente necesario operar con humedades de la cáscara por debajo del 15% para tener un proceso energéticamente viable.

Por otra parte, el rendimiento obtenido en el Experimento 1 se encuentra dentro de los rendimientos obtenidos durante los ensayos a escala laboratorio para naranjas divididas en 2 partes con humedades entre el 10-15%.

Manual de Producción de Aceite de Naranja para la Asociación Del Hatos Aromas y Sabores

MANUAL DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE NARANJA PARA LA ASOCIACIÓN DEL HATO AROMAS Y SABORES

Como producto de esta investigación y enmarcado en el contexto de compromiso social, así como de transferencia y divulgación de conocimiento, se elaboró y presentó el siguiente manual con instrucciones paso a paso fácilmente aplicables por el personal Del Hato Aromas y Sabores y la marca Del Campo de la Alcaldía de Girardota. Adicionalmente, se les brindó asesoría e indicaciones directas en pro de facilitar la eventual incorporación de la extracción de aceite de naranja dentro de sus actividades económicas, haciendo uso del residuo generado en la producción y comercialización de jugo de naranja que realizan normalmente.

A continuación, se presentan los pasos para la producción de aceite a partir de cáscaras de naranjas:

Previo al proyecto:

Disponer de un espacio entre 6 a 10m² en la intemperie y construir una estructura alta sobre la que se disponga una cubierta plástica impermeable y traslúcida. Bajo esa estructura, poner una superficie metálica o plástica con patas sobre la que se pondrán las cáscaras para el proceso de secado.

Pre-tratamiento:

1. El mismo día de la venta de jugo de naranja en los mercados o eventos en que participe la Asociación Del Hato, recolectar en bolsas las cáscaras que desecha el extractor de jugo.
2. Llevar los más pronto posible las cáscaras al lugar donde serán tratadas. No dejar las cáscaras de naranja acumuladas por más de 6 horas dentro de la bolsa. No es necesario partir (trozar) las cáscaras ni retirarles el albedo.
3. Incorporar las cáscaras en recipientes. Por cada galón de cáscaras (1 galón=4Litros), utilizar 400mL de agua caliente. La temperatura del agua debe estar mínimo entre 80-100°C. No hay inconveniente si eventualmente se encuentra a temperatura de ebullición. Dejar reposar 7-10 minutos.
Nota: Una bolsa de basura equivale a 5galones de residuos de cáscara. Por tanto, para cada bolsa de basura, usar 2 litros de agua. Esos dos litros de agua pueden ser reutilizados mientras la temperatura esté cerca de los 80°C.
4. Después de pasado el tiempo, sacar cada una de las cáscaras y disponerlas sobre la superficie construida. Las cáscaras deben estar colocadas con la parte cóncava hacia arriba como muestra la Figura 12. Las cáscaras deben estar separadas entre ellas 0.5-1cm aproximadamente.



Figura 12. Proceso de secado de las cáscaras de naranja. (Fuente propia).

5. El proceso de secado termina cuando la cáscara esté completamente seca y rígida. Una forma de probar que se llega a la humedad deseada (7-12%) es que, al doblar la cáscara, esta se quiebre o que no sea posible doblarla. El tiempo de secado puede variar entre 2 a 3 semanas según las condiciones climáticas. Pueden llegar a notarse quemaduras en el albedo que no van a afectar el proceso de extracción.
6. Cuando se cumpla la humedad deseada, recolectar las cáscaras.

Operación:

1. Realizar un batch (lote) de 45 minutos aproximadamente a 50psi y 100°C con el alambique vacío para limpiar los residuos de extracciones anteriores con plantas diferentes.
2. Cuando acabe el arrastre, cerrar las válvulas de la caldera y el alambique. Llevar la presión de la caldera a 60 psi y mantener esta presión durante todo el tiempo de extracción.
3. Antes de llegar a los 60psi, abrir el alambique y dispersar las cáscaras secas en su interior. Cerrar el alambique bien sellado con el fin de evitar fugas.
4. Abrir la válvula de la caldera y llevar la temperatura del alambique a 100°C.
5. Mantener el proceso de extracción hasta que no salga aceite o hasta que el hidrolato sea traslúcido (entre 1 y 2 horas).
6. Separar cuidadosamente la esencia del hidrolato, es decir, almacenar en recipientes diferentes la fase acuosa de la fase oleosa del extracto.
7. Utilizar las cáscaras de desecho (material sólido residual del alambique) en compostaje o combustión.

Almacenamiento y caracterización:

Almacenar el aceite esencial de naranja en recipientes de vidrio ámbar limpios lejos de fuentes de calor (preferiblemente a bajas temperaturas) y sin contacto con la luz.

Se recomienda tener una indicación de la calidad del aceite producido con el cálculo de la densidad a través del uso de un picnómetro que consiste en un recipiente pequeño de volumen definido (V) donde se vierte una pequeña cantidad de aceite. El picnómetro debe ser pesado vacío ($m_{vacío}$) y lleno de la sustancia (m_{lleno}). La densidad del aceite será:

$$\rho = \frac{m_{lleno} - m_{vacío}}{V}$$

El valor calculado debe estar dentro del rango de las densidades teóricas (0.85-0.842 g/mL). Un valor mayor a dicho rango puede indicar la presencia de agua en el aceite por lo que será necesario volver a separar la mezcla.

Si la Asociación desea tener una evaluación detallada de la composición del aceite, puede adquirir los servicios de un laboratorio químico analítico para la evaluación del grado de acidez o un análisis cromatográfico (HPLC para furocumarinas o cromatografía gaseosa para obtener el perfil del aceite). Sin embargo, estos servicios pueden ser costosos y se recomiendan en caso de pasar por un proceso de acreditación en salud del ICONTEC que avale la comercialización del aceite en productos cosméticos o alimenticios como saborizante natural o fragancia en cremas corporales.

6. CONCLUSIONES

El método de destilación por arrastre por vapor es indicado para la extracción de aceite esencial de naranja cuando las humedades son muy bajas en la búsqueda de un proceso eficiente y de alto rendimiento. Cabe destacar que este método puede no generar las propiedades organolépticas deseadas a nivel comercial, sin embargo, es un buen mecanismo para generar un valor agregado sobre los residuos orgánicos de la Asociación.

La variabilidad en los resultados obtenidos se debe al factor de empaquetamiento. En otras palabras, el rendimiento se puede ver afectado por la porosidad del lecho, sin embargo, operar con fracciones de cáscara más grandes de muy baja humedad aseguran resultados más consistentes en comparación con resultados generados por fracciones más pequeñas.

A lo largo de este proyecto fue posible llevar a cabo el escalamiento del proceso de extracción con medidas prácticas que disminuyen la labor humana. Se recomienda el uso de un picnómetro para verificar la densidad del aceite respecto a la teórica como una estimación de la calidad y bajo contenido de agua.

Adicional al beneficio monetario que la Asociación puede obtener a través de la comercialización del aceite de naranja, el proyecto se presenta como una alternativa para el aprovechamiento de desechos orgánicos de cáscaras de naranja y otros cítricos (como limón o mandarina), cambiando el panorama actualmente existente respecto a la única disposición de este tipo de desechos en procesos de compostaje. De igual forma, se espera que este trabajo ayude a alcanzar un cambio en el pensamiento colectivo respecto a la reutilización de residuos orgánicos e inorgánicos con proyectos que aumenten la calidad de vida de las comunidades.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduanas México. (02 de Julio de 2007). *33.01 ACEITES ESENCIALES*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2019, de http://www.aduanas-mexico.com.mx/cgi-bin/ctarnet/notas_ex/not_3301.html
- Alcaldía de Girardota. (Enero de 2019). *Girardota ¡Unidos Hacemos Más!* Obtenido de Mi Municipio: <http://www.girardota.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Presentacion.aspx>
- Antioquia, C. d. (s.f.). *Informe de Estructuración Cadenas Productivas*. Obtenido de <https://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2016/competitividad/Informe%20Iniciativa%20Empresarial%20de%20C%C3%ADtricos.pdf>
- Cámara de Comercio de Antioquia. (2010). *Informe de la Cadena de Cítricos de Antioquia*. Obtenido de https://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Publicaciones%20regionales/10%20Citricos_Oct19.pdf
- Cerón-Salazar, I., & Cardona Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65-86.
- Comité para la Protección de la Salud de los Consumidores (CD-P-SC). (Octubre de 2018). *Guía sobre aceites esenciales en productos cosméticos*. (G. d. España, Ed.) Recuperado el 23 de Septiembre de 2019, de Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios: https://www.aemps.gob.es/publicaciones/publica/docs/Guia_Aceites_Esenciales.pdf
- Heath, H. B. (1981). *Source Book of Flavors* (Primera ed.). Amsterdam: Springer Netherlands.
- Henan Olten Environmental Sci-Tech Co., Ltd. (Septiembre de 2019). *Orange peel essential oil extraction machine*. Obtenido de Alibaba: https://www.alibaba.com/product-detail/orange-peel-essential-oil-extraction-machine_60796816932.html?spm=a2700.7724857.normalList.38.73f33eb9TGBxbZ
- Lugo Mancilla, L., Yañéz Rueda, X., & Parada Parada, D. (2007). Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca (Norte de Santander, Colombia). *BISTUA: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1), 3-8.
- Montoya Cadavid, G. (2010). *Aceites Esenciales Una Alternativa de Diversificación para el Eje Cafetero*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Revilla Fuentes, J. P., & Rivera Guillen, L. E. (2014). *Evaluación de la extracción por arrastre con vapor del aceite esencial de la cáscara de naranja tipo valenciana del sur de Perú*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Sánchez, M. (2002). Terpenación de aceites esenciales de cítricos. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*(332), 111-122.

Stashenko, E. (2009). *Aceites Esenciales* (Primera ed.). Bucaramanga, Santander: CENIVAM.

Stashenko, E., & Martínez, J. (2012). *Plantas aromáticas y aceites esenciales: estudio y aplicaciones* (Primera ed.). Bucaramanga: CEVINAM.

Técnico agrícola. (19 de Junio de 2012). *www.tecnicoagricola.es*. (ALTERNARIA CITRI)
Recuperado el 25 de Agosto de 2019, de
<http://www.tecnicoagricola.es/etiqueta/alternaria-citri/>