



Informe de Práctica Profesional

Diseño de proceso de extracción de aceites esenciales desde plantas de la
comunidad Aymara de Tacora

Autor: José Pablo Reyes
Profesora: María Elena Lienqueo
Fecha de entrega: 30 de Marzo de 2022

Resumen

El objetivo general de este informe es realizar un levantamiento de información de las plantas humatola, chachacoma y sipotola, para diseñar un proceso de extracción de aceites esenciales de ellas, que será implementado por Lidia Villalobos, mujer perteneciente a una comunidad aymara de la localidad de Tacora, ubicada en la comuna de General Lagos, Región de Arica y Parinacota. Para lograr este objetivo, se plantean como objetivos específicos: realizar un acercamiento con la comunidad, de forma de comprender sus dinámicas internas y levantar sus saberes respecto a las plantas que serán estudiadas; recolectar, analizar y evaluar los principios activos que contienen los aceites; y sistematizar y presentar los resultados a las integrantes de la organización.

Se pudo completar el objetivo general, pues fue posible determinar que, mientras que las tres plantas presentan una gran habilidad antioxidante, la chachacoma destaca por su habilidad antibacteriana, la humatola por ser un potente antiinflamatorio y la sipotola por tener una gran actividad analgésica. También se pudo contrastar la información bibliográfica con lo reportado por Lidia como usos ancestrales, los cuales coincidían en gran medida. Además, se diseñó un proceso de extracción de aceites esenciales, considerando tres alternativas; de ellas, se prefirió para su futura implementación la más sencilla, que incluía liofilización mediante secado en altura, molienda de las hojas de la planta y la posterior extracción mediante hidrodestilación, la cual puede ser llevada a cabo en un equipo construido de forma artesanal y segura.

Además, se cumplieron dos de los tres objetivos específicos, dado que, se llevó a cabo un viaje a Tacora, donde se logró realizar un acercamiento con la comunidad levantando sus saberes respecto a las plantas que estudiadas, y también se les entregó un documento que sistematizaba y presentaba los resultados de la investigación. Sin embargo, por falta de tiempo, no fue posible analizar y evaluar los principios activos de los aceites esenciales, sino que sólo se logró llegar a su etapa de producción. De ello, destaca el alto rendimiento obtenido en el caso de ambos aceites, comparado a lo reportado en la fuente bibliográfica consultada, lo que podría deberse a que para este estudio, se consideró la masa solamente de las hojas molidas, y no de la muestra completa recolectada.

Índice de Contenidos

1. Introducción	1
1.1. Marco Teórico	1
1.1.1. Aceites esenciales	1
1.1.2. Liofilización	2
1.1.3. Homogeneización	2
1.1.4. Hidrodestilación	2
1.2. Objetivos	3
2. Metodología	3
3. Resultados	4
3.1. Chachacoma	4
3.2. Humatola	5
3.3. Sipotola	6
3.4. Diseño del proceso de extracción de aceites esenciales	7
3.4.1. Primera alternativa	8
3.4.2. Segunda alternativa	8
3.4.3. Tercera alternativa	8
3.5. Evaluación de la producción de aceites esenciales	9
4. Discusión	10
5. Conclusión	11
Referencias	12
Anexo A. Compuestos químicos de interés	14
A.1. Terpenoides	14
A.2. Polifenoles	14
A.3. Flavonoides	14
A.4. Cumarinas	14
Anexo B. Protocolo de extracción de aceites esenciales en laboratorio	15
Anexo C. Proceso inflamatorio inhibido por humatola	15
Anexo D. Inhibición del crecimiento de hongos por sipotola	16
Anexo E. Diseño del proceso	17
E.1. Diagrama de bloques	17
E.2. Primera alternativa	17
E.3. Tercera alternativa	19

Índice de Figuras

1.	Ejemplo de sistema construido para hidrodestilación de plantas para obtención de aceites esenciales. A la derecha se observa olla a presión y a la izquierda contenedor con serpentín. [17].	9
E.1.	Diagrama de bloques del proceso.	17
E.2.	Liofilizadores Labconco FreeZone Legacy de 2.5 Litros[21].	18
E.3.	Molino de discos [22].	18
E.4.	Kit de hidrodestilación de laboratorio para elaboración de aceites esenciales [18].	18

Índice de Tablas

1.	Resultados de extracción de aceites esenciales de sipotola y chachacoma. . .	9
----	--	---

1. Introducción

Durante el último tiempo se ha puesto en boga la utilización de los llamados aceites esenciales, obtenidos a partir de diversas plantas como lavanda, naranja, limón, entre muchos otros, con fines también muy diversos: desde su uso en aromaterapia para la relajación, hasta su aplicación como roll-on para combatir el dolor de cabeza. Surge así una oportunidad de explotar los principios activos de otras plantas, de forma de generar aceites esenciales útiles en nuevas áreas.

Históricamente se identifica a los pueblos indígenas por su conexión con la naturaleza, demostrando cómo han sido capaces de conocer su entorno natural, traspasando por décadas los saberes ancestrales respecto a, por ejemplo, los usos según las propiedades de la vegetación en la que se encuentran insertos.

Bajo este contexto se enmarca el desarrollo de este trabajo, que busca apoyar la producción de aceites esenciales a partir de tres plantas nativas del altiplano de la Región de Arica y Parinacota (Chachacoma, Humatola y Sipotola), por parte de la señora Lidia Villalobos Valdés, mujer perteneciente a la comunidad aymara de Tacora, ubicada en la comuna de General Lagos de la mencionada región.

Si bien, como se mencionó anteriormente, estas plantas han sido utilizadas hasta la actualidad con otros fines, resulta relevante aportar en este ámbito, de forma de que la comunidad pueda ampliar sus actividades productivas y económicas dentro de la dinámica comercial actual.

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Aceites esenciales

Se trata de mezclas homogéneas de compuestos químicos orgánicos, provenientes de la familia de los terpenoides (ver Anexo A para detalles sobre ellos), cuya propiedad común es poseer aromas agradables y perceptibles al ser humano. Se caracterizan por ser, bajo condiciones ambientales, líquidos menos densos que el agua, pero más viscosos que ella, inflamables, no tóxicos e inoocuos a bajas concentraciones, solubles en solventes orgánicos y casi inmiscibles en solventes polares como el agua. Además, son susceptibles de ser degradados en presencia de luz solar, aire, calor, y soluciones ácidas y alcalinas fuertes [1].

De forma natural, el aceite esencial se ubica en los tricomas glandulares superficiales de las flores y hojas de las plantas estudiadas, los cuales, al entrar en contacto con el vapor saturado, liberan el aceite esencial contenido mediante su ruptura [1].

Estos compuestos son ampliamente utilizados en la industria alimentaria, como condimentos y saborizantes; y en las industrias farmacéutica, cosmética y tabacalera, como

perfumes y esencias. Además, se ha demostrado que algunos aceites poseen actividad antibacteriana, antifúngica, antiviral, insecticida y antioxidante [2].

Desde el punto de vista de su producción, se debe mencionar que, en general, el rendimiento de la extracción de aceites esenciales es bajo, variando entre 0,01 % y 2,00 %. Esta variación es influenciada por factores tales como el origen, especie y órgano de la planta, condiciones climáticas y de crecimiento (temperatura, fertilizantes, tierra de cultivo), así como el método de extracción y la forma de almacenamiento del aceite [2].

1.1.2. Liofilización

La liofilización es el proceso de eliminación del agua de un producto mediante la congelación y posterior sublimación del hielo. Esta última se refiere al fenómeno físico por el cual el hielo sólido se convierte directamente en vapor, sin que pase por el estado líquido. La eliminación del agua de los alimentos mediante este método protege el material contra la pérdida de componentes importantes y contra reacciones químicas asociadas a la pérdida o vaporización del agua en estado líquido [3].

1.1.3. Homogeneización

Se trata de una operación unitaria que busca, mediante tratamientos físicos o químicos, que la composición o la estructura de una sustancia o mezcla de sustancias (ya sea sólida, líquida o gaseosa) sea uniforme. En cuanto a elementos sólidos se refiere, suele ser utilizada para la reducción de su tamaño, de forma de obtener pequeñas partes de medidas casi idénticas, útiles en procesos específicos [4].

1.1.4. Hidrodestilación

El proceso de hidrodestilación es aquel utilizado para obtener el aceite esencial de una planta aromática, mediante el uso del vapor saturado a presión atmosférica. El equipo usado para llevar a cabo esta operación se denomina hidrodestilador; para iniciar un ciclo, la materia prima debe ser cargada, de manera que forme un lecho fijo compacto, encontrándose idealmente molida. Luego, el vapor de agua (que puede ser generado de forma local, remota o interna) es inyectado mediante un distribuidor interno, próximo a su base y con la presión suficiente para vencer la resistencia hidráulica del lecho. A medida que el vapor calienta el lecho, se libera el aceite esencial contenido, al tiempo que también es evaporado y, al ser soluble en el vapor de agua circundante, es arrastrado corriente arriba hasta el tope del hidrodestilador. La mezcla vapor saturado-aceite esencial fluye hacia un condensador, donde pasa al estado líquido mediante una reducción de la temperatura, obteniéndose una emulsión líquida inestable que es separada en un decantador dinámico o florentino, en el cual el aceite esencial se va acumulando mientras el agua es removida por un ramal lateral, de forma de favorecer la acumulación del aceite [1].

El agua mencionada que es removida se denomina hidrolato o agua floral, y posee una

pequeña concentración de los compuestos químicos solubles del aceite esencial, lo cual le otorga un aroma semejante al aceite obtenido. Cabe mencionar que, dependiendo de la forma en que se suministre el vapor al equipo, el agua floral podrá ser o no recirculada. Finalmente, el proceso termina cuando el volumen del aceite esencial acumulado en el florentino no varía con el tiempo [1].

1.2. Objetivos

El objetivo general de este informe es realizar un levantamiento de información de las plantas Humatola, Chachacoma y Sipotola, para diseñar un proceso de extracción de aceites esenciales de ellas, que será implementado por Lidia Villalobos.

Como objetivos específicos se plantea:

- Realizar un acercamiento con la comunidad, de forma de comprender sus dinámicas internas y levantar sus saberes respecto a las plantas que serán estudiadas.
- Recolectar, analizar y evaluar los principios activos que contienen los aceites.
- Sistematizar y presentar los resultados a las integrantes de la organización

2. Metodología

Para la recolección de información científica, se utilizaron diversas fuentes bibliográficas como libros, papers, entre otros, de forma de poder establecer a ciencia cierta la composición química y las funciones biológicas que cumplen los principios activos de las tres plantas estudiadas. De forma análoga, se recurrió a las mencionadas fuentes para el diseño del proceso de extracción de aceites esenciales.

Por otra parte, se realizó un viaje a la comunidad de Tacora, de forma de poder extraer mediante un relato hablado con Lidia Villalobos para qué y de qué forma son utilizadas las plantas en cuestión, así como para poder observar dónde se encuentran y obtener muestras de ellas para generar los respectivos aceites esenciales. Las muestras obtenidas fueron tanto de chachacoma como de sipotola, las que ya habían sido secadas de forma natural por Lidia. Estas muestras fueron traídas hasta la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas para ser sometidas a extracción de aceites esenciales, según se detalla en el protocolo del Anexo B.

3. Resultados

3.1. Chachacoma

La chachacoma, chachacoma del campo, chachacoma del cerro, tola o tola hembra, recibe el nombre científico de *Senecio nutans*, pero también puede ser identificada como *Senecio graveolens*. Esta planta se encuentra en la zona altiplánica de países sudamericanos como Chile, Argentina y Bolivia, generalmente a alturas superiores a los 3000 msnm. Suele ser utilizada por las comunidades indígenas de la zona para tratar el mal de altura, el cual suele venir acompañado de síntomas como dolor de cabeza, mareos, vómitos y fatiga [5], así como también para tratar enfermedades estomacales por sí solas. La forma más común de administrarla es utilizando sus hojas y flores como infusión o mate [6].

De acuerdo a lo conversado con Lidia, la chachacoma es utilizada dentro de su entorno para el dolor de cabeza, el estrés, la reducción de presión, el mal de altura, y puede ser encontrada en los cerros del altiplano (no se desarrolla en la misma altura que las demás plantas estudiadas).

En cuanto a su composición química, se ha determinado que *S. nutans* posee una concentración de lípidos del 14,31 % (superior a otras plantas medicinales) y de 57,09 % de carbohidratos; mientras que los principales elementos encontrados son potasio, calcio, magnesio, fósforo, sodio, manganeso, zinc, cobre y hierro [5]. Además, la chachacoma cuenta con un alto contenido de flavonoides, lo que le otorga una mayor cantidad de polifenoles que otras plantas presentes en el altiplano (para más información respecto a ambos grupos de moléculas ver Anexo A). Estos compuestos son aquellos que le confieren propiedades antioxidantes a las plantas, dada su capacidad de combatir radicales libres; dentro de aquellos identificados, destaca la presencia de escopoletina, una cumarina (grupo de flavonoides con un amplio rango de propiedades medicinales) que se caracteriza por sus propiedades vasodilatadoras, lo que explicaría la efectividad de *S. nutans* para tratar el mal de altura [5].

A partir del análisis del aceite esencial producido a partir de chachacoma proveniente de la Región de Arica y Parinacota, se determinó que sus componentes principales corresponden a 4-terpinenol (23,7%), metil cinamato (11,4%) y sabineno (10,3%) [2]; este último destaca por ser un monoterpeneo con propiedades antibacterianas. De hecho, se realizaron pruebas para medir la actividad antibiótica del aceite esencial de *S. graveolens* obtenido a partir de muestras del departamento de Ayacucho en Perú, las cuales lograron demostrar que este aceite es capaz de generar halos de inhibición en cultivos de cepas de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, cuando se encontraba en concentraciones del 100%, 90% y 80%. Así, queda en evidencia su potencialidad y posible uso en el tratamiento de enfermedades bacterianas [2].

También se ha estudiado la actividad antimicótica de esta planta, utilizando aceite esen-

cial preparado a partir de muestras de *S. graveolens* de la provincia de Jujuy, Argentina. Se determinó que este producto es activo contra el hongo *Candida albicans*, sin embargo, comparado con fármacos del mercado utilizados con la misma finalidad, se requieren concentraciones mucho mayores para lograr el mismo nivel de efectividad [7].

Si bien, se atribuye a los terpenoides la principal actividad antibacteriana, se debe tener en cuenta que químicamente el aceite esencial es una mezcla compleja de compuestos, por lo que el efecto antimicrobial observado en el aceite esencial de *S. graveolens*, probablemente sea resultado de la actividad de varios compuestos, o bien de la sinergia generada entre ellos. De hecho, esta complejidad en su composición química dificulta explicar con mayor certeza la actividad biológica del aceite esencial [2].

3.2. Humatola

Antes iniciar con la descripción, es necesario establecer que la investigación de ambos *tolares* resultó más compleja que aquella de Chachacoma, dado que existe un cruce constante entre las denominaciones utilizadas para las dos especies en cuestión; es decir, el nombre común con que se denomina a una especie puede variar profundamente dependiendo de la fuente que sea consultada. Ante esta problemática, se decidió utilizar como referencia lo establecido en "Ciencia Indígena de Los Andes del Norte de Chile" de Carolina Villagrán y Victoria Castro [8], donde se indica que la especie *Parastrephia lucida* es conocida, entre otros, como umat'ula, mientras que la especie *Parastrephia lepidophylla* es llamada, también entre otros nombres, siput'ola y siput'ula.

Así, se tiene que la *P. lucida* es un arbusto nativo comúnmente llamado humatola (o umatola), umat'ula, tola, tola amarga, tola de agua, entre otros [8], que crece en la precordillera y el altiplano del norte de Chile y Argentina [9]. Si bien ha sido usada en la medicina tradicional de los pueblos indígenas de la zona como un agente antiinflamatorio (para tratar dolores dentales y curar heridas, contusiones y apoyar en la mejora de luxaciones y fracturas óseas) [10], también se ha logrado demostrar que posee actividad acaricida, fungicida, bactericida y antioxidante [9].

Según lo hablado con Lidia, suelen utilizar humatola como agente antiinflamatorio, para el tratamiento de hematomas y heridas (aplicándola en forma de cataplasma). Se encuentra únicamente en las zonas aledañas a ríos y bofedales, dado que necesita de mayor humedad para mantenerse.

El análisis de un extracto en base a etanol de las partes aéreas de *P. lucida*, proveniente del lago Chungará (Región de Arica y Parinacota, Chile), determinó la presencia de una gran cantidad de compuestos fenólicos, incluyendo 18 flavonoides, 5 cumarinas y 5 terpenoides. De esta forma, queda en evidencia que esta planta es una fuente natural de antioxidantes, dada la gran cantidad de fenoles y alta actividad de barrido de radicales libres presentes; de hecho, se identificó el metabolito p-cumaroxiltremetona (derivado del ácido cumárico),

cuya capacidad antioxidante podría explicar en gran medida la del extracto completo [9]. En consecuencia, la humatola cuenta con un alto potencial de aplicación en la industria alimenticia y farmacéutica, para la preparación de suplementos alimenticios y alimentos saludables.

En cuanto a su capacidad antiinflamatoria, se estudió un extracto de etanol de las partes aéreas de humatola, obtenidas de la ciudad de Antofagasta de la Sierra, Argentina. A partir de él, se determinó la presencia de flavonoides como 5,4-dihidroxi-7-metoxiflavanona, apigenina y algunos de sus derivados, quercetina, eter metílico de luteolina, entre otros. Se ha investigado extensivamente el efecto de este grupo de moléculas sobre diversos procesos inflamatorios, demostrándose que son capaces de inhibir una serie de enzimas que activan el curso de dichos proceso (para más detalles sobre el proceso inflamatorio involucrado, ver Anexo C) [10].

En la actualidad, los principales tratamientos farmacológicos desarrollados para el control de la inflamación, dolor y fiebre, tienen que ver con la inhibición de COX. Sin embargo, se ha comprobado que el uso prolongado de estos medicamentos puede generar efectos secundarios severos, como hemorragias gastrointestinales [10], lo que, a priori, le otorgaría una ventaja a los principios activos de origen natural.

3.3. Sipotola

La sipotola, supu tula, k'jaña tola, k'juni k'jara, suke-yola, entre otras denominaciones [11], es el nombre que recibe este tolar cuyo nombre científico es (según se estableció en la sección anterior) *Parastrephia lepidophylla*. La especie crece en altitudes que se encuentran entre los 3850 y 5000 msnm y ocupa grandes extensiones de terreno dentro de su ecosistema, y suele ser utilizada por las comunidades indígenas como arbusto medicinal [12] para curar o prevenir diferentes enfermedades como resfriado, tos, mal de aire, problemas estomacales, fracturas y golpes [13].

En la comunidad de Lidia, la sipotola se utiliza principalmente para el tratamiento del resfriado y la fiebre, y en menor medida para el dolor de estómago; también le atribuyen propiedades relacionadas a la pérdida de peso. Además, nos indica que se encuentra en los lugares donde existe menos agua disponible, dada su reducida necesidad del recurso hídrico. Ella también destaca el hecho que, como consecuencia de esta característica, es posible encontrar esta planta “verde” durante todo el año; es decir, no llega a secarse producto de la ausencia de agua durante las épocas distintas al verano.

Se ha logrado determinar que *P. lepidophylla* cuenta con cromenos y benzofuranos, destacando la presencia dentro de este último grupo de tremetona y metoxitremetona, moléculas que han demostrado generar un efecto analgésico. Si bien, no fue posible determinar con exactitud el mecanismo molecular mediante el cual se gatilla la analgesia, se pudo inferir que existe una interacción de los mencionados derivados de tremetona a nivel de los

receptores opioides del sistema nervioso [11].

También se ha comprobado que los extractos de Sipotola poseen efectos antioxidantes considerablemente superiores a aquellos del Trolox¹, lo que se debería a su alto contenido de polifenoles [14]. Además de lo anterior, se ha demostrado que *P. lepidophylla* es capaz de inhibir la proliferación celular en un 19 %, en ensayos realizados en células CACO-2, otorgándole así un potencial anticancerígeno [9].

Junto con todo lo ya descrito, la sipotola tiene propiedades medicinales útiles para combatir bacterias y hongos; de hecho, se ha determinado que la producción de aceites esenciales mejora cuando la planta es recolectada en épocas lluviosas, dado que se ven potenciadas las mencionadas propiedades respecto a los resultados obtenidos mediante recolección en épocas secas [13].

La capacidad antifúngica se estudió con especial atención para su aplicación en la post-cosecha de cítricos, de forma de evitar su deterioro por infecciones causadas por hongos, las cuales suelen ser combatidas con antifúngicos químicos, reconocidos por su repercusión en el medioambiente y la salud de las personas. Así, se desarrolló un extracto etanólico de *P. lepidophylla* que fue aplicado tanto in vitro como in vivo en el hongo *Penicillium digitatum* (uno de los principales responsables de las infecciones descritas), a partir de lo cual se estableció sería útil aplicar alguna sustancia similar al extracto de *P. lepidophylla* como medida precautoria para controlar la podredumbre en los cítricos y, junto con ello, utilizar una alternativa más segura a los fungicidas sintéticos (para detalles sobre el mecanismo que permite frenar el desarrollo fúngico ver Anexo D) [15].

3.4. Diseño del proceso de extracción de aceites esenciales

A partir de la investigación realizada y de las conversaciones establecidas con Lidia Villalobos, se describirán tres diseños para el proceso en cuestión. El primero considera la utilización de equipos para cada operación unitaria, de forma de llevar a cabo un proceso eficiente y óptimo; el segundo caso incluye un único equipo principal de pequeña escala, lo que permitiría mantener la uniformidad del producto; mientras que el último caso considera el desarrollo del proceso de la forma más simple posible, sin la utilización de equipos específicamente diseñados para la operación unitaria que corresponda a cada caso.

De manera general, se tiene que según las fuentes consultadas [1] [2], el proceso convencional para la obtención de aceites esenciales consta de tres operaciones unitarias: secado, molienda e hidrodestilación (en el Anexo E.1 se presenta el diagrama de bloques del proceso). Dependiendo de la escala, las necesidades y el objetivo del proceso, puede variar la forma en que la materia prima es procesada previa a su destilación; especialmente

¹ Análogo de vitamina E utilizado como estándar en ensayos de actividad antioxidante [16]

en aquellas ocasiones en que la cantidad y escala es menor, se suelen secar al aire libre.

De lo anterior, es importante mencionar que, según lo indicado por Lidia, la comunidad lleva a cabo la primera parte del proceso secando de forma natural las hojas de las tres plantas estudiadas; sin embargo, estableció que esto resultaba efectivo para el producto final cuando era llevado a cabo en la misma localidad de Tacora, pues cuando las transportaba para hacerlo en Arica, las hojas de las plantas se secaban de forma distinta, quedando amarillas e inútiles para el proceso, ya que de acuerdo a sus conocimientos "pierden sus propiedades". En base a esto y teniendo en cuenta las diferentes condiciones de presión y temperatura existentes entre ambos lugares, se pudo inferir que el proceso de secado se trataba, en realidad, de una liofilización de la materia prima, lo que aportaría, además, a conservar con mayor seguridad las propiedades de cada planta.

3.4.1. Primera alternativa

Dado que la comunidad no busca producir grandes volúmenes de aceite esencial, se propone utilizar equipos de tipo *batch* a escala de laboratorio para llevar a cabo el proceso, contando con las tres operaciones unitarias mencionadas anteriormente. En el Anexo E.2 se presentan ejemplos de equipos para cada una de las etapas consideradas. Cabe agregar que, dependiendo del volumen de interés específico que se busque procesar y producir, se deberá escoger la capacidad de cada uno de los equipos presentados.

3.4.2. Segunda alternativa

Para simplificar la necesidad de equipos, se sugiere continuar con la liofilización natural que ha sido usada hasta ahora y, además, llevar a cabo la molienda de las hojas utilizando un artefacto más simple, como una licuadora o un mortero. Sin embargo, se sugiere mantener el uso de un hidroddestilador como el presentado en la Figura E.4 (Anexo E.2), de forma de desarrollar el proceso de forma segura, estable y eficiente.

3.4.3. Tercera alternativa

La última alternativa considera mantener las etapas de liofilización y molienda como fueron descritas en la subsección anterior, pero llevando a cabo la etapa de hidroddestilación utilizando un artefacto que puede ser construido por la misma comunidad, según se detalla a continuación.

El objetivo es lograr obtener un sistema similar al presentado en la Figura 1. Para ello, se debe contar con los materiales descritos en el Anexo E.3, además de seguir el procedimiento allí indicado.



Figura 1: Ejemplo de sistema construido para hidrodestilación de plantas para obtención de aceites esenciales. A la derecha se observa olla a presión y a la izquierda contenedor con serpentín. [17].

Es importante mencionar que el proceso se debe extender por el tiempo necesario para que se evapore prácticamente la totalidad del agua adicionada inicialmente. Para ello, se debe considerar que la producción de aceite esencial disminuye su velocidad a medida que transcurre el tiempo; es decir, se obtiene una menor cantidad de producto a medida que el tiempo del proceso aumenta [1].

También es relevante tener en cuenta que el producto que se obtendrá será una mezcla de agua floral (o hidrolato) y aceite esencial, y que, dadas sus diferencias de densidad, estos debieran separarse de forma espontánea tras unos segundos en el recipiente. Para obtener el aceite esencial, se recomienda extraer en primer lugar el hidrolato (que ocupará un mayor volumen) con una jeringa, el que luego puede ser guardado para su uso o desechado. Luego, utilizando la jeringa que cuenta con una aguja hipodérmica, retirar el aceite esencial que quedará en el recipiente, para luego depositarlo en un frasco de vidrio adecuado para su conservación [17].

3.5. Evaluación de la producción de aceites esenciales

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de la extracción de aceites esenciales de chachacoma y sipotola, llevada a cabo en los laboratorios de la FCFM.

Tabla 1: Resultados de extracción de aceites esenciales de sipotola y chachacoma.

Planta	Masa total [g]	Masa aceite esencial [g]	Rendimiento [-]
Sipotola	59,84	20,27	33,87 %
Chachacoma	88,35	21,15	23,94 %

4. Discusión

Los resultados obtenidos a partir de la investigación respecto a las propiedades de las tres plantas estudiadas coincidían en gran medida con los reportados como usos tradicionales por Lidia. Además, se destaca el hecho que fue posible determinar los principios activos que confieren dichas propiedades a cada una de las plantas estudiadas, estableciendo también una característica distintiva de cada una en particular.

La chachacoma destaca por su capacidad antibacteriana, la humatola por su potencial antiinflamatorio y la sipotola por su actividad analgésica, teniendo las tres potenciales aplicaciones tanto en alimentos como fármacos. Junto con las características nombradas, también destaca como propiedad común la capacidad antioxidante que poseen estas tres plantas, lo que también les otorga potencial como suplemento alimenticio.

En cuanto a las alternativas propuestas y habiendo observado la realidad y las dinámicas del entorno en el que se desenvuelve Lidia, resulta claro que la opción más viable en el corto plazo es la tercera alternativa, pues su implementación y manipulación es mucho más sencilla y de menor costo, comparado con las otras dos alternativas presentadas.

De todas formas, si una vez puesto en marcha el proceso se logra producir y comercializar de forma exitosa los aceites producidos, no se debiera descartar la segunda alternativa, puesto que el contar con un hidroddestilador propiamente tal facilita la producción y asegura una mayor uniformidad de los aceites. Además, existen equipos disponibles, similares al presentado en la Figura E.4, con precios que no superan los USD\$400 [18], pudiendo considerarse como una inversión a corto o mediano plazo, dentro de la totalidad del proyecto.

A pesar de lo anterior, se decidió presentar de igual manera la primera alternativa, con el fin de mostrar que el proceso podría llevarse a cabo con un nivel técnico más riguroso, pudiendo incluso escalar al nivel industrial. Sin embargo, se priorizan las alternativas siguientes entendiendo el contexto en el que este se enmarca y, además, por consenso con lo buscado por la misma Lidia.

Finalmente, respecto a los resultados de la extracción realizada, destacan los altos rendimientos obtenidos, comparados con aquellos valores esperados expuestos en el Marco Teórico del presente documento. Se asume que esta gran diferencia puede deberse a que la masa total inicial considerada de ambas plantas se trata de la planta una vez molida, y que en la fuente bibliográfica consultada toman en cuenta la masa de la muestra completa.

Esto es relevante dado que cuando ya se ha molido, se ha desechado gran parte de la muestra inicial, puesto que, como se presentó previamente, el aceite esencial se encuentra en los tricomas glandulares de las hojas de las plantas, por tanto, sus ramas no significan un aporte para la extracción del aceite.

5. Conclusión

A partir de lo presentado a lo largo de este informe, se pudo comprobar que fue posible cumplir con el objetivo general planteado, pues se realizó un levantamiento de información de las plantas humatola, chachacoma y sipotola, estableciendo sus principales propiedades y principios activos, y se diseñó un proceso simple de extracción de aceites esenciales de estas tres plantas.

Se estableció que la chachacoma es principalmente un agente antibacteriano, la humatola posee características antiinflamatorias y la sipotola tiene grandes capacidades analgésicas. Además, se diseñó un proceso de tres operaciones unitarias: liofilización (o secado natural en altura), molienda e hidrodestilación, detallando el paso a paso para poder construir el equipo para esta última operación, de forma sencilla y segura.

También se cumplieron dos de los tres objetivos específicos, dado que, gracias al viaje llevado a cabo, se logró realizar un acercamiento con la comunidad levantando sus saberes respecto a las plantas que estudiadas, y también se les entregó un documento que sistematizaba y presentaba los resultados de la investigación. Sin embargo, por falta de tiempo, no fue posible analizar y evaluar los principios activos de los aceites esenciales, sino que sólo se logró llegar a su etapa de producción.

A pesar del cumplimiento parcial del mencionado objetivo, destaca el rendimiento obtenido en el caso de ambos aceites, lo que se podría deber a que se utilizaron únicamente las hojas molidas de las plantas, en lugar de ocupar la muestra completa, como se asume que se hizo en la fuente bibliográfica consultada.

En el futuro, se espera poder comprobar que Lidia implemente el sistema propuesto y observar sus resultados, junto con poder analizar y evaluar en el laboratorio las propiedades de las plantas estudiadas.

Referencias

- [1] CERPA, M. 2007. HIDRODESTILACION DE ACEITES ESENCIALES: MODELADO Y CARACTERIZACION. Memoria para optar al grado de Doctor en Ingeniería Química. Valladolid, Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias. 304 p.
- [2] OCHOA, K., et al. 2012. Extracción, caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de *Senecio graveolens* Wedd (Wiskataya). *Scientia Agropecuaria* 3(2012): 291-302.
- [3] MELLOR, J., BELL, G. 2003. FREEZE-DRYING | The Basic Process. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* 2° ed.
- [4] LUQUEDECASTRO, M., PRIEGOCAPOTE, F. 2007. Ultrasound-assisted preparation of liquid samples. *Talanta*, 72(2), 321–334. doi:10.1016/j.talanta.2006.11.013
- [5] PARRA, C., et al. 2017. Nutritional composition, antioxidant activity and isolation of scopoletin from *Senecio nutans*: support of ancestral and new uses. *Natural Product Research* 32(6): 719-722. DOI: 10.1080/14786419.2017.1335726
- [6] APUMAYTA, J. 2015. Caracterización de los componentes bioactivos y la aceptabilidad organoléptica del filtrante a base de Chachacoma (*Senecio graveolens*). Memoria para optar al grado de Ingeniero Agroindustrial. Acobamba, Universidad de Huancavelica, Facultad de Ciencias Agrarias. 94 p.
- [7] PEREZ, C., AGNESE, M. y CABRERA, J. 1998. The essential oil of *Senecio graveolens* (Compositae): chemical composition and antimicrobial activity tests. *Journal of Ethnopharmacology* 66 (1999): 91–96.
- [8] VILLAGRAN, C. y CASTRO, V. 2003. *Ciencia Indígena de Los Andes del Norte de Chile*. 1° ed. Santiago, Editorial Universitaria. 357 p.
- [9] ECHIBURU-CHAU, C., et al. 2017. High resolution UHPLC-MS characterization and isolation of main compounds from the antioxidant medicinal plant *Parastrephia lucida* (Meyen). *Saudi Pharmaceutical Journal*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsps.2017.03.001>
- [10] D'ALMEIDA, R. E., et al. 2013. Inhibition of arachidonic acid metabolism by the Andean crude drug *Parastrephia lucida* (Meyen) Cabrera. *Journal of Ethnopharmacology* 150(3): 1080–1086. DOI: 10.1016/j.jep.2013.10.014
- [11] BENITES, J., et al. 2012. Evaluation of Analgesic Activities of Tremetone Derivatives Isolated from the Chilean Altiplano Medicine *Parastrephia lepidophylla*. *Natural Product Communications* 7(5). doi.org/10.1177%2F1934578X1200700517
- [12] HUANCA, M. 2016. MULTIPLICACIÓN MASIVA Y CRECIMIENTO ACELERADO DE SUP'U T'ULA (*Parastrephia lepidophylla* Cabrera) CON FINES DE REPOBLAMIENTO EN ZONAS PRODUCTORAS DE QUINUA. Memoria para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. La Paz, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 106 p.
- [13] CONDORI, R. 2017. CURTICIÓN VEGETAL DE PIEL DE ALPACA (*Vicugna pacos*

- Wedd) CON EXTRACTO TANICO DE TOLA (*Parastrephia lepidophylla*) Y SÁBILA (*Aloe vera*). Memoria para optar al grado de Ingeniero Agroindustrial. Puno, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias. 82 p.
- [14] ROJO, L., et al. 2009. Antioxidant capacity and polyphenolic content of twelve traditionally used herbal medicinal infusions from the South American Andes. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 8 (6): 498-508.
- [15] RUIZ, M., et al. 2016. Activity and mode of action of *Parastrephia lepidophylla* ethanolic extracts on phytopathogenic fungus strains of lemon fruit from Argentine Northwest. *Postharvest Biology and Technology* 114: 62–68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.12.003>
- [16] PORTAL ANTIOXIDANTES. ¿Qué es el Trolox? [en línea] <<http://portalantioxidantes.com/faq/que-es-el-trolox/>> [consulta: 26 febrero 2022]
- [17] GAETANPRODUCTIONS. 2017. Essential oil distillation home made, rosemary - Huile essentielle distillation maison, romarin. [video]. YouTube. 4 min. <https://www.youtube.com/watch?v=bGIMDt1cT_4>
- [18] AMAZON. 2022. AnEssOil - Kit de purificador de agua para destilación de vapor de aceite esencial de laboratorio (6.7 fl oz). [en línea] <<https://www.amazon.com/AnEssOil-Essential-Distillation-Apparatus-Glassware/dp/B083PRHL2C>> [consulta: 02 marzo 2022]
- [19] BHAVANIRAMYA, S. et al. 2019. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. *Grain Oil Science and Technology* (2):49-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.03.001>
- [20] BUSTOS, L., et al. 2019. Brewing of a Porter Craft Beer Enriched with the Plant *Parastrephia lucida*: A Promising Source of Antioxidant Compounds. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*: 1–6. DOI:[10.1080/03610470.2019.1644478](https://doi.org/10.1080/03610470.2019.1644478)
- [21] CROMTEK. 2019. Liofilizadores Labconco FreeZone Legacy 2.5 Litros. [en línea] <<https://www.cromtek.cl/producto/liofilizadores-labconco-freezone-legacy-2-5-litros/>> [consulta: 02 marzo 2022]
- [22] CROMTEK. 2018. Molinos de disco. [en línea] <<https://www.cromtek.cl/producto/molinos-de-disco/>> [consulta: 02 marzo 2022]

Anexo A. Compuestos químicos de interés

A.1. Terpenoides

Los terpenos son uno de los principales grupos de componentes químicos, que además cuentan con una amplia variedad estructural y funcional: los monoterpenos (C10) y los sesquiterpenos (C15) son los principales tipos de terpenos, mientras que los terpenoides son terpenos que contienen oxígeno. Esta familia de compuestos suele ser encontrada en abundancia en miembros del reino vegetal, contando con gran potencial antioxidante y antibacteriano, junto con ser responsables de los aromas provenientes de muchas plantas [19].

A.2. Polifenoles

Los polifenoles son metabolitos vegetales secundarios que se encuentran habitualmente en frutas, verduras, legumbres, cacao, té y También son responsables de varias características sensoriales de los alimentos, como el color, el sabor, el amargor y el aroma. aracterísticas sensoriales de los alimentos, como el color, el sabor, el amargor, la astringencia y el aroma. Se ha asociado la ingesta de polifenoles derivados de alimentos y bebidas fermentadas con la prevención de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer [20].

A.3. Flavonoides

Forma genérica para denominar a metabolitos secundarios producidos en vegetales, cuya estructura química común consiste en un esqueleto de difenilpropano con dos anillos de benceno conectados por un anillo de pirano unido al esqueleto. Se caracterizan por que su consumo está asociado a una serie de efectos biológicos y beneficios para la salud [9].

A.4. Cumarinas

Estos compuestos se clasifican como miembros de la familia de las benzopironas. Todos ellos consisten en un anillo de benceno unido a un anillo de pirona. Poseen un potencial anticancerígeno inconmensurable, con mínimos efectos secundarios dependiendo de las sustituciones en el núcleo básico. Las cumarinas tienen una enorme capacidad para regular diversas vías celulares que pueden explorarse en busca de una actividad anticancerígena selectiva [9].

Anexo B. Protocolo de extracción de aceites esenciales en laboratorio

Del viaje realizado a la comunidad de Tacora, se trajeron muestras que ya habían sido secadas por Lidia en el altiplano, tanto de chachacoma como de sipotola. De ambas, se extrajeron las hojas y se descartaron las ramas, de forma de hacer más eficiente el proceso de molienda y el de extracción.

Las hojas de sipotola fueron dispuestas en un molidor de café, hasta lograr el menor tamaño posible. Ya molidas se disponen dentro de sobres hechos con hoja filtrante, de forma de medir la masa total disponible para la extracción. Cabe mencionar que previamente se había masado el sobre, para poder restarlo de la masa total medida.

Luego, el sobre fue cosido para ser puesto dentro del equipo de extracción (Soxhlet), agregando como solvente 700 ml de etanol al 70%. Una vez instalado todo, se realizó un total de 5 sifonadas, para maximizar la extracción del aceite esencial. Paralelamente, se realizó un proceso análogo (en todos sus aspectos) para las hojas de chachacoma.

Ya terminada la extracción en el Soxhlet, se llevaron las soluciones extraídas al rotavapor. Partiendo por el extracto de sipotola, se configuró el equipo a una temperatura de 60°C y una rotación de 80 rpm; de forma de conseguir recuperar el etanol de forma óptima, se debió completar la operación en un total de 3 batches. El proceso se repitió de forma análoga para el caso de la chachacoma.

Finalmente, se obtuvieron dos frascos de aceite esencial de sipotola y otros dos de chachacoma. Dado que no se removió el etanol en su totalidad, fueron dejados en la estufa por aproximadamente 48 horas, de forma de evaporar el solvente y dejar únicamente aceite esencial.

Anexo C. Proceso inflamatorio inhibido por humatola

P. lucida fue eficaz en la inhibición de ciclooxigenasas (COX) y fosfolipasas A_2 (PLA_2) y, en menor medida, de lipoxigenasas (LOX). Estas tres enzimas están asociadas a la generación de una respuesta inflamatoria en el organismo, debido a su relación con el ácido araquidónico (AA); la liberación de AA desde los fosfolípidos de las membranas celulares es mediada por la activación de PLA_2 , mientras que el AA es el sustrato de las oxigenasas para la producción de moléculas señalizadoras de la inflamación. Luego, que se inhiba la producción de estos mediadores de la inflamación contribuye a que no exista respuesta inflamatoria e incluso puede contribuir a prevenir la generación de enfermedades inflamato-

rias, como la artritis reumatoide y algunos tipos de cáncer [10].

Se ha reportado que los flavonoides muestran actividad antiinflamatoria mediante la inhibición de enzimas asociadas a procesos de inflamación como PLA_2 , COX y LOX. Es más, se ha logrado demostrar que flavonas como la apigenina son inhibidoras de COX, mientras que flavonoles como la quercetina presentan mayor capacidad inhibitoria de LOX. También se tiene que la luteolina y sus derivados poseen un amplio rango de actividades biológicas, incluyendo antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y anticancerígenas [10].

Anexo D. Inhibición del crecimiento de hongos por sipotola

El principal efecto de los componentes de la sipotola sería la alteración de los mecanismos que ocurren durante la germinación del hongo y durante el desarrollo del micelio, mediante una posible interferencia de la percepción y/o transducción de las señales celulares asociadas al cambio en el desarrollo fúngico [15].

La proliferación de un hongo implica, en primer lugar, la germinación de conidios (espora asexual) y la extensión de hifas, los cuales luego forman micelio visible. Se estima que un producto como el limón se estropeará poco después de la germinación de los conidios, por tanto la prevención de la germinación evitaría el crecimiento de los hongos y su consecuente deterioro [15].

Anexo E. Diseño del proceso

E.1. Diagrama de bloques

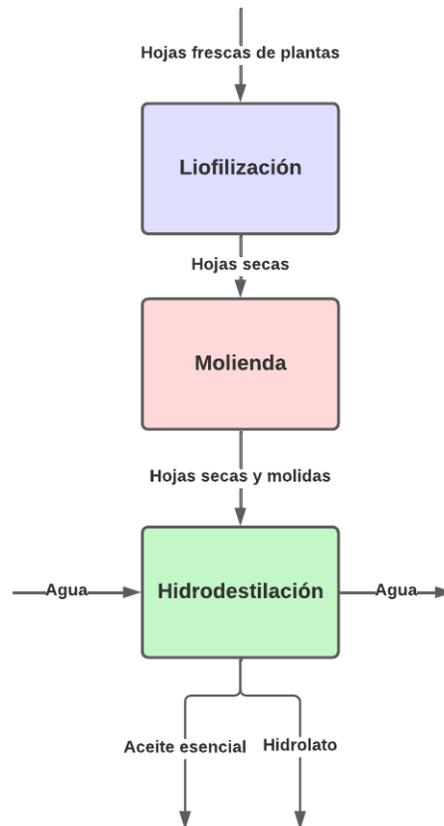


Figura E.1: Diagrama de bloques del proceso.

E.2. Primera alternativa

Para la liofilización, se propone utilizar un liofilizador como el mostrado en la Figura E.2 del Anexo; luego, para llevar a cabo la molienda, se debiera emplear un molino (como el molino de discos presentado en la Figura E.3), de forma de poder obtener la materia prima en trozos pequeños y uniformes, y así obtener un lecho más compacto; finalmente, se sugiere agregar un hidroddestilador como el que se observa en la Figura E.4



Figura E.2: Liofilizadores Labconco FreeZone Legacy de 2.5 Litros[21].



Figura E.3: Molino de discos [22].



Figura E.4: Kit de hidrodestilación de laboratorio para elaboración de aceites esenciales [18].

Puede resultar importante mencionar que otro tipo de molino (de barras, de cuchillas) también serían útiles para este cometido. Se escogió como ejemplo un molino de bolas

dado que su manejo podría resultar más sencillo respecto a los demás.

Respecto al hidroddestilador presentado en la Figura E.4, este cuenta con una base que entrega el calor al frasco que contiene el agua, generando así el vapor que sube hasta el segundo frasco, en donde se deposita la materia prima seca y molida. El tubo del lado derecho es el condensador, el cual cuenta con una entrada y una salida para conectar mangueras que permitan mantener flujos de agua a temperatura ambiente. La parte inferior de este tubo es el florentino, donde se acumula el producto condensado y, además, posee una válvula que permite que fluya el hidrolato y el aceite esencial de forma controlada.

E.3. Tercera alternativa

Los materiales necesarios para la construcción del hidroddestilador serían [17]:

- Olla a presión
- Olla o contenedor
- Serpentín de cobre de diámetro pequeño
- Flexible para vapor
- Vaporera/Vaporizador para verduras
- Cesta con malla filtradora
- Recipiente pequeño
- Jeringa
- Manguera

A partir de ellos, se monta el mencionado sistema según se indica a continuación [17].

1. Construir artefacto que servirá de condensador. Para ello, se debe poner dentro de dicho contenedor el serpentín de cobre, procurando que este sea de un diámetro pequeño y que ambos posean dimensiones (diámetro y altura) similares.
2. Añadir orificio en la parte inferior del contenedor, a través del cual saldrá el extremo inferior del serpentín.
3. Añadir otro orificio en la parte inferior del contenedor, el cual servirá para retirar agua del condensador.
4. Terminado lo anterior, introducir la vaporera en el interior de la olla a presión; es importante procurar que el diámetro de ambos artefactos coincida, de forma que la vaporera logre ocupar la totalidad de la superficie de la olla.
5. Añadir agua destilada hasta llegar al nivel de la vaporera.

6. Paralelamente, poner dentro de la cesta la materia prima ya seca y molida. Al igual que en el caso de la vaporera, es importante considerar las medidas de la cesta, de forma que ocupe el volumen adecuado dentro de la olla.
7. Introducir la cesta en la olla (sobre la vaporera), procurando que el agua no la alcance.
8. Cerrar la olla a presión y ponerla sobre fuego alto.
9. Conectar la salida de vapor de la olla con el extremo superior del serpentín, utilizando el flexible de vapor. Procurar que la conexión sea adecuada y no se generen fugas.
10. Añadir agua a temperatura ambiente al condensador construido. Se recomienda generar un flujo de entrada constante de agua desde una llave, a través de una manguera. Al mismo tiempo, se recomienda mantener un flujo de salida constante del agua, una vez esta haya llenado el condensador por sobre el nivel del serpentín.
11. Incorporar un recipiente en la salida del serpentín, de forma que reciba el producto generado.