

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los aceites esenciales son mezclas de sustancias obtenidas de plantas, que presentan como características principales su compleja composición química y su carácter fuertemente aromático. De los millones de plantas existentes en nuestro planeta, se conoce alrededor de 4.000 aceites esenciales distintos, se pueden encontrar localizados en diferentes partes de la planta, por ejemplo: en las hojas (albahaca, menta, romero, etc.), en las raíces (valeriana, cálamo, etc.), en la corteza (canela, sándalo, etc.), en las flores (jazmín, rosa, etc.), en la cáscara del fruto (limón, mandarina, naranja, etc.), en los frutos (anís, cardamomo, hinojo, etc.), consisten en una mezcla de sustancias aromáticas que solo la naturaleza puede producir. (Ortuño M. 2006)

La composición de un aceite esencial varía con el lugar de origen, también varía con el hábitat en que se desarrolle, el momento de recolección, el método de extracción, etc. Los aceites esenciales tienen características sensoriales muy similares a la materia prima de donde provienen, pero con una intensidad del aroma muy concentrada. La humanidad ya utilizaba los aceites esenciales 3.500 años antes de Cristo. Los egipcios fueron los primeros en hacer uso de ellos. Utilizaban la aromaterapia con fines religiosos, medicinales y cosméticos. Los utilizaban como elementos cicatrizantes, curativos e incluso como protección contra los malos espíritus. Los egipcios utilizaban una forma primitiva de destilación para extraer los aceites esenciales de las plantas. Calentaban las plantas en ollas de arcilla con la parte de arriba recubierta de lino, el vapor impregnaba los filtros de lino y al escurrirlos se obtenían los aceites esenciales. 500 años después de los egipcios, los chinos también hacían uso de las hierbas y las plantas aromáticas con fines, sobre todo, medicinales. (O. Cherry. 2017).

Más tarde los griegos tomaron la sabiduría medicinal de los egipcios y mejoraron el sistema de destilación. Estos consiguieron preservar la fragancia y la pureza de los aceites. Los griegos incorporaban las plantas aromáticas a sus baños, a su alimentación, a sus ritos religiosos y fabricaban ungüentos medicinales. Hipócrates, el médico más reconocido de la época, trataba a sus pacientes con aceites esenciales, y afirmaba que el baño y masajes con ellos, aseguraban la longevidad.

Los romanos fueron fervientes defensores de la higiene para promover la salud y depositaron su confianza en la aromaterapia y su poder. Después de estos, los árabes continuaron con las enseñanzas sobre los extractos de las plantas. El médico persa Avicena perfeccionó el proceso de destilación de los aceites esenciales, introduciendo el sistema de refrigeración en el proceso. Esto hizo que el proceso de extracción tuviera menos desperdicios y mayor pureza.

Ya entrado el siglo XX, el químico y perfumista Rene Maurice Gattefosse incorporó la aromaterapia a la medicina natural. Tuvo un accidente y sufrió graves quemaduras en una mano, la sumergió en aceite esencial de lavanda y comprobó así sus efectos curativos. El aceite le calmó el dolor, evitó la infección y le ayudó a cicatrizar sin dejar marca.

El Dr. Jean Valnet aportó la mayor contribución a la aromaterapia para ser valorada y reconocida como medicina capaz de curar. Durante la II Guerra Mundial utilizaba aceites esenciales para las heridas y quemaduras de los soldados. En los años cincuenta la bioquímica francesa Aguerite Maury, comenzó a utilizar los aceites esenciales en terapias de masaje, y fue premiada internacionalmente por sus investigaciones sobre los aceites esenciales y la cosmetología al servicio de la salud. (O. Cherry. 2017).

Aceites esenciales a nivel Mundial

En 2022, los aceites esenciales fue el producto número 525to en el mundo, con un total de \$5,72MM. Entre 2021 y 2022, las exportaciones de aceites esenciales decrecieron un 2,58%, pasando de \$5,87MM a \$5,72MM. El comercio de aceites esenciales representa el 0,024% de todo el comercio mundial.

Los aceites esenciales son parte de perfumería y cosméticos, entre otros. Aceites esenciales de limón, aceites esenciales de naranja, aceites esenciales de cítricos, aceites esenciales de menta, aceites esenciales de lima y aceites esenciales de geranio.

Exportaciones: En 2022, los principales exportadores de aceites esenciales fueron India (\$879M), Estados Unidos (\$693M), Brasil (\$425M), Francia (\$424M), y China (\$407M).

Importaciones: En 2022, los principales importadores de aceites esenciales fueron Estados Unidos (\$1,25MM), Francia (\$440M), Alemania (\$357M), China (\$342M), y Países Bajos (\$301M).

Ranking Aceites esenciales: Se encuentra en el ranking 851 en el Índice de Complejidad del Producto (PCI). BACI (1995 - 2022).

Aceites esenciales en Bolivia

Exportaciones:

En 2022, Bolivia exportó \$670,000 en Aceites esenciales, convirtiéndolo en el exportador número 107 de aceites esenciales en el mundo. En el mismo año, los aceites esenciales fue el producto número 151 más exportado de Bolivia. El principal destino de las exportaciones de aceites esenciales de Bolivia son: Francia (\$333000), Países Bajos (\$169000), España (\$168000), Chile (\$621000), y Paraguay (\$15,000). Los mercados de exportación de más rápido crecimiento para los aceites esenciales de Bolivia fueron entre el año 2021 y 2022, los cuales fueron España (\$166000), Francia (\$59,4000), y Chile (\$288000).

Importaciones:

En 2022, Bolivia importó \$120,000 en aceites esenciales, convirtiéndose en el importador número 160 de aceites esenciales en el mundo. En el mismo año, los aceites esenciales fueron el producto número 856 más importado en Bolivia. Las importaciones de aceites esenciales de Bolivia principalmente de: Estados Unidos (\$439000), Chile (\$164000), Brasil (\$133000) y Argentina (\$12,200). Los mercados de importación de más rápido crecimiento en aceites esenciales para Bolivia entre el año 2021 y 2022, los cuales fueron Argentina (\$12100), Chile (\$11200) y Estados Unidos (\$5240). BACI (1995 - 2022)

Materia prima

La naranja, procede de las regiones sudorientales de Asia, concretamente de la zona sureste de China y el archipiélago malayo. Las naranjas se cultivan en el Sur de China desde hace miles de años, desde donde se extendió por el Sudeste asiático. Luego, el

naranja dulce y el naranja amargo se expandieron por todo Oriente por la Ruta de la Seda. Las naranjas dulces son muy apreciadas por su sabor y por sus propiedades curativas.

Las naranjas son el fruto del naranja dulce, árbol perteneciente al género *Citrus* de la familia de las Rutáceas. Esta familia comprende más de 1.600 especies. El género botánico *Citrus* es el más importante de la familia y consta de unas 20 especies con frutos comestibles, todos abundantes en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Tienen la pulpa formada por muchas vesículas llenas de jugo. El naranja dulce se considera la especie más importante y es el más cultivado de todos los cítricos. Le siguen: las mandarinas, los limones, los pomelos, limeros y kumquats. (Palacios, J. 2011).

OBJETIVOS

Objetivo general

Extraer el aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb.) a escala de laboratorio aplicando hidrodestilación asistida por microondas.

Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la cascara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb) variedad Criolla.
- Ejecutar la fase experimental para extraer el aceite esencial de cáscara de naranja a escala de laboratorio, a través de la aplicación del método de hidrodestilación asistida por microondas.
- Determinar la composición química del aceite esencial obtenido de la cáscara de naranja, a través de los análisis de laboratorio.
- Determinar el rendimiento obtenido en la extracción del aceite esencial de la cascara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb) variedad criolla y establecer el costo estimado de la investigación aplicada para la extracción del aceite esencial.

JUSTIFICACIÓN

Justificación Económica

Con este trabajo se pretende plantear la posibilidad de aumentar el valor agregado a un producto como la naranja, más específicamente de su cáscara, misma que en nuestro medio no es aprovechada, si bien existen pequeñas empresas dedicadas al procesamiento de la fruta, estas se limitan únicamente al aprovechamiento de la pulpa y no de la cáscara, la cual puede ser utilizada como materia prima para obtención de aceite esencial, y ser una fuente de ingresos adicionales.

Justificación Tecnológica

El método de hidrodestilación asistida por microondas es un método novedoso y de reciente implementación para la extracción de aceites esenciales, el cual nos permite obtener aceite esencial de la cascara de naranja con el fin de obtener limoneno de alta pureza que puedan competir en el mercado de aceites esenciales.

Justificación Social

Debido a que la naranja es una fruta muy utilizada para la elaboración de refrescos y jugos, una vez utilizada la fruta y su líquido, la corteza es desechada, perdiendo la oportunidad de utilizarla en la elaboración de otro producto. Existen muchas personas que basan su economía en negocios donde la naranja está involucrada, como la venta de jugos naturales o en restaurantes que usan la naranja para hacer refresco natural. La finalidad es dar una utilidad a la cascara de naranja y mejorar la calidad de vida de la población

Justificación Ambiental

El impacto ambiental generado por el método propuesto en este trabajo es mínimo en comparación con otros métodos. No va a provocar residuos tóxicos que pongan en riesgo el medio ambiente, ya que todo lo que obtenga será utilizado. Además del aceite esencial, el resto se puede utilizar como alimento balanceado para alimentación porcina o biodegradar para abono.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los aceites esenciales son mezclas de sustancias obtenidas de plantas, que presentan como características principales su compleja composición química y su carácter fuertemente aromático. De los millones de plantas existentes en nuestro planeta, se conoce alrededor de 4.000 aceites esenciales distintos, se pueden encontrar localizados en diferentes partes de la planta, por ejemplo: en las hojas (albahaca, menta, romero, etc.), en las raíces (valeriana, cálamo, etc.), en la corteza (canela, sándalo, etc.), en las flores (jazmín, rosa, etc.), en la cáscara del fruto (limón, mandarina, naranja, etc.), en los frutos (anís, cardamomo, hinojo, etc.), consisten en una mezcla de sustancias aromáticas que solo la naturaleza puede producir. (Ortuño M. 2006)

La composición de un aceite esencial varía con el lugar de origen, también varía con el hábitat en que se desarrolle, el momento de recolección, el método de extracción, etc. Los aceites esenciales tienen características sensoriales muy similares a la materia prima de donde provienen, pero con una intensidad del aroma muy concentrada. La humanidad ya utilizaba los aceites esenciales 3.500 años antes de Cristo. Los egipcios fueron los primeros en hacer uso de ellos. Utilizaban la aromaterapia con fines religiosos, medicinales y cosméticos. Los utilizaban como elementos cicatrizantes, curativos e incluso como protección contra los malos espíritus. Los egipcios utilizaban una forma primitiva de destilación para extraer los aceites esenciales de las plantas. Calentaban las plantas en ollas de arcilla con la parte de arriba recubierta de lino, el vapor impregnaba los filtros de lino y al escurrirlos se obtenían los aceites esenciales. 500 años después de los egipcios, los chinos también hacían uso de las hierbas y las plantas aromáticas con fines, sobre todo, medicinales. (O. Cherry. 2017).

Más tarde los griegos tomaron la sabiduría medicinal de los egipcios y mejoraron el sistema de destilación. Estos consiguieron preservar la fragancia y la pureza de los aceites. Los griegos incorporaban las plantas aromáticas a sus baños, a su alimentación, a sus ritos religiosos y fabricaban ungüentos medicinales. Hipócrates, el médico más reconocido de la época, trataba a sus pacientes con aceites esenciales, y afirmaba que el baño y masajes con ellos, aseguraban la longevidad.

Los romanos fueron fervientes defensores de la higiene para promover la salud y depositaron su confianza en la aromaterapia y su poder. Después de estos, los árabes continuaron con las enseñanzas sobre los extractos de las plantas. El médico persa Avicena perfeccionó el proceso de destilación de los aceites esenciales, introduciendo el sistema de refrigeración en el proceso. Esto hizo que el proceso de extracción tuviera menos desperdicios y mayor pureza.

Ya entrado el siglo XX, el químico y perfumista Rene Maurice Gattefosse incorporó la aromaterapia a la medicina natural. Tuvo un accidente y sufrió graves quemaduras en una mano, la sumergió en aceite esencial de lavanda y comprobó así sus efectos curativos. El aceite le calmó el dolor, evitó la infección y le ayudó a cicatrizar sin dejar marca.

El Dr. Jean Valnet aportó la mayor contribución a la aromaterapia para ser valorada y reconocida como medicina capaz de curar. Durante la II Guerra Mundial utilizaba aceites esenciales para las heridas y quemaduras de los soldados. En los años cincuenta la bioquímica francesa Aguerite Maury, comenzó a utilizar los aceites esenciales en terapias de masaje, y fue premiada internacionalmente por sus investigaciones sobre los aceites esenciales y la cosmetología al servicio de la salud. (O. Cherry. 2017).

Aceites esenciales a nivel Mundial

En 2022, los aceites esenciales fue el producto número 525to en el mundo, con un total de \$5,72MM. Entre 2021 y 2022, las exportaciones de aceites esenciales decrecieron un 2,58%, pasando de \$5,87MM a \$5,72MM. El comercio de aceites esenciales representa el 0,024% de todo el comercio mundial.

Los aceites esenciales son parte de perfumería y cosméticos, entre otros. Aceites esenciales de limón, aceites esenciales de naranja, aceites esenciales de cítricos, aceites esenciales de menta, aceites esenciales de lima y aceites esenciales de geranio.

Exportaciones: En 2022, los principales exportadores de aceites esenciales fueron India (\$879M), Estados Unidos (\$693M), Brasil (\$425M), Francia (\$424M), y China (\$407M).

Importaciones: En 2022, los principales importadores de aceites esenciales fueron Estados Unidos (\$1,25MM), Francia (\$440M), Alemania (\$357M), China (\$342M), y Países Bajos (\$301M).

Ranking Aceites esenciales: Se encuentra en el ranking 851 en el Índice de Complejidad del Producto (PCI). BACI (1995 - 2022).

Aceites esenciales en Bolivia

Exportaciones:

En 2022, Bolivia exportó \$670,000 en Aceites esenciales, convirtiéndolo en el exportador número 107 de aceites esenciales en el mundo. En el mismo año, los aceites esenciales fue el producto número 151 más exportado de Bolivia. El principal destino de las exportaciones de aceites esenciales de Bolivia son: Francia (\$333000), Países Bajos (\$169000), España (\$168000), Chile (\$621000), y Paraguay (\$15,000). Los mercados de exportación de más rápido crecimiento para los aceites esenciales de Bolivia fueron entre el año 2021 y 2022, los cuales fueron España (\$166000), Francia (\$59,4000), y Chile (\$288000).

Importaciones:

En 2022, Bolivia importó \$120,000 en aceites esenciales, convirtiéndose en el importador número 160 de aceites esenciales en el mundo. En el mismo año, los aceites esenciales fueron el producto número 856 más importado en Bolivia. Las importaciones de aceites esenciales de Bolivia principalmente de: Estados Unidos (\$439000), Chile (\$164000), Brasil (\$133000) y Argentina (\$12,200). Los mercados de importación de más rápido crecimiento en aceites esenciales para Bolivia entre el año 2021 y 2022, los cuales fueron Argentina (\$12100), Chile (\$11200) y Estados Unidos (\$5240). BACI (1995 - 2022)

Materia prima

La naranja, procede de las regiones sudorientales de Asia, concretamente de la zona sureste de China y el archipiélago malayo. Las naranjas se cultivan en el Sur de China desde hace miles de años, desde donde se extendió por el Sudeste asiático. Luego, el

naranja dulce y el naranja amargo se expandieron por todo Oriente por la Ruta de la Seda. Las naranjas dulces son muy apreciadas por su sabor y por sus propiedades curativas.

Las naranjas son el fruto del naranja dulce, árbol perteneciente al género *Citrus* de la familia de las Rutáceas. Esta familia comprende más de 1.600 especies. El género botánico *Citrus* es el más importante de la familia y consta de unas 20 especies con frutos comestibles, todos abundantes en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Tienen la pulpa formada por muchas vesículas llenas de jugo. El naranja dulce se considera la especie más importante y es el más cultivado de todos los cítricos. Le siguen: las mandarinas, los limones, los pomelos, limeros y kumquats. (Palacios, J. 2011).

OBJETIVOS

Objetivo general

Extraer el aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb.) a escala de laboratorio aplicando hidrodestilación asistida por microondas.

Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la cascara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb) variedad Criolla.
- Ejecutar la fase experimental para extraer el aceite esencial de cáscara de naranja a escala de laboratorio, a través de la aplicación del método de hidrodestilación asistida por microondas.
- Determinar la composición química del aceite esencial obtenido de la cáscara de naranja, a través de los análisis de laboratorio.
- Determinar el rendimiento obtenido en la extracción del aceite esencial de la cascara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb) variedad criolla y establecer el costo estimado de la investigación aplicada para la extracción del aceite esencial.

JUSTIFICACIÓN

Justificación Económica

Con este trabajo se pretende plantear la posibilidad de aumentar el valor agregado a un producto como la naranja, más específicamente de su cáscara, misma que en nuestro medio no es aprovechada, si bien existen pequeñas empresas dedicadas al procesamiento de la fruta, estas se limitan únicamente al aprovechamiento de la pulpa y no de la cáscara, la cual puede ser utilizada como materia prima para obtención de aceite esencial, y ser una fuente de ingresos adicionales.

Justificación Tecnológica

El método de hidrodestilación asistida por microondas es un método novedoso y de reciente implementación para la extracción de aceites esenciales, el cual nos permite obtener aceite esencial de la cascara de naranja con el fin de obtener limoneno de alta pureza que puedan competir en el mercado de aceites esenciales.

Justificación Social

Debido a que la naranja es una fruta muy utilizada para la elaboración de refrescos y jugos, una vez utilizada la fruta y su líquido, la corteza es desechada, perdiendo la oportunidad de utilizarla en la elaboración de otro producto. Existen muchas personas que basan su economía en negocios donde la naranja está involucrada, como la venta de jugos naturales o en restaurantes que usan la naranja para hacer refresco natural. La finalidad es dar una utilidad a la cascara de naranja y mejorar la calidad de vida de la población

Justificación Ambiental

El impacto ambiental generado por el método propuesto en este trabajo es mínimo en comparación con otros métodos. No va a provocar residuos tóxicos que pongan en riesgo el medio ambiente, ya que todo lo que obtenga será utilizado. Además del aceite esencial, el resto se puede utilizar como alimento balanceado para alimentación porcina o biodegradar para abono.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1 Origen de la Naranja

Es originaria del sureste de China y norte de Birmania, aunque se conoce en la zona mediterránea desde hace aproximadamente tres mil años; aunque el naranjo dulce no fue conocido hasta 1450. A partir de ese momento fue extendiéndose por toda Europa y alcanza gran popularidad durante la segunda mitad del siglo XV.

La naranja es el fruto del naranjo dulce, árbol que pertenece al género *Citrus* de la familia de las Rutáceas. Esta familia comprende más de 1.600 especies. El género botánico *Citrus* es el más importante de la familia, y consta de unas 20 especies con frutos comestibles todos ellos muy abundantes en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Los frutos, llamados hespérides, tienen la particularidad de que su pulpa está formada por numerosas vesículas llenas de jugo.

El naranjo dulce es el más cultivado de todos los cítricos, siendo la especie más importante del género *Citrus*. Tras él, le siguen en importancia sus parientes más próximos: mandarinos, limoneros, pomelos, limeros y kumquats. No se debe confundir el naranjo dulce con el amargo, cultivado desde antiguo como árbol ornamental y para obtener fragancias de sus frutos. (Agusti, M. 2000)

1.2 Descripción Botánica de la Planta

El naranjo es un árbol de tamaño mediano, de tres a cinco metros de altura, con copa redondeada y ramas regulares. Un solo tronco, derecho y cilíndrico, verdoso primero y gris después. Las ramas aparecen a un metro, poco más o menos, del suelo.

El naranjo dulce es un árbol cuyo tronco es cilíndrico y se ramifica desde la parte inferior. Por lo general son espinosos, de ramas delgadas, con hojas perennes lanceoladas y follaje denso verde generalmente muy oscuro en las plantas jóvenes y los brotes verde más claro. (Cardozo. J. Y. 2003).

- Los tipos de suelos que requiere son franco y franco arcilloso fértil profundo bien drenado medianamente tolerante a la salinidad y poco tolerante a la acidez (pH 6.5-7).

- El clima debe ser subtropical y templado, a una altitud de 500 a 1000 m s. n. m. Las temperaturas óptimas van de 23°C a 32°C la máxima y la mínima es de -3°C. No soporta las heladas. (CAINCO-IBCE, 2014).

Figura I-1

Árbol de la naranja en estado de fructificación



Fuente: Cardozo, J. Y. 2003

1.2.1 Hojas y Flores

La hoja es compuesta, imparipinnada, aunque aparenta ser simple porque en la mayoría de los casos solo se conserva el folíolo terminal. Una prueba de ello puede observarse en la articulación existente entre el limbo y el peciolo, aunque en algunas especies este último puede estar ausente.

El peciolo puede ser más corto que la lámina de la hoja, y entonces decimos que la hoja es brevipecioliada, o ser más largo que la lámina, en cuyo caso la denominamos longipecioliada, En muchas especies, los peciolos son alados. Las alas pueden ser muy

prominentes, como en el caso de la zamboa, los pomelos y el naranjo amargo, o ser apenas visibles como en las satsumas. (Ancillo G. y Medina A. 2014)

El limbo es de color verde oscuro en el haz y verde claro en el envés. Las hojas jóvenes presentan un verde más claro que las adultas -salvo en los limones y cidros, que son violáceas- y solo se oscurecen al cesar el crecimiento de la brotación.

La forma varía de oval a oblonga y también existe gran variación en cuanto al tamaño de unas y otras especies. La nerviación es reticulada. La vena central es prominente y va haciéndose más difusa según se acerca al ápice. En el haz existen glándulas de aceite cerca de la superficie. El borde de la hoja, que varía según las especies, puede ser entero, aserrado o dentado, ondulado o festoneado.

Las hojas pueden tener diversas formas, pero son mayormente elípticas, con margen generalmente entero y en algunas especies como el limón más o menos dentado y sirven del pulmón a las plantas. (Ancillo G. y Medina A., 2014)

Figura I-2

Hojas del árbol de la naranja



Fuente: Ancillo G. y Medina A., 2014

Las flores de los cítricos aparecen en gran abundancia en racimos axiliales o terminales. Pueden ser únicas o estar en grupos de cuatro, pueden ser terminales o laterales; tienen

cinco pétalos de color blanco o purpuras y por lo general son muy olorosas. Presentan un cáliz con 4-5 sépalos, corola con cinco pétalos y androceo con 20-60 estambres unidos formando un manojó. En la flor individual el cáliz tiene forma de copa y consta de cinco pétalos de color verde, cuya área extrema contiene numerosas glándulas de aceite. (Agusti, M. 2000).

Figura I-3

Flores del árbol de la naranja



Fuente: Agusti, M., 2000

1.3 Descripción del Fruto

La naranja es un fruto hesperidio (pulpa carnosa entre el endocarpio y las semillas en forma de gajos llenos de zumo), de corteza lisa y más o menos endurecida con El fruto de los cítricos es un hesperidio de tamaño y color variable con la especie y la variedad, al igual que su forma que puede ser oval, piriforme o esférica achatada.

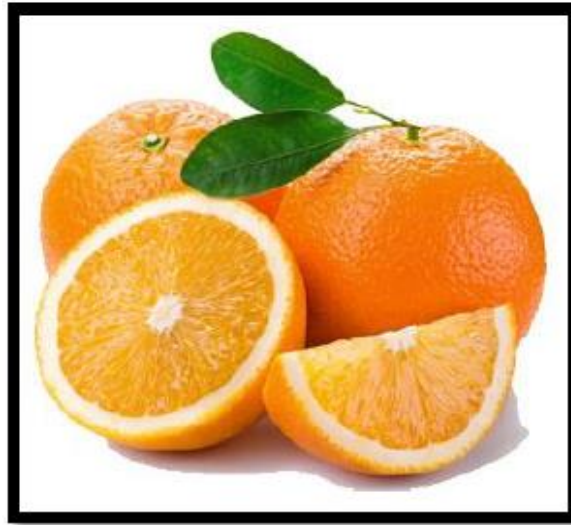
El fruto es el ovario fecundado de las plantas con flor, el interior del fruto está dividido por tabiques membranosos en gajos o segmentos con una pulpa formadas por vesículas de jugo de color también variable (verde, amarillo, anaranjado o rojo) en dependencia de la variedad al igual que el número de semillas que se presentan en dichos segmentos.

El tamaño y el color del fruto varían con la especie y la variedad. También la forma, que puede ser oval, piriforme o esférica (achatada o no). Las vesículas de jugo están

compuestas de un cuerpo grueso y un pedúnculo filamentosos, cuya longitud depende de la posición de la vesícula, que la une a la pared del segmento. Contienen el jugo y cromatóforos muy pequeños. (Ancillo G. y Medina A. 2014)

Figura I-4

Fruto del naranjo dulce



Fuente: Ancillo G. y Medina A., 2014

La parte carnosa o endocarpio, está compuesta por los sacos de zumo o vesículas, estructuras normalmente delgadas y filamentosas que contienen mayoritariamente azúcares, ácidos orgánicos y agua, los constituyentes del zumo. Las vesículas están compuestas de un cuerpo grueso y un pedúnculo filamentosos que une la vesícula a la pared del segmento, y que es más o menos largo en función de la posición que ocupa la vesícula. La naranja consta de una porción comestible y una porción no comestible, ambas porciones son variables, por lo que una estimación basada en promedio indica de 55 a 60 % de porción comestible y 40 a 45 % de porción no comestible. (Cardozo, J. Y., 2003).

Según Ancillo G. y Medina A. (2014), la naranja consta de las siguientes partes:

- **Epicarpio o exocarpio:**

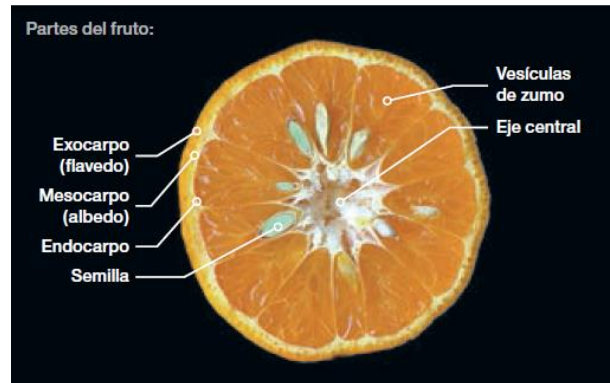
Se le llama así a la corteza de la parte exterior de la naranja. El tono anaranjado de la misma se obtiene a causa de los pigmentos que están en la cáscara. Antes de que se realice el proceso de maduración, la clorofila pinta la piel verde y luego los carotenoides le proporcionan el color naranja. Estos carotenoides son los pigmentos orgánicos que están naturalmente en las plantas y en organismos fotosintéticos. Otra característica importante de la piel es que en las pequeñas burbujas hay aceites importantes que le otorgan aroma a la fruta.

- **Mesocarpio**

El albedo o Mesocarpio es la parte blanca de la cáscara de la naranja. Su sabor es amargo y es abundante en pectina, la pectina es una fibra vegetal que reduce considerablemente los niveles de colesterol en el cuerpo de quien la consume.

- **Endocarpio**

El endocardio es la pulpa de la fruta que se caracteriza por tener un sabor dulce y por poseer mucha fibra. Sus propiedades son muy beneficiosas, tanto así que se recomienda consumirla en su estado puro. Sin embargo, también se pueden hacer zumos de naranja sin colar para que el cuerpo absorba los nutrientes directamente del endocarpio

Figura I-5***Partes del fruto***

Fuente: Ancillo G. y Medina A., 2014

- **Semilla.**

Las semillas se forman a partir de una serie de cambios en el crecimiento y desarrollo de los óvulos como consecuencia de la fecundación. Están compuestas por un tegumento exterior o testa y por un tegumento interior o tegmen. La testa es dura, de color blanco-grisáceo o crema, de textura leñosa y recubierta por una gruesa capa mucilaginosa. El tegmen es un tegumento delgado, de color rojo a marrón, en cuyo extremo se encuentra la chalaza formada por células del tegmen más gruesas y de color más oscuro. El tegmen contiene restos del endospermo y de la nácela y envuelve al embrión (Agustí, M. 2000)

Figura I-6***Semillas de naranja***

Fuente: Agustí M, 2000

Las semillas derivan de los óvulos a través de los diversos procesos de desarrollo que estos sufren. Presentan una amplia variación en cuanto a tamaño, peso, forma, color y homogeneidad. Sin embargo, existen características comunes dentro de cada especie; por ejemplo, las semillas del limón suelen ser pequeñas, redondeadas y puntiagudas. También hay variedad en cuanto al número de semillas por fruto, factor que puede cambiar ligeramente de un año a otro en función de la polinización y otros factores externos.

Las semillas están constituidas por tres partes fundamentales con funciones específicas:

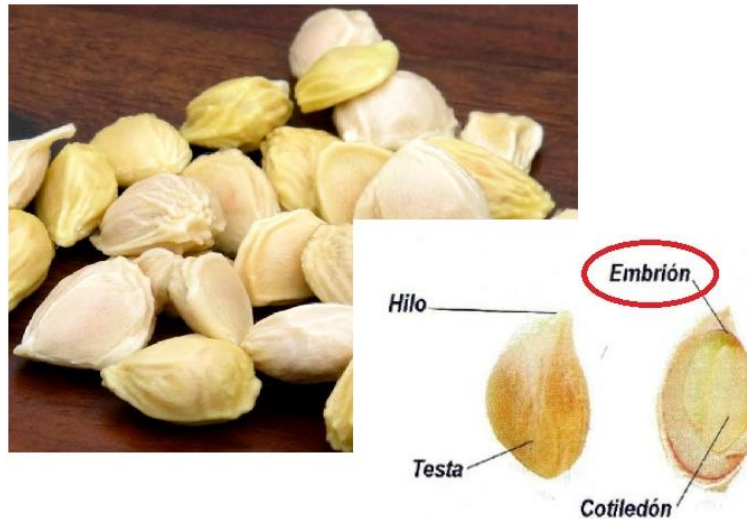
- a) El embrión. Compuesto por hipocótilo, plúmula, y radícula; los dos últimos constituyen los rudimentos del tallo y la raíz.
- b) Los cotiledones. Son los órganos de reserva, que la semilla utiliza en la diferenciación celular durante la germinación.

c) Las cubiertas seminales. Compuestas por una envuelta externa, la testa, y otra interna, el tegmen. Constituyen las defensas ante posibles ataques externos.

(Ancillo G. y Medina A., 2014).

Figura I-7

Estructura de la semilla de naranja



Fuente: Ancillo G. y Medina A., 2014

Las semillas de cítricos pierden su poder germinativo antes que muchas otras. Pueden verse afectadas por factores previos a la cosecha, como sequías prolongadas, heladas u otros, y también por factores posteriores a la cosecha, como una exposición excesiva al calor, al sol o al secado, así como el almacenamiento prolongado de la fruta. Por ello, la conservación del germoplasma de cítricos no se basa en el almacenamiento de semillas sino, fundamentalmente, en la conservación de los árboles enteros en plantaciones en campo o en instalaciones especiales protegidas. (Ancillo G. y Medina A. 2014)

1.3.1 Taxonomía

La taxonomía de los cítricos es muy compleja y no hay un acuerdo unánime entre los diferentes botánicos. El problema radica en que los cítricos hibridan con elevada facilidad incluso entre géneros diferentes, las mutaciones espontáneas se dan con mucha frecuencia y, además, debido a la apomixis, la mayoría de estas mutaciones tienden a perpetuarse. Estos fenómenos han dado origen a un elevadísimo número de variedades, con mayor o menor interés comercial, y cuya identificación resulta a veces complicada. (Palacios, J. 2011)

Los cítricos y géneros afines pertenecen al orden *Geraniales*, suborden *Geraninas* y familia *Rutaceae*. La familia *Rutaceae*, que agrupa numerosos géneros y especies, comprende seis subfamilias, siendo la subfamilia *Aurantioideae* (a la que la mayoría de los autores consideran monofilética) la que contiene a los cítricos y géneros afines.

La subfamilia *Aurantioideae* está dividida a su vez en 2 tribus: *Clauseneae*, con 5 géneros, y *Citreae*, con 28 géneros. La primera comprende los géneros más primitivos (*citroides remotos*) y la segunda los más recientes (*citroides y cítricos*). A esta última tribu pertenece la subtribu *Citrinae*, que se subdivide a su vez en tres grupos: plantas con frutos cítricos primitivos (6 géneros), plantas con frutos cercanos a los cítricos (2 géneros) y plantas con frutos cítricos verdaderos, que comprende 6 géneros entre los cuales se incluye *Citrus*.

El género *Citrus* es el que origina una mayor diversidad de opiniones entre los diferentes botánicos, debido a su complejidad. (Palacios, J. 2011)

En la tabla I-1 se muestra la taxonomía de la Naranja en el departamento de Tarija, de acuerdo al informe entregado por el Ing. M. Sc. Ismael Acosta Galarza, Encargado del Herbario Universitario de la U.A.J.M.S.

Tabla I-1***Taxonomía de la Naranja***

| Reino | Vegetal |
|-------------------|----------------------------------|
| Phylum | Teleomorphytae |
| División | Tracheophytae |
| Sub División | Anthophyta |
| Clase | Angiospermae |
| Sub Clase | Dicotyledoneae |
| Grado Evolutivo | Archichlamydeae |
| Grupo de Ordenes | Corolinos |
| Orden | Geraniales |
| Familia | <i>Rutaceae</i> |
| Nombre científico | <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osb. |
| Nombre común | Naranja |

Fuente: Herbario Universitario T.B., 2023. Según Anexo 1

1.3.2 Variedades de Naranja

Existe un número muy importante de variedades y especies cítricas cultivadas comercialmente. Las variedades de naranja se clasifican de acuerdo al tiempo que tardan sus frutos en llegar a la madurez fisiológica, bajo una misma condición de oferta ambiental, así:

Naranjas Tempranas: Las variedades consideradas de cosecha temprana, necesitan entre 7 a 8 meses para alcanzar su madurez fisiológica a partir de la floración.

Naranjas Semitempranas: Requieren entre 8 y 8.5 meses para llegar a su madurez fisiológica, bajo las condiciones ambientales adecuadas. Las variedades *Sweet Orange*, *Salustiana*, *Saleima* y *Pineapple*, pertenecen a este grupo.

Naranjas Tardías: Las variedades consideradas de cosecha tardía, requieren entre 8.5 y 10 meses para alcanzar su madurez fisiológica, en las condiciones de oferta ambiental

óptimas. Todos los clones de Naranja *Valencia*, *la Naranja Lenna*, *la Jaffa* y *la Lañe Late*, pertenecen a este grupo. (Corrales, A. 2002).

Las variedades de naranja con mayor importancia en producción dentro del país, son:

Washington Navel

Árbol de buen tamaño y vigor, con tendencia a florecer abundante, dificultando de esta manera el cuajado, a pesar de lo cual se puede considerarse de producción media a buena. Las hojas son grandes y alas bien acusadas. Si se compara con las variedades “Navelina” y “Newhall”, esta presenta mayor desarrollo. El hábito de crecimiento es abierto y ligeramente caído, de aspecto esférico, con las ramas que llegan hasta el suelo con una cierta espinosidad que desaparecen con el tiempo. (Amoros, M. 1999, y Soler, J. 1999).

El fruto de tamaño medio a grande, redondo o ligeramente oval, de corteza ligeramente rugosa, gruesa relativamente fácil de pelar. De color naranja intenso. Los segmentos se separan fácilmente y contienen una pulpa firme con alto contenido de jugo, sabor muy agradable y un adecuado contenido de ácidos libres (Anderson, C. 1999). Ombligo ligeramente prominente (Navel), sin semillas y a diferencia del autor antes mencionado, éste comenta que el contenido de jugo no es alto. Siendo más preciso Noya, C. (1986) describe el fruto como grande (200 a 250 g), de forma esférica. Su corteza de espesor medio (5 mm), asegura una buena resistencia del fruto al transporte, de sabor muy agradable

Los frutos pueden permanecer en el árbol, durante bastante tiempo, en buenas condiciones. Cuando se cosechan los frutos, el cáliz queda prendido del pedúnculo en un elevado porcentaje, al contrario de lo que sucede con la variedad ‘Navel Late’. (Amoros, M. 1999 y Soler, J. 1999)

Es una variedad de recolección temprana media, aunque en la actualidad ha sido desplazada hasta media estación por existencia de mandarinas y de variedades ‘Navelinas’ más precoces, ello ha sido posible gracias a su buen comportamiento en el árbol tras su maduración a lo que contribuye a su adecuada respuesta a los tratamientos

específicos para su conservación en el árbol. El periodo de cosecha comienza en diciembre y este se alarga hasta mayo (Anderson, C. 1999).

Por mutación ha dado origen a las variedades como ‘Thomson’, ‘Navelina’ y ‘Navelate’ entre otras (Quintela, R. 1974).

Variedad Jaffa o Shamouti:

Existen evidencias que indican que el clon de “Jaffa o Shamouti” es muy inestable y propenso a la ocurrencia de mutaciones en las ramas. Existiendo numerosos casos de árboles de “Jaffa o Shamouti” que contienen ramas que producen frutas redondas, típicas de la variedad “Beledi”, como también el caso de ramas de la variedad “Beledi” con frutas características de “Jaffa o Shamouti” (Palacios, J. 2011).

Se han identificado varias líneas, algunas más tempranas, otras que maduran más tarde que el tipo común, como más pigmentadas (Saunt, J. 2000).

Árbol de tamaño mediano a grande, vigoroso, con tendencia a la variación en la producción, (Frost, H.B 1948), otros autores lo caracterizan como un árbol ligeramente vigoroso, distintivo en su apariencia, de hábito de crecimiento erecto, con las ramas espesas, sin espinas, las hojas son grande y anchas, con pecíolos que son pequeños y estrechamente alados (Hodson, R.W. 1967).

Fruto de forma oval mediano a grande, oval a elipsoide de color anaranjado, prácticamente sin semilla. La pulpa, es de color anaranjado claro, firme, tierna, jugosa, aromática y agradable sabor dulce, de fácil pelado y sus segmentos se separan fácilmente (Quintela, R. 1974).

Su cáscara es gruesa, dura y coriácea, de superficie finamente granulada pero relativamente suave, las glándulas de aceite son discretas. La textura de la piel, es granulosa áspera (acentuándose en la fruta más grande). (Saunt, J. 2000). En condiciones favorables su color es bueno (Gallasch, P.; Ortúzar, J.; Anderson, C. 2000).

El porcentaje de jugo es bastante bajo, desarrollando una amargura tardía como las naranjas “Navel” lo que desmerece su valor en comparación con otras variedades como

‘Valencia’ (Saunt, J. 2000). El porcentaje de jugo es algo bajo, debido a su piel gruesa, pero el sabor es único y la pulpa es suave.

Sus frutos son de forma elipsoides a piriformes, y de tamaño grande, alrededor de 200 g por fruto. El color de la cáscara es anaranjado intenso cuando maduro (Carrau, F.; Diez J.C.; Franco, J. 1993).

“Jaffa o Shamouti” al igual que las naranjas “Navel”, son sensibles al calor y al clima seco durante la época de floración, de allí las bajas producciones cuando sobrevienen estos periodos y el rango restrictivo de adaptación. Se agrega que en regiones áridas la producción es baja y las frutas son indeseablemente grandes y toscas. (Hodson, R.W. 1967)

Este autor indica que “Jaffa o Shamouti” es muy sensible al calor y las condiciones de baja humedad durante el cuajado del fruto, por lo tanto, se restringe a plantarse en regiones más frescas (Carrau, F.; Diez J.C.; Franco, J. 1993).

Además de las condiciones climáticas se hace hincapié en las condiciones de suelo y portainjerto utilizado. Se mencionan fechas de maduración anteriores a “Valencia”, aproximadamente dos semanas antes. Según Hodson, R.W. (1967) la época de maduración es de media estación, presentando una muy buena aptitud para el manipuleo y el transporte, pero no para la industrialización.

La fruta es comercialmente sin semillas, los sólidos solubles moderados, acidez baja, y color bueno, lo que le otorga una excelente aptitud para el mercado en fresco. Es una variedad de media estación que alcanza la calidad interior aceptable para ser cosechada a mediados de diciembre, pero a la madurez máxima unas semanas después (Saunt, J. 2000).

Se adapta bien a un muy amplio rango de portainjertos, mostrando una leve incompatibilidad con el Limón Rugoso (Hodson, R.W. 1967).

Figura I-8***Características del fruto de la variedad jaffa o shamouti***

Fuente: Hodson, R.W., 1967.

Variedad Valencia Late.

La planta es vigorosa de tamaño grande y muy productiva, presenta un buen desarrollo, con ligera tendencia a la verticalidad y se adapta bien a diversos climas y suelos. Se presume que su gran adaptación climática, mayor que otras variedades de naranja de importancia comercial, está asociada con su elevado requerimiento de calor para lograr la plena madurez y su alta acidez en la fruta.

El fruto es de tamaño mediano, de forma redondeada, de cáscara lisa y color anaranjado uniforme, es común encontrar dos a cuatro semillas por fruta, su peso es de alrededor de 170 g., de cáscara firme y resistente, de 4mm promedio de espesor, que lo protege de golpes durante su manipulación

En cuanto a la forma se hace alusión que inicialmente la forma es esférica, pero en el momento de la recolección adquieren una forma ligeramente ovalada por la elongación de su epidermis en las proximidades del pedúnculo, alto contenido jugo de color anaranjado y buen sabor, haciéndose hincapié en la elevada acidez del jugo. (Agusti, M. 2000 y Hodson, R.W. 1967).

En la región es la variedad de maduración tardía que más tarde puede comercializarse, por su capacidad de conservar fruta con calidad en planta (febrero a marzo del año siguiente). Es un fruto de maduración tardía, se colecta a partir de marzo, aunque puede mantenerse en el árbol en buenas condiciones durante varios meses. En España es particularmente apreciada por ser tardía, recolectándose desde abril a junio y hasta principios de Julio, como también por sus grandes facultades de adaptación.

Se señala que es la variedad que más tarde puede comercializarse, debido a su capacidad de conservar la fruta sobre la planta, pudiendo llegar esta comercialización hasta los meses de febrero y marzo del año siguiente. Si bien se mantiene mucho tiempo en buenas condiciones sobre la planta, con la aparición de los primeros calores hacia finales de la primavera, la fruta tiende a reverdecer (Anderson, C. 1999 y Noya, C. 1986).

Se destaca su muy buena conservación en cámara, así como resistencia al transporte, y cualidades excelentes para ser procesadas. Hay autores que hacen notar que las cosechas tardías van en detrimento de la producción del siguiente año, la que al disminuir evidencia en la variedad una tendencia a la vecería. Observándose en años de mucha producción una reducción generalizada en el tamaño de fruta.

Se menciona que el alto requisito de calor necesario, para lograr plena madurez de la naranja 'Valencia', se logra en las regiones muy cálidas antes de que se dé la siguiente floración. En las regiones más templadas, sin embargo, la madurez llega más tarde y ocurre una superposición entre la flor y la fruta, a veces por varios meses. En la mayoría de las regiones donde esta variedad normalmente es cultivada el árbol tiene en el mismo momento frutos maduros y cercanos a la madurez, y diferentes fases entre flor y fruto en inicios de crecimiento (Hodson, R.W. 1967).

Figura I-9.***Características del fruto de la variedad Valencia Late***

Fuente: Hodson, R.W., 1967.

“Los frutos están fuertemente adheridos al pedúnculo, por lo que no suelen sorprenderse por la acción del viento. Buena productividad y muy buena resistencia al transporte. El periodo de madurez se ubica entre los meses de septiembre y diciembre.”

Aunque se tienen distintos tipos pertenecientes a esta variedad, su identificación puede ser muy dudosa ya que su maduración es muy marcada es diferente en las zonas donde se la cultiva, siendo su comportamiento tardío más acentuado en condiciones de clima cálido y húmedo como el de los yungas medios altos.”

La naranja de variedad "Valencia", es el principal cultivar de este grupo, sus árboles son vigorosos, grandes y muy productivos, sus ñutos pueden permanecer largo tiempo en el árbol sin deteriorarse y sin perder su calidad organoléptica, es considerado excelente para la industrialización, ya que tiene buen comportamiento el almacenamiento y transporte.

Frutos: son de tamaño mediano a grande, redondeado a oblongo.

- Cáscara: suave, coloreada y a veces finamente rugosos.

- Pulpa: de buen color, alto contenido de jugo, buen sabor, aunque un poco ácida excepto cuando madura.
- Semillas: prácticamente carece de semillas. (Cardozo, J. Y. 2003)

Variedad Criolla:

El árbol es vigoroso de forma ovoide, con un crecimiento colgante, presentando una altura promedio de 2,80 a 3,50 metros: de ramificación densa pero abierta: el tronco es de superficie rugosa con pequeños surcos, presenta un diámetro que va de 15,60 a 18,90 centímetros, presenta una densidad media de espinas, con una longitud mayor a 40 milímetros y una forma de la espina recta; la división del tronco se encuentra a unos 65 centímetros del suelo. Existiendo buena fructificación.

El árbol, presenta hábito de crecimiento erguido con una alta densidad de espinas. Las hojas, son de color verde medio, torsión media 10,0 a 14,0 cm de longitud y 4,8 a 7,0 cm de ancho, borde con incisiones crenadas, ondulación ausente o débil. La forma de la sección transversal es ligeramente cóncava. La forma del ápice es acuminada con emarginado en la parte superior. El pecíolo tiene una longitud 1,4 a 1,8 cm y presenta alas de 0,25 a 0,4 cm de ancho. (Córdova Paredes A. 2008)

La flor está compuesta por: El cáliz mide 0,4 a 0,5 cm de diámetro, los pétalos 2,0 a 2,3 cm de longitud y 0,7 a 0,8 cm de ancho. Los estambres se encuentran unidos entre sí en la parte basal y su longitud es de 1,2 a 1,5 cm. Tiene estilo de 0,8 a 1,1 cm de longitud y forma recta.

El fruto es de 6,5 a 7,0 cm de longitud y 7,0 cm de diámetro, la ubicación de la parte más ancha está en el medio. La forma general de la parte proximal es ligeramente redondeada con una depresión poco profunda en el extremo peduncular.

Su superficie es de rugosidad media, color naranjo amarillento y sin variegado, tiene glándulas de aceite de tamaño pequeño donde las más grandes miden menos de 1 mm, son de débil visibilidad con picado presente y granulado ausente.

La corteza, tiene un espesor de 0,6 a 0,8 cm y albedo de color amarillo claro. Visto internamente no presenta ombligo, tiene bajo relleno del hueco central siendo su

diámetro de 0,5 cm, no tiene gajos rudimentarios, el número de gajos bien desarrollados es de 10 y la adherencia entre los gajos adyacentes es media.

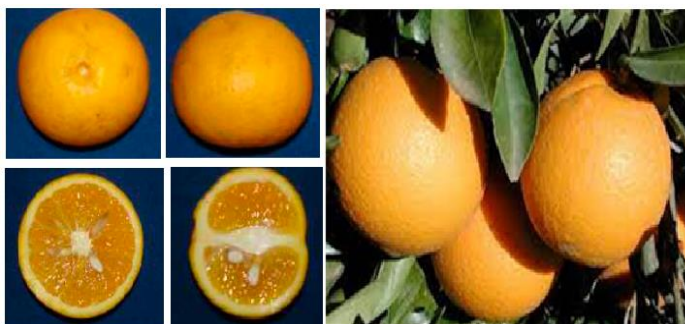
Los frutos, presentan en su porción externa, o en su cáscara, marcadas hendiduras, que corresponden a las cavidades que contienen un aceite esencial, las semillas son ovales y aplastadas, más o menos angulosas y con uno o varios embriones.

La pulpa, es de color naranja claro, no presenta manchas de distinto color ni gajos bicolors, no presenta amargor, tiene alto contenido de jugo y 14 a 15° Brix. Las vesículas de jugo tienen una longitud de 0,5 cm y un grosor de 0,4 a 0,6 cm.

La semilla, presenta superficie rugosa y color blanquecino mientras que el color de la cubierta interna es marrón claro. Su tamaño es de 1,0 a 1,4 cm de longitud y 0,5 a 0,7 cm de ancho. El número de semillas por fruto es de 14 a 15. (Córdova Paredes A. 2008)

Figura I-10

Características del fruto de la variedad Criolla



Fuente: Córdova Paredes A., 2008

Se pueden encontrar plantas sobresalientes a distintas características deseadas que merecen propagarse por el injerto con el objeto de conseguir huertos homogéneos. El comportamiento de esta variedad bajo injerto y en climas cálidos, puede comportarse como de maduración temprana, aunque en menor grado que la variedad Navels con la característica de conservar mejor sus índices de acidez y de azúcar. (Córdova Paredes A. 2008).

1.3.3 Valor Nutricional de la Naranja

Al hablar de frutas nos referimos a como el fruto, infrutescencia, la semilla o las partes carnosas de órganos florales, hayan alcanzado un grado adecuado de madurez y sean apropiadas para el consumo humano.

Según del Pozo S., Ávila J., Ruiz E., Valero T., Varela G. (2011). Nutricionalmente el principal componente es el agua, constituye, en general, más del 80% del peso de la porción comestible. El valor energético de la mayoría de los componentes de este grupo es bajo, ya que, en su composición se incluyen pocos macronutrientes. Son también ricas en fibra (es importante su contenido en pectinas), minerales, algo menos que las verduras y las hortalizas y en vitaminas, las más importantes son el β -caroteno y la vitamina C. La naranja es una fruta de escaso valor calórico y bajo contenido de grasa.

Aporta a la dieta una cantidad interesante de fibra soluble (pectinas), cuyas principales propiedades se relacionan con la disminución del colesterol y la glucosa en sangre, así como con el desarrollo de la flora intestinal.

En su composición también cabe destacar la elevada cantidad de ácido ascórbico o vitamina C que contiene (una naranja de tamaño medio aporta 82 mg de vitamina C, siendo 60 mg la ingesta recomendada al día para este nutriente), esta vitamina C favorece la absorción intestinal del hierro. También contiene cantidades apreciables de ácido fólico, y en menor cantidad, provitamina A.

Además, las naranjas aportan carotenoides con actividad provitamínica A (alfa-caroteno, beta-caroteno y criptoxantina). También contiene otros carotenoides sin actividad provitamínica A, como la luteína y la zeaxantina, que están presentes en la retina y el cristalino del ojo. Presentan en su composición ácidos orgánicos, como el ácido málico y el ácido cítrico, que es el más abundante. Además, contienen importantes cantidades de los ácidos hidroxicinámicos, ferúlico, caféico y *p*-cumárico, ordenados de mayor a menor en función de su actividad antioxidante. (Moreiras O, 2009)

Las naranjas son ricas en flavonoides. Los más conocidos son: hesperidina, neoshesperidina, naringina, narirutina, tangeretina y nobiletina, a los cuales se les han atribuido múltiples funciones. El género *citrus* es el más importante de la familia de las Rutáceae, consta de unas 20 especies con frutos comestibles, todos ellos ricos en vitamina “C”, flavonoides, ácido fólico y minerales como el potasio y magnesio. (del Pozo S. 2011).

Tabla I-2

Composición Nutricional de la Naranja

| Valor nutricional de la naranja en 100g de sustancia comestible | |
|--|---------|
| Agua | 87,1 g |
| Proteína | 1 g |
| Hidratos de carbono | 12,2 g |
| Lípidos | 0,2 g |
| Calorías | 49 kca |
| Vitamina A | 5 mcg |
| Vitamina B1 | 0,1 mg |
| Vitamina B2 | 0,03 mg |
| Vitamina B6 | 0,03 mg |
| Ácido nicotínico | 0,2 mg |
| Ácido pentatónico | 0,2 mg |
| Vitamina C | 50 mg |
| Ácido cítrico | 980 mg |
| Ácido oxálico | 24 mg |
| Sodio | 0,3 mg |
| Potasio | 170 mg |
| Calcio | 41 mg |
| Magnesio | 10 mg |
| Manganeso | 0,02 mg |
| Hierro | 0,4 mg |
| Cobre | 0,07 mg |
| Fósforo | 23 mg |
| Azufre | 8 mg |
| Cloro | 4 mg |

Fuente: Composición Nutricional de Alimentos Bolivianos., 2015

1.4 Características Fisicoquímicas de la Naranja

Las características fisicoquímicas de la naranja dependen de varios factores algunos de ellos son las condiciones climáticas, el tipo de suelo, los fertilizantes utilizados, la variedad, la edad de la planta, tiempo de cosecha. En la tabla 1-3 se muestra la composición fisicoquímica de la naranja, según Benítez Vega D. G. (2016).

Tabla I-3

Características fisicoquímicas de la naranja

| Característica | Unidades | Valor Promedio |
|--------------------------|----------|----------------|
| Peso entera | g | 283,21 |
| Peso sin cáscara | g | 224,06 |
| Corteza | % | 20,8 |
| pH | | 4,2 |
| Acidez | % | 0,91 |
| Sólidos solubles Totales | °Brix | 11,76 |
| Agua | % | 87 |
| Cenizas | g | 1,2 |
| Vitamina C | mg/100 g | 71 |

Fuente: Benítez Vega D. G., 2016

Los residuos o desechos de los cítricos son principalmente cáscaras, semillas y membranas capilares, a partir de estos desechos se pueden obtener productos tales como las harinas cítricas, pectina cítrica, aceites esenciales, pigmentos y productos cítricos especiales, también se pueden obtener productos bioactivos que tienen muchos efectos beneficiosos para la salud tales como la fibra y los polifenoles en especial los flavonoides (Girard B y Mazza G. 1998).

En la tabla I-4, Cerón I. y Cardona C. (2010), presenta las características fisicoquímicas, de la cascara de la naranja, cuyos datos son una aproximación.

Tabla I-4***Composición fisicoquímica aproximada de la cáscara de naranja***

| Parámetro | Unidad | Valor |
|--------------------|---------------|--------------|
| Sólidos solubles | ° Brix | 7,1 ± 1,2 |
| pH | | 3,93 ± 0,03 |
| Total de acidez | g | 0,29 ± 0,03 |
| Índice de formol | | 34 ± 2,4 |
| Humedad | % | 85,9 ± 1,6 |
| Grasas | % (DM) | 1,55 ± 0,17 |
| Cenizas | % (DM) | 3,29 ± 0,19 |
| Proteínas | % (DM) | 6,16 ± 0,23 |
| Carbohidratos | % (DM) | 89,0 ± 1,1 |
| Azúcares neutrales | | 3,8 ± 0,3 |
| Ácido urónico | | 7,1 ± 0,9 |
| Lignina | | 3,2 ± 0,4 |
| Pectina | % (DM) | 17,0 ± 5,0 |

DM, Materia seca

Fuente: Cerón I. y Cardona C., 2010.

1.5 Producción de la Naranja**1.5.1 Producción Mundial de Naranja**

De acuerdo a un informe del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA) la producción mundial de naranjas a nivel mundial 2023-2024 aumentará ligeramente hasta 48,8 millones de toneladas, ya que la menor producción de Brasil y la Unión Europea se verá compensada por las mayores cosechas de Argentina, Estados Unidos y México. Tanto el consumo como las exportaciones aumentarán con el incremento de la producción. En Estados Unidos se prevé un aumento de la producción de 280.000 toneladas, hasta los 2,5 millones, gracias a rendimientos más altos y a una climatología favorable.

En China se prevé un ligero aumento de la producción, que alcanzará la cifra récord de 7,6 millones de toneladas, debido a las favorables condiciones meteorológicas y al

aumento de los árboles frutales en la provincia de Jiangxi. Las importaciones y exportaciones se mantienen estables. En el caso de la Unión Europea disminuirá en 89.000 toneladas, hasta los 5,5 millones, debido a un verano seco e inusualmente cálido. A pesar de la reducción de la producción de naranjas, se prevé que se importen menos naranjas debido a la menor demanda. Se espera que Egipto y Sudáfrica sigan siendo los principales proveedores. (Comité de Cítricos 2020).

1.5.2 Producción de naranjas en Bolivia

La producción de frutos cítricos en Bolivia se presenta en cantidades muy expectables, en especial en lo que se refiere a la naranja que en estos últimos años a incrementando su producción de forma muy satisfactoria (Argote. D. G. 2020). En la Tabla I-5, se establece la importancia de la producción de cítricos, según el INE (2023)

Tabla I-5

Superficie, producción y rendimiento de cítricos en Bolivia

| DESCRIPCIÓN | SUPERFICIE (ha) | | PRODUCCIÓN (Toneladas) | | RENDIMIENTO (kg/ha) | |
|----------------|------------------|------------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) |
| Bolivia | 54,465.18 | 54,601.99 | 455,443.94 | 457,107.19 | 40,415.25 | 40,277.43 |
| Lima | 945.72 | 948.07 | 6,808.19 | 6,760.74 | 7,198.97 | 7,131.06 |
| Limón | 3,384.92 | 3,388.93 | 25,763.6 | 25,867.4 | 7,611.28 | 7,632.92 |
| Mandarina | 26,763.53 | 26,830.30 | 228,833.9 | 231,703.4 | 8,550.22 | 8,635.89 |
| Naranja | 22,930.82 | 22,995.43 | 190,181.7 | 188,971.6 | 8,293.72 | 8,217.79 |
| Pomelo/toronja | 440.19 | 439.27 | 3,856.5 | 3,804.0 | 8,761.07 | 8,659.77 |

(p) Datos preliminares

Fuente: Instituto Nacional de Estadística I.N.E., 2023.

De igual forma la producción de cítricos en el departamento de Tarija de importante, en cuanto se refiere a superficie y producción, en la tabla I-6 se muestra estos que para la gestión Agrícola 2021-2022 la superficie cultiva fue de 1817.2 ha (hectárea), con una producción de 11,310.1 toneladas con un rendimiento de 31,888.0 kg/ha (kilogramos por hectárea), datos proporcionados por el INE (2023), datos preliminares.

Tabla I-6***Superficie, producción y rendimiento de cítricos en el departamento de Tarija***

| DESCRIPCIÓN | SUPERFICIE (ha) | | PRODUCCIÓN (Toneladas) | | RENDIMIENTO (kg/ha) | |
|----------------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) |
| Tarija | 1,812.3 | 1,817.2 | 11,042.9 | 11,310.1 | 31,300.0 | 31,888.0 |
| Lima | 65.00 | 65.29 | 384.8 | 394.6 | 5,920.00 | 6,044.27 |
| Limón | 243.63 | 244.10 | 1,574.6 | 1,596.4 | 6,463.00 | 6,540.14 |
| Mandarina | 547.59 | 548.96 | 3,409.8 | 3,539.0 | 6,227.00 | 6,446.74 |
| Naranja | 905.73 | 908.21 | 5,331.1 | 5,431.6 | 5,886.00 | 5,980.58 |
| Pomelo/toronja | 50.34 | 50.68 | 342.5 | 348.5 | 6,804.00 | 6,876.27 |

(p) Datos preliminares

Fuente: Instituto Nacional de Estadística I.N.E., 2023.

La producción de naranja en el país ha tenido un incremento sostenible durante los últimos años, por lo que se hace imprescindible la búsqueda de opciones de industrialización e incremento de valor agregado para dicho producto como ser la producción de zumos, producto que en la actualidad es desarrollado en baja escala, mermeladas, jaleas, concentrados, alimento balanceado, pectinas, esencias o aceites esenciales, entre otros. (Argote. D. G. 2020). La tabla I-7 resumen los datos sobre la superficie, producción y rendimiento del cultivo de naranja para Bolivia y para cada uno de los 9 departamentos, para las últimas gestiones agrícolas 2020-2021 y 2021-2022. (INE. 2023)

Tabla I-7***Superficie, producción y rendimiento de naranja en Bolivia y por departamento***

| DESCRIPCIÓN | SUPERFICIE (ha) | | PRODUCCIÓN (Toneladas) | | RENDIMIENTO (kg/ha) | |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------------|--------------|---------------------|----------------|
| | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) |
| Bolivia | 22,930.8 | 22,995.4 | 190,181.70 | 188,971.62 | 8,293.7 | 8,217.8 |
| Cochabamba | 12,546.3 | 12,601.2 | 88,200.32 | 87,282.83 | 7,030.0 | 6,926.5 |
| La Paz | 7,237.9 | 7,236.5 | 74,339.96 | 73,487.01 | 10,271.0 | 10,155.0 |
| Santa Cruz | 1,398.4 | 1,403.3 | 14,375.74 | 14,800.87 | 10,280.0 | 10,547.1 |
| Tarija | 905.7 | 908.2 | 5,331.14 | 5,431.59 | 5,886.0 | 5,980.6 |
| Chuquisaca | 298.4 | 300.6 | 3,994.65 | 4,038.36 | 13,387.0 | 13,435.8 |
| Beni | 476.3 | 477.1 | 3,570.04 | 3,563.78 | 7,496.0 | 7,469.5 |
| Pando | 50.7 | 51.3 | 272.40 | 268.94 | 5,373.0 | 5,246.7 |
| Potosí | 17.2 | 17.3 | 97.44 | 98.23 | 5,669.0 | 5,690.1 |
| Oruro | - | - | - | - | - | - |

(p) Datos preliminares

Fuente: Instituto Nacional de Estadística I.N.E., 2023.

1.5.3 Producción de naranja en el departamento de Tarija

La producción de naranja a nivel departamental, según informes estadísticos del INE (2023), se detalla a continuación en la Tabla I-8.

Tabla I-8***Superficie, producción y rendimiento de naranjas en el departamento de Tarija***

| DESCRIPCIÓN | SUPERFICIE (ha) | | PRODUCCIÓN (Toneladas) | | RENDIMIENTO (kg/ha) | |
|---------------|-----------------|--------------|------------------------|-----------------|---------------------|----------------|
| | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) | 2020-2021(p) | 2021-2022(p) |
| Tarija | 905.7 | 908.2 | 5,331.14 | 5,431.59 | 5,886.0 | 5,980.6 |
| Padcaya | 298.89 | 299.71 | 1759.28 | 1792.43 | 1942.38 | 1973.59 |
| Bermejo | 280.8 | 281.5 | 1652.7 | 1683.8 | 1824.7 | 1854.0 |
| Villamontes | 181.1 | 181.6 | 1066.2 | 1086.3 | 1177.2 | 1196.1 |
| Entre Ríos | 36.2 | 36.3 | 213.2 | 217.3 | 235.4 | 239.2 |
| Yacuiba | 108.7 | 109.0 | 639.7 | 651.8 | 706.3 | 717.7 |

(p) Datos preliminares

Fuente: Instituto Nacional de Estadística I.N.E., 2023.

En el departamento de Tarija las zonas más productoras de cítricos son los municipios de Padcaya, Bermejo y Villamontes. La superficie cultivada con cítricos en el municipio de Padcaya para la gestión 2021-2022 alcanza a 298.89 ha (hectárea), con un rendimiento promedio de 1973.59 kg/ha (kilogramos por hectárea); por lo tanto, es un cultivo de importancia para la región.

1.6 Aceites Esenciales

La función fisiológica de los aceites esenciales en la planta no está bien definida. Mientras puede atribuirse al principio odorífero de las hojas o de las flores cierta utilidad para atraer insectos a su polen, ninguna propiedad análoga se puede aplicar a la esencia presente en otras partes de la planta. La esencia puede posiblemente actuar como protección al ataque satisfactorio en ausencia considerar a los aceites de insectos, pero parece más de cualquier prueba definida, esenciales, igual que a los alcaloides y taninos, como productos de desecho del metabolismo de las plantas. Es todavía un problema el saber si los aceites esenciales se forman en las células epidérmicas, en algunas membranas resinógenas no conectadas con el plasma, o si es el plasma de las células vivas el responsable de esta secreción, se cree que, en general, los aceites esenciales se mueven de un sitio a otro en el interior de la planta durante el proceso de crecimiento. (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007).

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, generalmente destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes). En su gran mayoría son de olor agradable, aunque existen algunos de olor relativamente desagradable como por ejemplo los del ajo y la cebolla, los cuales contienen compuestos azufrados.

Los componentes de los aceites esenciales se encuentran a menudo en las glándulas o espacios intercelulares en el tejido de las plantas. Por lo demás, a menudo se concentra en las semillas, flores, hojas o frutos. Son una mezcla compleja que contienen alrededor de 20 a 60 componentes a diferente concentración. Estos son características por dos o tres componentes mayoritarios, usualmente oxigenados, con una concentración entre 20% y 70% comparados con el resto de los componentes con mucha menor proporción.

Son usados por su atractivo flavor (referido a característica del alimento que se ha percibido), como especias y como agentes saborizantes en alimentos. Unos pocos son valorados por su acción antibacterial y fungicida. Algunos son usados medicinalmente (alcanfor y eucalipto) y otros como repelentes de insectos. Los componentes de los aceites esenciales se encuentran a menudo en las glándulas o espacios intercelulares en el tejido de las plantas. Estos podrían existir en todas las partes de las plantas. (Martínez A, 2009)

Cada aceite esencial contiene las propiedades específicas de la planta de la que se obtiene cuyos componentes químicos sirven para distintas finalidades como ser antibióticos, regeneradores celulares, antisépticos, etc. Son formas altamente concentradas de la parte de la planta de la cual se extraen. Se caracterizan por sus propiedades físicas, como densidad, viscosidad, índice de refracción y actividad óptica. La mayoría de los aceites esenciales tiene una densidad menor a la del agua excepto los aceites de almendras amargas, mostaza, canela, perejil o clavo. El índice de refracción es una propiedad característica de cada aceite esencial y cambia cuando este se diluye o mezcla con otras sustancias. (Ortuño M, 2006).

1.6.1 Características de los Aceites Esenciales

1.6.1.1 Características físicas

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, debido a su volatilidad y su difusión a temperatura ambiente, se los denomina también aceites volátiles, aceites etéreos o esencias. Su coloración depende del tipo de materia empleada, siendo en su mayoría incoloros y ligeramente amarillos. Son solubles en alcoholes, en disolventes orgánicos habituales, como éter o cloroformo y escasamente solubles en agua. (Mendoza Padilla. M. G. & Pérez Avalos Y. 2016).

El aceite esencial es incoloro, esta característica es común en los aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación asistida por microondas, sin embargo, los aceites esenciales obtenidos por otros métodos sí tienen coloración, esto se debe seguramente al tiempo prolongado que suponen los otros métodos y al hecho de que la hidrodestilación asistida por microondas actúa directamente en los compartimentos que contiene el aceite esencial liberándolo, sin prácticamente afectar al resto de estructuras vegetales, sin embargo cuando la exposición a microondas es prolongada o más intensa el aceite obtenido presenta coloración amarillenta, lo cual viene acompañado de un olor desagradable. (Cerna Mejía & Torres Orzelís, 2020)

1.6.1.2 Características químicas

Los aceites esenciales son productos químicos que forman las esencias odoríferas de un gran número de vegetales y dan ese aroma característico a las plantas. Los aceites esenciales son líquidos volátiles, en su mayoría insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter, aceites vegetales y minerales.

Los componentes de los aceites esenciales según Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. (2007) se clasifican en terpenoides y no terpenoides.

- **No terpenoides:** En este grupo tenemos sustancias alifáticas de cadena corta, sustancias aromáticas, sustancias con azufre y sustancias nitrogenadas. No son tan importantes como los terpenoides en cuanto a sus usos y aplicaciones.

- **Terpenoides:** Los terpenos derivan de unidades de isopreno (C_5) unidas en cadena; pueden ser alifáticos, cíclicos o aromáticos. Son una clase de sustancia química que se encuentra en los aceites esenciales, resinas y otras sustancias aromáticas de muchas plantas. Los aceites esenciales pueden estar constituidos por monoterpenoides (C_{10}), aunque también son comunes los sesquiterpenoides (C_{15}) y en menor cantidad los diterpenos (C_{20}).

1.6.2 Clasificación de los Aceites Esenciales

Los aceites esenciales se pueden clasificar en base a diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

Consistencia: Se clasifican en:

- **Esencias:** son líquidos volátiles a temperatura ambiente.
- **Bálsamos:** son extractos naturales obtenidos de un arbusto o un árbol. Se caracterizan por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes ésteres. Son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización,
- **Resinas:** son productos amorfos sólidos o semisólidos de naturaleza química compleja. Pueden ser de origen fisiológico o fisiopatológico. Por ejemplo, la colofonia, obtenida por separación de la oleoresina trementina. Contiene ácido abiético y derivados

Origen: Se clasifican como:

- **Naturales:** se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas.
- **Artificiales:** se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de

esencias de rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalol, o la esencia de anís enriquecida con anetol.

- **Sintéticos:** como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, etc.). (Mendoza Padilla. M. G. & Pérez Avalos Y. 2016).

Naturaleza química:

El contenido total de aceites esenciales en una planta es generalmente bajo (inferior al 1%) pero mediante su extracción se obtienen en una forma muy concentrada que se emplea en los diversos usos industriales. La mayoría de ellos, son mezclas muy complejas de sustancias químicas. La proporción de estas sustancias varía de un aceite a otro, y también durante las estaciones, a lo largo del día, bajo las condiciones de cultivo y genéticamente.

Según la estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, estos se dividen en tres grupos principales:

- Monoterpenoides (linalol, nerol, 1 – 8 cineol, geraniol).
- Sesquiterpenoides (farnesol, nerolidol).
- Compuestos oxigenados: alcoholes, aldehídos, cetonas.

Los aceites esenciales o esencias son un conjunto de compuestos procedentes del metabolismo secundario de especies vegetales. Éstos se caracterizan generalmente por ser mezclas complejas, llegando a estar formadas por más de 100 moléculas diferentes de bajo peso molecular como son alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos, terpenoides y fenilpropanoides. (Martínez. A., 2009)

Estos diferentes compuestos son producidos por la planta en su metabolismo secundario cumpliendo diferentes papeles de relación con el medio:

Planta-Animal: pueden ejercer de sustancias atrayentes de polinizadores, o de repelentes frente a depredadores por su toxicidad como es el caso de los volátiles

producidos por diferentes especies (*Tanacetum cinerariifolium*, *Tagetes sp.*, *Brassica hirta*, *Artemisia absinthium*, *Lavandula angustifolia*) como indica Raner K. y Mokbel L. 1993. Además de su posible toxicidad, los compuestos pueden atraer a depredadores de los depredadores de la propia planta para protegerse de estos últimos (Song L. y Zhang Y. 2011).

-Planta-Planta: el efecto que pueden tener algunos volátiles como los que componen las esencias es ser una señal de alarma para sintetizar compuestos que les protejan de un posible peligro como puede ser un herbívoro, posibilitando así la supervivencia de la población esto ocurre no sólo entre ejemplares de la misma especie si no que esta señal de alarma puede ser captada por otras plantas haciendo que toda la comunidad vegetal capte y se prepare para el peligro antes de sufrirlo cada individuo. En contraposición, también pueden ejercer efecto alelopático impidiendo la germinación de semillas evitando tener que competir por los recursos del medio en el que se encuentren. (Song L. y Zhang Y. 2011)

-Planta-Otros organismos: algunos compuestos como α -terpineol y terpineno, carvacrol tienen propiedades antibacterianas o antifúngicas. protegiendo de la infección de algunos organismos en la planta (Chan C. & Kung F. 2011).

Además de estas relaciones, estas esencias cumplen labores de regulación metabólica en situaciones de estrés como puede ser hídrico. ya que al volatilizarse antes que el agua permite una termorregulación de la planta en caso de altas temperaturas y/o bajos niveles de agua disponible. Se acumulan en diferentes estructuras y cavidades como conductos específicos, idioblastos secretores o en pelos o tricomas glandulares. En el caso de la familia Rutaceae y de los ejemplares estudiados se acumulan especialmente vesículas en el pericarpio del fruto, o en la epidermis de las hojas (Castroviejo S. 2020).

Su composición química es variable y pueden darse diferencias, tanto cualitativas como cuantitativas en función de distintos factores como citan Figueiredo, A. 2008 y que vamos a clasificar como:

- Extrínsecos a la propia planta:

- Bióticos: causados por herbívoros, patógenos u otras plantas.
- Abióticos: causados por temperaturas, precipitaciones y otros factores ambientales como el pH del suelo o contaminación del ambiente.
- Intrínsecos de la propia planta:
- Parte de la planta: dependiendo de la función de la parte de la planta o del compuesto sintetizado por la misma puede cambiar la composición.
- Estado fenológico de la planta.
- Genética.

Las esencias de los cítricos son aceites volátiles o esenciales típicos, constituidos por mezclas de terpenos, sesquiterpenos, alcoholes superiores, aldehídos cetonas, ácidos, ésteres y alcanfores o ceras. (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007).

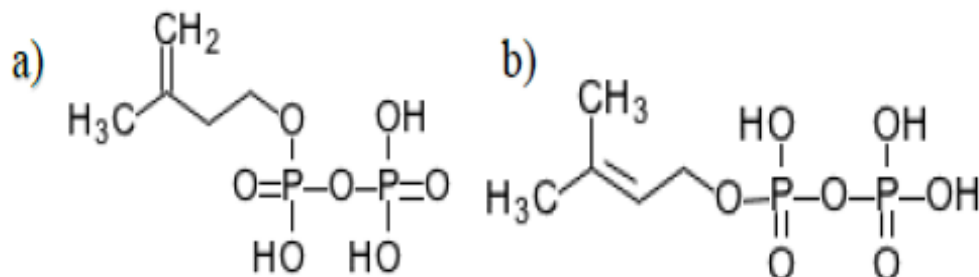
1.6.3 Síntesis de Aceites Esenciales Terpenoides y Arilpropanoides

Los compuestos que dan lugar a los aceites esenciales proceden del metabolismo secundario y se pueden dividir en dos grandes grupos Terpenoides y Arilpropanoides.

1.6.3.1 Terpenoides

Los terpenoides son los principales compuestos que conforman los aceites esenciales, son derivados del isopreno (2-metil-1.3-butadieno), un hidrocarburo de 5 átomos de carbono. A pesar del nombre de terpenos. sus precursores metabólicos son por un lado el isoprenil-pirofosfato (IPP) y su isómero dimetil-alil-pirofosfato (DMAPP).

El isoprenil-pirofosfato es el punto de partida de la síntesis de los terpenos, carotenoides y esferoides. El primer paso consiste en la conjugación cabeza-cola de dos moléculas de isoprenil-pirofosfato para dar geranil-pirofosfato que posteriormente se transforma en farnesil-pirofosfato. (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007).

Figura I-11***Los terpenoides***

a) Isopentenil-pirofosfato (IPP), b) Dimetil-alil-pirofosfato (DMAPP).

Fuente: Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J., 2007

Ambos compuestos se forman por dos rutas metabólicas:

1. Ruta del ácido mevalónico en citoplasma y retículo endoplasmático.
2. Ruta de la desoxixilulosa-5-fosfato (DXP) en cloroplastos.

Por ambas se produce IPP y mediante la IPP isomerasa se puede transformar en su isómero DMAPP. Consecutivas uniones de estos precursores conforman diferentes estructuras terpenicas. El enlace entre IPP y el DMAPP tiende a ser normalmente entre el C1 del primero y el C4 del segundo, conociéndose como "unión cabeza-cola" aunque existen otras en función del carbono por el cual se unían.

La unión "cabeza-cola" da lugar al primer monoterpeno regular, geranil pirofosfato (GPP). y de este mediante delación, reordenamiento u oxidación del GPP se forman el resto de los monoterpenos. (Owen S & Peñuelas J. 2013)

1.6.3.2 Arilpropanoides

Los arilpropanoides son otro conjunto de compuestos que se pueden encontrar en los aceites esenciales, son derivados de la fenilalanina y tirosina mediante la ruta del ácido shikímico cuya fórmula es, C₇H₁₀O₅, con una masa molar de 174,15 g/mol.

La formación del ácido shikímico ocurre a partir de precursores de 3 y 4 átomos de carbono como son el fosfoenolpiruvato (FEP) y la eritrosa-4-fosfato (E4P).

Este precursor es convertido posteriormente en los aminoácidos fenilalanina o tirosina, los cuales por acción de amoniasas dan origen bien sea al ácido cinámico o *p*-hidroxicinámico (también llamado ácido *p*-cumárico por otros autores). Estos dos ácidos aromáticos son los precursores directos de los fenilpropanos naturales.

1. La fenilalanina se desanima al ácido cinámico, y por hidroxilación se obtiene *p*-cumárico.
2. La tirosina se desanima al ácido *p*-cumárico.

Los derivados de estos compuestos son conocidos como fenilpropanoides. Los fenilpropanoides son una familia diversa de compuestos orgánicos que las plantas sintetizan a partir de los aminoácidos naturales fenilalanina y tirosina. (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007).

1.7 Aceite Esencial de Naranja

El naranjo, es un árbol, del cual se puede obtener distintos tipos de productos aromáticos, según la parte que sea utilizada. De sus flores se obtiene la esencia de neroli o azahar, de sus hojas se obtiene la esencia de petit-grain y de la cáscara de sus frutos se obtiene la esencia o el aceite esencial de naranja. Estas esencias tienen una variedad de aplicaciones en la industria de sabores y fragancias. El aceite esencial de naranja se encuentra principalmente en sacos de forma ovalada en el flavedo o en la porción anaranjada de la cáscara y actúa como una bañera toxica natural para muchos microorganismos e insectos.

La recuperación del aceite se efectúa generalmente por métodos mecánicos “presión en frío de la cáscara”: sin embargo, también se realiza el proceso de extracción del aceite por medio de hidrodestilación. destilación con vapor, hidrodestilación asistida por microondas, extracción con solvente y extracción con fluidos supercríticos (CO₂). (Espinal C., Martínez H., y Peña Y. 2005).

La calidad del aceite depende de factores que influyen sobre la composición como las condiciones geobotánicas del medio (clima, altitud, tipo de suelo, cantidad de lluvias, etc.), edad de la planta y estado fenológico. método de cultivo (uso de fertilizantes, abono, pesticidas, otros químicos, etcétera.), época de recolección, modo de manejo y almacenamiento del material vegetal (fresco, seco, fermentado, etc.) y método de obtención del aceite. (Cerón I. y Cardona C. 2010).

El aceite esencial de naranja es incoloro y posee el olor característico de la naranja, esta característica es común en los aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación asistida por microondas, sin embargo, los aceites esenciales obtenidos por otros métodos sí tienen coloración, esto se debe seguramente al tiempo prologando que suponen los otros métodos y al hecho de que la hidrodestilación asistida por microondas actúa directamente en los compartimentos que contiene el aceite esencial liberándolo, sin prácticamente afectar al resto de estructuras vegetales, sin embargo cuando la exposición a microondas es prologada o más intensa el aceite obtenido presenta coloración amarillenta, lo cual viene acompañado de un olor desagradable. (Cerna Mejía & Torres Orzelís 2020).

Las propiedades físicas del aceite esencial de la cáscara de la naranja se registran en la tabla I-9

Tabla I-9***Propiedades fisicoquímicas de aceite esencial de la cáscara de naranja***

| Propiedad | Valor |
|----------------------|--------------|
| Índice de refracción | 1,458 ± 0,12 |
| Gravedad Específica | 0,843 ± 0,10 |
| pH | 4,3 ± 0,01 |

Fuente: Cerón I. y Cardona C., 2010.

A nivel de Bolivia se cuenta con las características físicas de la naranja criolla establecidas por Benítez Vega D. G. (2016), en su trabajo “*Extracción de aceite esencial de la cáscara de naranja*”, datos que se resumen en la tabla I-10

Tabla I-10***Composición fisicoquímica se la cáscara de naranja***

| Composición fisicoquímica de la naranja criolla | |
|--|--------------|
| Parámetro | valor |
| Humedad% | 70,87 |
| Grasa% | 0,5 |
| Ceniza% | 1,25 |
| Proteína% | 1,01 |
| Carbohidratos% | 21,89 |
| Azúcares totales | 8,92 |
| Fibra | 4,48 |

Fuente: Benítez Vega D. G., 2016

Propiedades organolépticas

Son fácilmente alterables o sensibles a la oxidación, aunque no se enrancian como los lípidos. Poseen tendencia a polimerizarse, dando lugar a la formación de productos resinosos, especialmente aquellos que contienen alcoholes terpénicos insaturados, variando su olor, color y viscosidad. Son aceites grasos, fácilmente solubles en solventes orgánicos, como éter de petróleo, cloroformo, benzol o alcohol absoluto: y casi insolubles en agua, a la que comunican su olor. (Pérez M. 2006)

El aceite de naranja presenta las siguientes propiedades organolépticas que se muestran en la Tabla I-11

Tabla I-11***Información organoléptica del aceite esencial de la naranja***

| Propiedad | Detalle |
|------------------|--|
| Apariencia | Líquido transparente |
| Color | Incoloro |
| Olor | Característico, cítrico, fresco, intenso |

Fuente: Pérez M., 2006

1.7.1 Composición del aceite esencial de naranja

Los aceites esenciales se encuentran en el epicarpio de la fruta de los cítricos, a diferentes profundidades del epicarpio (flavedo), se encuentran situados, junto con los cromoplastos, numerosos sacos o glándulas de esencia cuya pared celular no es del tipo corriente de las paredes de las demás células, sino que se encuentran formados por tejidos que no presentan ningún tipo de comunicación con los tejidos que los circundan.

Las células que lo rodean a las glándulas de esencia contienen una solución de azúcares sales y coloides que son los que se encuentran sometido a la esencia a una presión de turgencia bastante pronunciada, que desempeña un papel importante en todos los métodos existentes para la extracción de las esencias de agrios.

Es debido a la presión el hecho de que la corteza de algún fruto cítrico es doblada, la esencia es lanzada con cierta fuerza y a una distancia considerable, por lo contrario, si la corteza del fruto es sometida a la esencia, esta no podía ser extraída ni siquiera por medios tan energéticos como la destilación ya que las mencionadas glándulas receptoras no se rompen fácilmente.

Los sacos o glándulas que contienen los aceites esenciales de los agrios se encuentran a diferentes profundidades en el flavedo y no poseen el mismo tamaño variando su diámetro aproximadamente esta entre 0.4 y 0.6 milímetros.” (Braverman J. 2010)

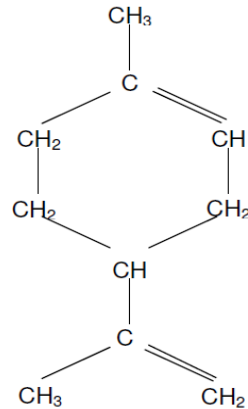
Los compuestos mayoritarios del aceite esencial corresponden a los monoterpenos, es decir unidades terpenicas de 10 carbonos (C-10), y los sesquiterpenos, unidades

terpénicas de 15 carbonos (C-15) no oxigenados, tal como los monoterpenos limoneno. β - mirceno. α - pineno, γ - terpinoleno son los más representativos.

Los monoterpenos son sustancias lipófilas, volátiles, responsables del olor característico de muchas plantas. Estos compuestos se han encontrado en cerca de cincuenta familias de angiospermas y suelen ser los constituyentes principales de los aceites y resmas gimnospermas. La gran mayoría son compuestos cíclicos que pueden tener uno o dos ciclos. Asimismo, hay monoterpenos acíclicos como el mirceno o linalol. Los monoterpenos son muy apreciados en la industria de los saborizantes y aromas. (Cerón I. y Cardona C. 2010).

Los sesquiterpenos o sesquiterpenoides son los terpenos de 15 carbonos (es decir, terpenoides de un monoterpenoide y medio). Como los monoterpenoide. muchos sesquiterpenoides están presentes en los aceites esenciales. Que aparecen al final de la destilación de los aceites, su concentración suele ser mínima. (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007).

El aceite esencial de naranja está compuesto predominantemente por un 96% de hidrocarburos terpénicos (limoneno en mayor proporción); sin embargo, también contiene 1,6% de aldehídos (principalmente, octanal y decanal), 0,8% de alcoholes (especialmente, linalol), 0,3% de ésteres (acetato de nerilo y acetato de octilo) y 1% de compuestos no volátiles como carotenoides, tocoferoles, flavonoides, hidrocarburos, ácidos grasos y esteróles. (Gaffney, Havekotte, Jacobs & Costa 1996).

Figura I-12***Formula Estructural del d-limoneno***

Fuente: Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J., 2007

El d-limoneno, representa el 90 % aproximadamente de la esencia de naranja, de la que puede obtenerse de la forma más pura. Está contenido, igualmente, en todas las demás esencias de cítricos. Cuando ha sido purificado cuidadosamente este hidrocarburo posee un agradable olor a limón. (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007)

En la tabla I-12, se muestra la composición del aceite esencial de la cascara de naranja

Tabla I-12

Cantidad relativa (%) e identificación de los compuestos volátiles, aislados de las cáscaras de naranja por destilación con vapor

| Nombre Compuesto | Cantidad relativa % |
|-----------------------------|---------------------|
| α -Pinoeno | 0,532 |
| β -felandreno | 0,492 |
| β -mirceno | 1,753 |
| D-Limoneno | 90,967 |
| γ - terpinoleno | 1,649 |
| Octanal | 0,199 |
| Decanal | 0,230 |
| Linalol | 1,267 |
| Octanol | 0,532 |
| Compuestos no identificados | 2,379 |

Fuente: Cerón I. y Cardona C., 2010.

De igual forma, Benítez Vega D. G. (2016), reportan 5 compuestos presentes en el aceite esencial de cáscara de naranja de las variedades criollas, análisis desarrollado por el Centro de Investigaciones Químicas (C.I.Q), datos que se presentan en la tabla I-13

Tabla I-13***Composición química del aceite esencial de cáscara de naranja***

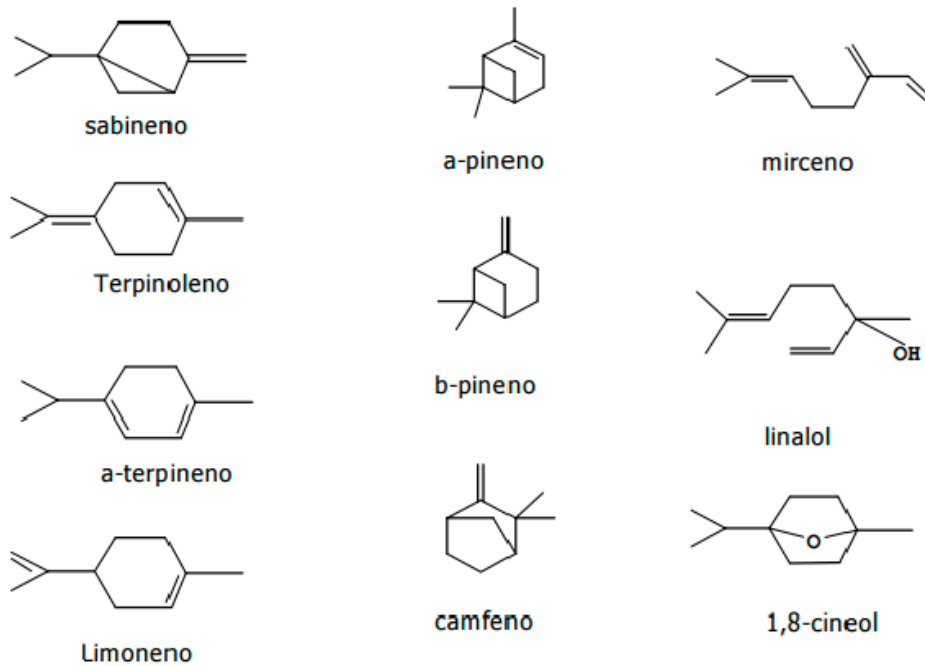
| Composición química | | Composición según datos bibliográficos de Cerón y Cardona (2010) | |
|---------------------|--------------|--|--------------|
| Compuesto | (%) relativo | Compuesto | (%) relativo |
| Limoneno | 98,1 | D-limoneno | 90,967 |
| Mirceno | 0,92 | β -mirceno | 1,753 |
| Linalool | 0,40 | Linalol | 1,267 |
| Pineno | 0,30 | α -Pineno | 0,532 |
| Terpinoleno | 0,14 | γ - terpinoleno | 1,649 |
| N/I | 0,19 | β -felandreno | 0,492 |
| | | Octanal | 0,199 |
| | | Decanal | 0,23 |
| | | Octanol | 0,532 |
| | | N/I | 2,379 |

(N/I. No identificado)

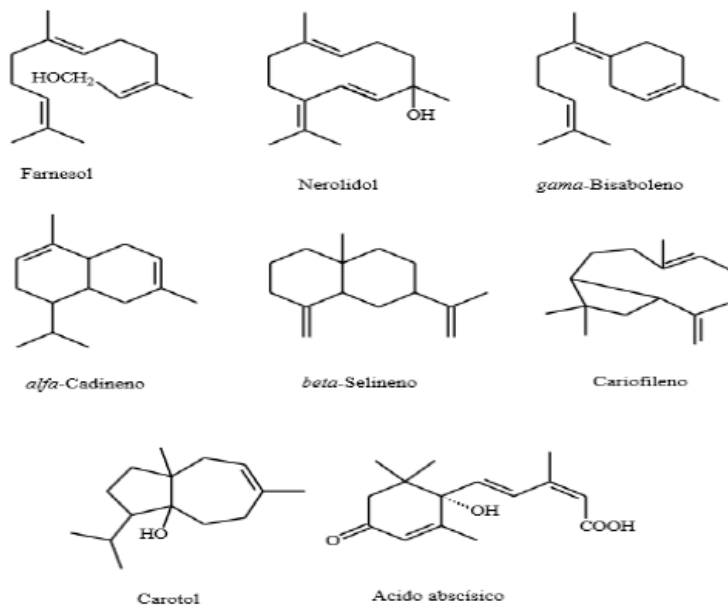
Fuente: Benítez Vega D. G., 2016

1.7.2 Terpenos

Los compuestos más frecuentes en los aceites esenciales derivan del ácido mevalónico y se les cataloga como terpenos, siendo los que más abundan los monoterpenos y los sesquiterpenos, algunos ejemplos de estos tipos de compuestos se pueden observar en las figuras I-14 y I-15 respectivamente. Los aceites esenciales son ingredientes primordiales para la elaboración de perfumes, desinfectantes, jabones, y productos similares. (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007).

Figura I-13.***Formula estructural de un monoterpeno***

Fuente: Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J., 2007.

Figura I-14***Formula Estructural de un sesquiterpeno***

Fuente: Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J., 2007

Los terpenos son una familia conformada por una gran variedad de compuestos cuya característica en común es que tienen un esqueleto conformado por cinco unidades de isopentilo o isopreno (2-metilbuta-1,3-dieno). Se caracterizan por tener sabores y aromas agradables y son frecuentemente usados como saborizantes, desodorantes y en medicamentos, se clasifican de acuerdo al número de isoprenos (5 C), a un terpeno con dos unidades de isopreno se le llama monoterpene; al de cuatro unidades, diterpeno y así sucesivamente (Wade L. G. 2011).

Los terpenoides pueden ser considerados como terpenos modificados donde sus grupos metilo han sido reacomodados o removidos, o a los que se les han añadido átomos de oxígeno. Los cítricos deben su aroma a la presencia de diversos terpenoides; estos se sintetizan en las glándulas que están distribuidas heterogéneamente en el flavedo (12 ml por cada 100 cm² de cáscara), en el albedo no se sintetizan, se encuentran además en el tomate, melón, papaya, fresa y en diversas especias, hierbas y flores (Badui, D.S. 2006).

Los aceites esenciales provenientes de los cítricos presentan monoterpenos y sesquiterpenos, ambos pertenecientes a la familia de los terpenos, entre sus componentes principales también pueden presentar alcoholes, cetonas, aldehídos, ásteres, ácidos carboxílicos entre otros. (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007)

El aceite esencial de naranja se puede encontrar hasta 111 constituyentes volátiles, incluyendo 5 ácidos carboxílicos, 26 alcoholes, 6 cetonas, 25 aldehídos, 31 hidrocarburos y 16 ésteres. Los constituyentes no volátiles representan solo el 1.5 % del aceite esencial de naranja, entre ellas podemos encontrar a las cumarinas, ceras, flavonoides, carotenoides, tocoferoles, esteróles y ácidos grasos. Los compuestos más abundantes en los aceites esenciales en general son los monoterpenos, pero los compuestos que le dan el aroma a los aceites esenciales son los compuestos oxigenados, los cuales son volátiles y son responsables del aroma de las plantas (Moreno, Crescente, Ortiz & Quintero 2006).

1.7.3 Alcoholes

En el aceite esencial de naranja los alcoholes que se pueden encontrar son los siguientes: n-nonil-alcohol (que es el único alcohol alifático), el linalol (que es un alcohol alifático insaturado de tipo terpénico), también se pueden encontrar el geraniol, nerol, citronéol (Horna C. 2015).

El aceite esencial de naranja contiene más del 90 % de D-limoneno, que es su componente mayoritario, además puede contener otros tipos de terpenos en menor proporción (Yáñez X., Mancilla L., & Parada D. 2007).

1.7.4 Aldehídos y Cetonas

Los aldehídos y cetonas tienen el grupo funcional carbonilo, para el caso de los aldehídos el grupo carbonilo al estar unido a un hidrógeno permite que solo pueda estar en un extremo de la cadena, mientras que en las cetonas el grupo carbonilo nunca se encontrará en un extremo de la cadena ya que debe de estar enlazado a otros dos átomos de carbono.

Las cetonas son compuestos orgánicos que tienen al oxígeno dentro de su estructura, son excelentes disolventes volátiles muy utilizados en la industria. Las cetonas son muy abundantes en la naturaleza, algunas tienen olores agradables, debido a esto pueden emplearse como aromatizantes o ingredientes en perfumes.

Las cetonas son constituyentes esenciales en la composición del aroma, a ellas se les otorga el aroma asociado al metal, como ocurre con la mantequilla que ha sufrido oxidación, esta característica se le atribuye principalmente a la 1-octen-3-ona, y a la 2,3-hexanodiona. (Montoya G. 2010).

Casi todos los aldehídos son líquidos excepto el formaldehído, por lo general los aldehídos son usados para la fabricación de perfumes y sabores artificiales, sin embargo, los aldehídos de bajo peso molecular tienen un olor penetrante y desagradable, los aldehídos son incoloros y además son menos densos que el agua.

Los aldehídos están presentes en los aromas de frutas y vegetales cuando estos alcanzan un cierto estado de madurez, está presente cuando se descompone alguna grasa o aceite, además también se encuentran en trazas en algunos alimentos enriqueciendo su aroma, por ejemplo, el benzaldehído es uno de los principales constituyentes que le da el aroma característico a las almendras y a las cerezas (Ruiz Garay Germán y Saavedra Rotta Juan J. 2007).

1.7.5 Ésteres

Los ésteres son una gran familia de compuestos orgánicos con una amplia aplicación en la medicina, la química, la biología y la industria, los ésteres se producen de forma natural en plantas y animales, los aromas agradables de las frutas se deben principalmente a estos compuestos, los ésteres se pueden obtener por la reacción de los ácidos carboxílicos con los alcoholes.

Los ésteres son espasmolíticos, sedantes y antidepresivos, por ejemplo, el apiol, miristicina y anetol son expectorantes, estimulan las glándulas exocrinas, además son antiparasitarios y neurotóxicos (Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (2003).

1.8 Métodos de Extracción de Aceite Esencial

Hay diferentes formas de extraer el conjunto de compuestos que forman los aceites esenciales. Los métodos más tradicionales son por ejemplo la maceración, enflorado, extracción con disolvente orgánico, hidrodestilación o la destilación en corriente de vapor, siendo estos últimos los más destacables por su uso.

Otro método clásico de extracción de aceites esenciales sería mediante prensado en frío, se realiza con muestras cuyos depósitos de aceites esenciales se encuentran en vacuolas encapsuladas que mediante esta técnica se rompen y se obtiene la esencia con facilidad, Ferhat M., Meklati B., & Chemat F. 2007 compara algunos métodos con este.

En diferentes trabajos como los Stashenko E., Jaramillo B., Martínez J. (2004), comparan los diferentes procedimientos para valorar cual sería el más adecuado y óptimo en cada caso. En el caso de la extracción con disolvente orgánico su eficacia depende de la polaridad del solvente que se emplee y de la polaridad de los compuestos de la misma esencia, además de que no se extraen solo aceites esenciales, sino que se obtienen en conjunto a otros compuestos de baja volatilidad que se eliminarán mediante otra técnica. En muchos casos se hallaron diferencias cuantitativas, pero no cualitativas entre las diferentes técnicas.

Además de las técnicas más tradicionales, hay que destacar nuevas técnicas de extracción de esencias:

1.8.1 Destilación

Es el método más usado para la extracción de aceites esenciales, permite procesar grandes cantidades de material vegetal y obtener buenos rendimientos. La destilación se la realiza por los siguientes métodos:

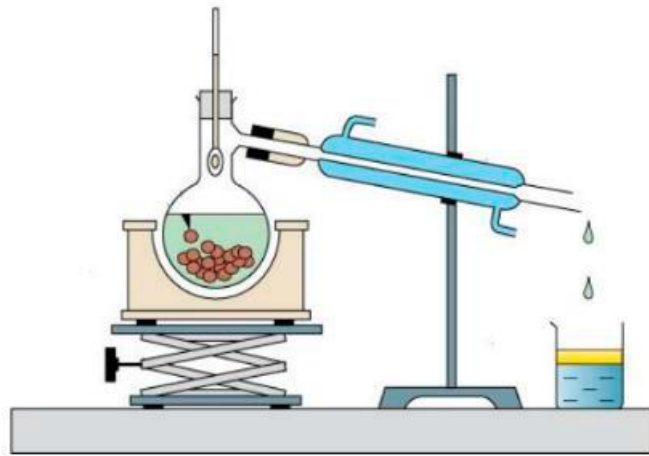
1.8.1.1 Hidrodestilación o Destilación con Agua

En este método, el material está completamente sumergido en agua, el cual es hervido aplicando calor por fuego directo, camisa de vapor, camisa de vapor cerrada, serpentín de vapor cerrado o serpentín de vapor abierto. La característica principal de este

proceso es que hay contacto directo entre agua hirviendo y material de la planta aromática a extraer. (Rassem H., Nour A., & Yunus R. M. 2016).

Figura I-15

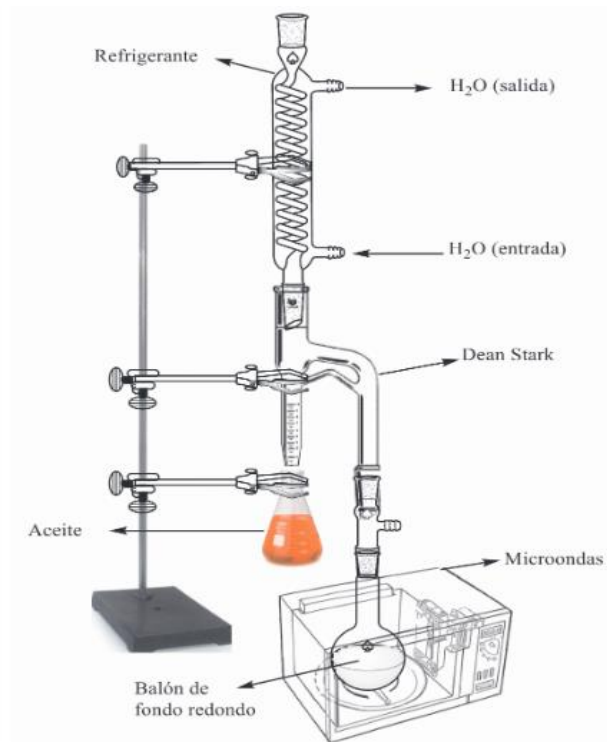
Hidrodestilación o Destilación con Agua



Fuente: Rassem H., Nour A., & Yunus R. M., 2016

1.8.1.2 Hidrodestilación asistida por radiación con microondas

En este tipo de extracción la irradiación de ondas que interactúan con agua produce un calentamiento localizado, es decir, hay un aumento considerable de temperatura, causando variaciones superiores al punto de ebullición, consecuentemente las paredes o bolsas de las glándulas secretoras del material vegetal, sufren un aumento del volumen provocando su ruptura, así, los contenidos de los metabolitos fluyen hacia el medio disolvente, lo que hace más efectiva la extracción. (Torrenegra, M. E., Granados C., Osorio M. R. & León G. 2015)

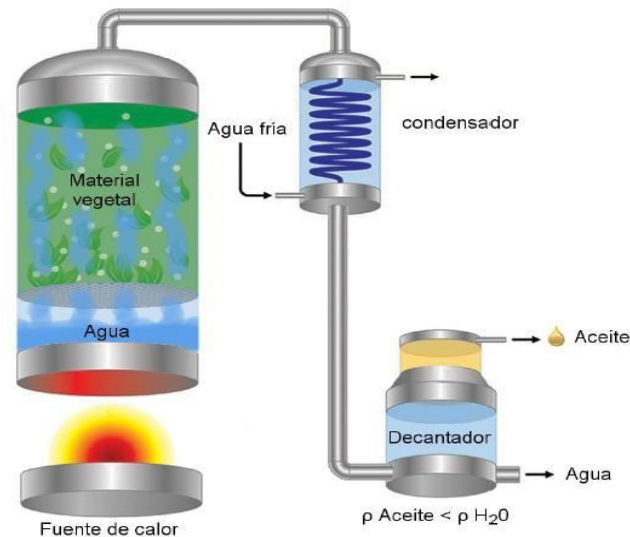
Figura I-16***Equipo de hidrodestilación por radiación de microondas***

Fuente: Torrenegra, M. E., Granados C., Osorio M. R. & León G., 2015

1.8.1.3 Extracción con agua y vapor

En este caso el vapor es generado dentro del propio cuerpo del extractor, aunque separado del material vegetal, que se encuentra suspendido sobre un tramado (falso fondo) que impide el contacto del material vegetal con el medio líquido en ebullición. Una vez iniciado el proceso, el agua dentro del alambique se lleva hasta ebullición y el vapor generado in situ pasa a través del material vegetal. Consecuentemente, se evita que el material vegetal se queme, ya que la cámara de agua lo protege del calentamiento directo.

Es importante que el vapor de agua generado pase a través de la carga uniformemente para garantizar la extracción completa de la esencia. (José Barotto 2017).

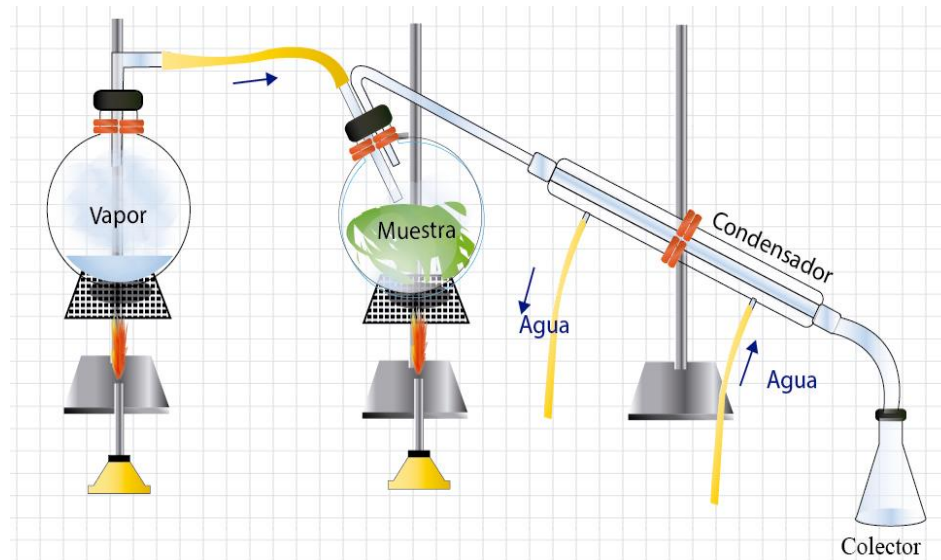
Figura I-17***Extracción con vapor y agua***

Fuente: José Barotto., 2017

1.8.1.4 Extracción por arrastre de vapor

En el método de extracción por arrastre de vapor, la materia prima y el vapor de agua no se encuentran en contacto directo, el vapor es generado externamente en otro recipiente para luego ser introducido al recipiente que contiene la muestra, el tubo que inyecta el vapor llega hasta el fondo del recipiente que contiene la muestra tal como se muestra en la figura, de esta manera el vapor se dispersa uniformemente sobre la muestra arrastrando consigo los aceites esenciales para su posterior condensación

La condición más importante para que este tipo de destilación se pueda llevar cabo es que tanto el componente volátil como las impurezas sean insolubles en agua ya que el producto destilado formará dos fases al condensarse, esto permitirá la separación del producto con el agua. La presión total del sistema será la suma de presiones de todos los componentes de la mezcla orgánica y del agua. La temperatura de ebullición permanecerá constante mientras ambos líquidos estén presentes en la fase líquida, en el momento que uno de los líquidos se elimine por la misma ebullición de la mezcla la temperatura ascenderá bruscamente. (Cerna Mejía & Forres Orzelís 2020)

Figura I-18***Extracción por arrastre de vapor***

Fuente: Cerna Mejía & Forres Orzelís, 2020.

1.8.2 Expresión mecánica

Este tipo de procesos son generalmente aplicados a cítricos. La extracción del aceite se realiza sobre la fruta entera o sobre la cáscara, de manera manual o mecánica. El proceso se basa en la ruptura de las glándulas secretoras de aceite y en recolectar la esencia. La extracción del aceite se produce en una serie de etapas:

1. Corte de la epidermis y de las células que contienen la esencia
2. Creación de zonas de mayor presión desde donde fluye la esencia hacia el exterior
3. Abrasión de la cáscara (Casado I. 2018).

1.8.3 Extracción con disolventes

El método por disolvente consiste en usar disolventes volátiles, la materia prima a ser usada es secada y molida se pone en contacto con estos disolventes orgánicos tales como alcohol, cloroformo, ente otros.

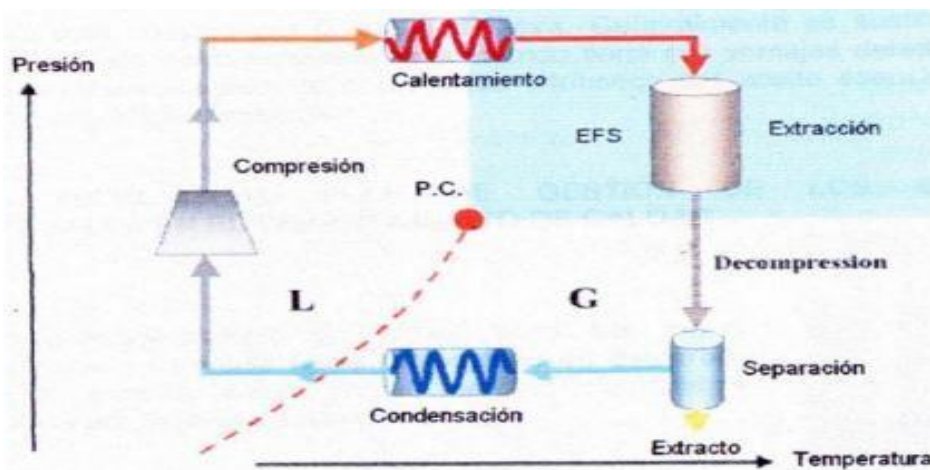
Estos disolventes orgánicos actúan disolviendo la esencia de la materia prima pero también extraen y solubilizan otras sustancias que se encuentran dentro del material tales como grasas y ceras. (Albarracín G. 2003)

1.8.3.1 Extracción por fluidos supercríticos

Consiste en utilizar como material de arrastre sustancias químicas en condiciones especiales de temperatura y presión. El material vegetal se corta en trozos pequeños, se licua y se empaqueta en una cámara de acero inoxidable por donde se hace circular un líquido supercrítico. Los aceites esenciales se solubilizan y el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente. Finalmente se obtiene un aceite puro. (Peredo H., Palou E., y López A. 2009).

Figura I-19

Extracción por fluidos supercríticos



Fuente: Peredo H., Palou E., y López A., 2009.

1.9 Obtención de Aceite Esencial Hidrodestilación Asistida por Microondas (HDAM)

En los numerosos artículos publicados que comparan a la Hidrodestilación asistida por microondas (HDAM) con otros métodos de extracción avanzados y convencionales, ha

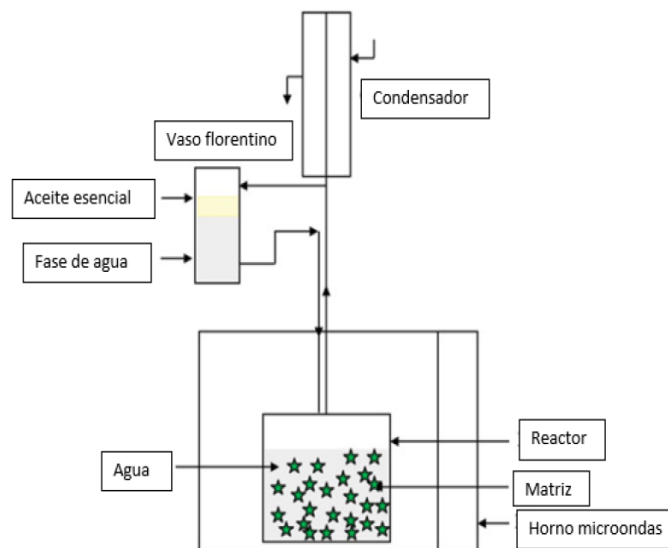
sido aceptado como una alternativa potencial y poderosa para la extracción de compuestos orgánicos de materiales vegetales (Yuan L., 2012).

El proceso de hidrodestilación por microondas (HDAM). que fue desarrollado por Stashenko, Jaramillo y Martínez (2004). se basa completamente en el principio clásico de hidrodestilación solo que una parte de la línea de montaje de hidrodestilación se coloca en el horno microondas.

Una mejora de Hidrodestilación asistida por microondas (HDAM) fue desarrollada por Flamini G. (2007) en la cual se introducía una antena coaxial de microondas dentro de un matraz de vidrio que contenía la matriz y agua, el calentamiento mediante microondas in situ podría ser más seguro y versátil, además se mostró las ventajas de ahorro de tiempo y energía, esto llevado a un nivel industrial podría ser muy útil.

Figura I-20

Extracción con microondas sin disolventes



Fuente: Chemat F, Abert-Vian M., Zill-e-Huma Y. (2009)

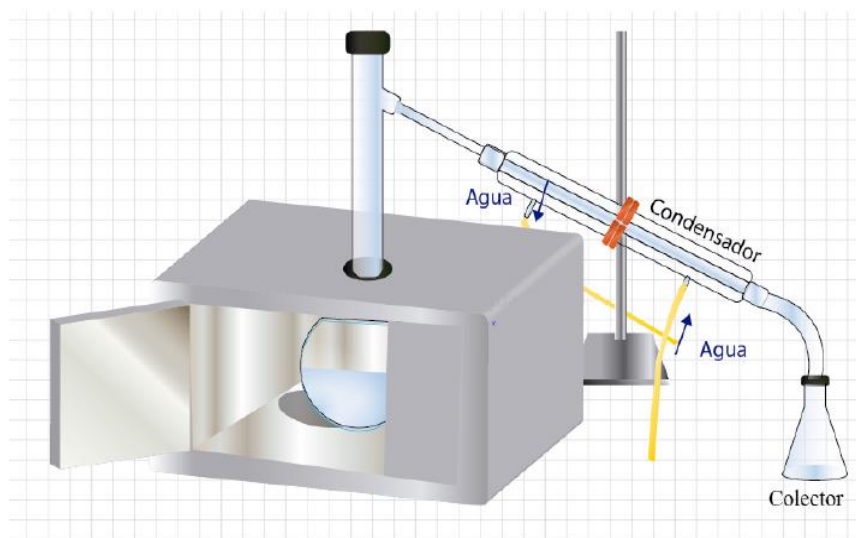
Las tecnologías de extracción existentes tienen importantes obstáculos tecnológicos y científicos que superar, a menudo requieren más del 70% de la energía total del proceso. Los investigadores con el objetivo de encontrar nuevas tecnologías para

reducir el consumo de energía, cumplir con los requisitos legales de emisiones y reducir los costos de proceso han desarrollado nuevas tecnologías tales como la Hidrodestilación asistida por microondas. (Sahraoui & Chemat, 2008).

Gracias al constante desarrollo de técnicas de preparación de muestras, han surgido ideas innovadoras, las cuales nos proporcionan nuevas alternativas, dentro de la que se encuentra la Hidrodestilación asistida por microondas en la cual el aceite esencial que se encuentra generalmente en bolsas (glándulas secretoras) que contienen diferentes cantidades de agua, son irradiadas por ondas que interactúan selectivamente con agua y causan calentamiento localizado. (Torrenegra, M. E., Granados C., Osorio M. R. & León G. 2015).

Figura I-21

Esquema básico de Hidrodestilación asistida por microondas



Fuente: Leonelli C., Veronesi P & Cravotto, G., 2013.

La eficiencia del proceso de la Hidrodestilación asistida por microondas está directamente relacionada con las condiciones de operación seleccionadas, se debe prestar especial atención a los parámetros habitualmente estudiados que pueden influir en el rendimiento de la Hidrodestilación asistida por microondas tales como: el tipo de disolvente, la temperatura, el tiempo de extracción, la potencia de microondas y las

características de la matriz, incluido su contenido de agua (Veggi, P., Martínez, J., y Míreles, A. 2013).

La energía de la radiación equivale a 0.000012 eV que no produce daño en la materia orgánica, la rapidez del calentamiento es la principal ventaja de las microondas. Estas penetran a los alimentos provocando que las moléculas polares en este caso el agua, las proteínas y otras tiendan a alinearse en el campo electromagnético producido, este se invierte 915 a 2450 millones de veces por segundo, las moléculas tratan de alinearse y oscilan a estas frecuencias generando la fricción intermolecular que provoca el calentamiento, a medida que se genera el calor éste se transmite por conducción en los sólidos y por convección en los líquidos, lo que ayuda a uniformizar la temperatura.

La extracción asistida por microondas tiene su gran importancia ya que este es capaz de realizar un calentamiento localizado en las glándulas oleíferas de los cítricos debido a la cantidad de agua que contienen estas glándulas, el calor provoca la expansión y ruptura de estas glándulas, lo cual es conveniente para la extracción del aceite esencial. (Zambrano Velásquez Raúl B. 2019).

1.9.1 Horno de microondas

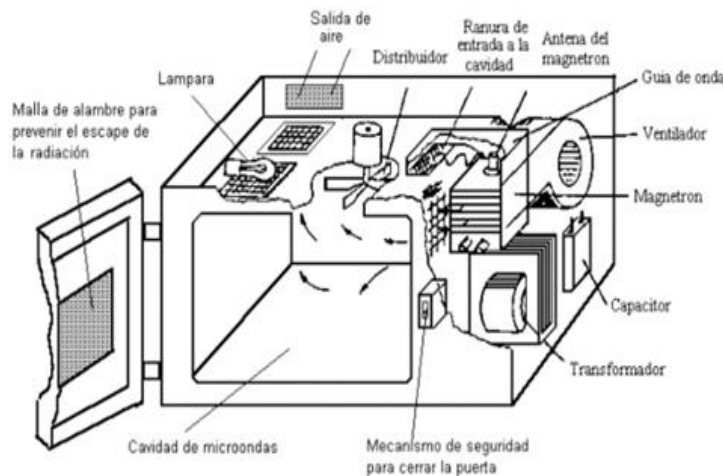
Los hornos de microondas domésticos e industriales operan en frecuencias de 2450 MHz y 915 MHz. Las microondas se generan en un magnetrón, dispositivo que transforma la energía eléctrica en campo electromagnético. Las partes del microondas son:

- Malla de escape para prevenir la radiación
- Cavidad del microondas
- Lámpara
- Salida de aire
- Mecanismo para cerrar la puerta
- Distribuidor
- Ranura de entrada a la cavidad
- Antena del magnetrón

- Guía de onda
- Ventilador
- Magnetron
- Capacitor
- Transformador

Figura I-22

Estructura de horno de microondas



Fuente: Lipa Huamaní Fidel G., 2014.

Las principales partes son: el magnetron y las guías de onda que dirigen las ondas a la cavidad del horno y la cavidad del horno que alberga el alimento que se va a cocinar, de modo que las microondas hacen impacto sobre el mismo.

a) El magnetron

Es el dispositivo principal que genera las microondas y consiste en las siguientes partes:

i. Cátodo central

Es un cilindro central que se encuentra en el centro del magnetron que se halla revestido de un material que emite electrones. Cuando se encuentra operando, el cátodo se calienta a una temperatura bastante alta para hacer que los electrones proyecten fuera del revestimiento.

ii. Anudo exterior

Es un anillo metálico que está alrededor del magnetrón que se mantiene a un potencial positivo conocido como el voltaje con respecto al cátodo. Así se establece un campo electrostático entre el cátodo y el ánodo, los electrones se aceleran hacia el ánodo.

b) Guías de onda

Consiste en una pieza metálica de forma irregular que gira lentamente de modo que refleje las microondas en direcciones diferentes, esto hace que los nodos se muevan de lugar en lugar dentro de la cavidad del horno para producir una energía más uniforme. Tiempo de extracción. Pasado un tiempo ya no sale más aceite y el vapor posterior causa el arrastre por solubilidad o emulsión del aceite, presentando una disminución en el rendimiento. Factor de empaquetamiento. Si el material queda muy suelto, el proceso termina muy pronto, presentando un alto consumo energético: si queda muy apretado, el vapor se acanala disminuyendo el rendimiento del aceite, debe de estar entre el 0.15 a 0.25 % Distribución interior del vapor. (Lipa Huamaní Fidel G. 2014)

1.9.2 Mecanismos del Hidrodestilación asistida por microondas

1.9.2.1 Mecanismo de calentamiento en la Hidrodestilación asistida por microondas

En el proceso de calentamiento por microondas, la transferencia de energía se produce por dos mecanismos: rotación dipolar y conducción iónica a través de inversiones de dipolos y desplazamiento de iones cargados presentes en el soluto y el disolvente (Routray W. & Orsat V. 2011).

Eskilsson, C., y Bjórklund, E. (2000) afirman que en muchas aplicaciones la rotación dipolar y conducción iónica ocurren simultáneamente. La conducción iónica es la migración electroforética de iones cuando se aplica un campo electromagnético, y la resistencia de la solución a este flujo de iones provoca una fricción que calienta la solución. La rotación de dipolo significa la reorganización de dipolos con el campo aplicado.

La transferencia de energía es la principal característica del calentamiento por microondas, tradicionalmente en la transferencia de calor del proceso convencional, la energía se transfiere al material por convección, conducción y fenómenos de radiación a través de la superficie del material externo en presencia de gradientes térmicos. Por el contrario, en la Hidrodestilación asistida por microondas la energía de microondas se entrega directamente a los materiales mediante interacciones moleculares con el campo electromagnético a través de la conversión de energía electromagnética en energía térmica (Thostenson, E., y Chou, T. 1999).

Otro factor importante a considerar es la viscosidad de la matriz sólida, que afecta a su capacidad para absorber energía de microondas porque afecta la rotación molecular. Cuando las moléculas están "bloqueadas en posición" como moléculas viscosas, la movilidad molecular se reduce, lo que dificulta la alineación de las moléculas con el campo de microondas, en consecuencia, las moléculas no pueden rotar. Por lo tanto, el calor producido por la rotación del dipolo disminuye, y considerando el factor de disipación más alto, cuanto mayor sea este factor, más rápido se transferirá el calor al solvente (Kingston H. y Jassie L. 1988).

1.9.2.2 Mecanismo de extracción en Hidrodestilación asistida por microondas

La aceleración del proceso y el alto rendimiento de extracción pueden ser el resultado de una combinación sinérgica de dos fenómenos de transporte: Gradientes de calor y masa, los que trabajan en la misma dirección. En las extracciones convencionales, la transferencia de masa ocurre desde el interior hacia el exterior, aunque la transferencia de calor ocurre desde el exterior hacia el interior del sustrato, además, aunque en la extracción convencional, el calor se transfiere desde el medio de calentamiento al interior de la muestra, en la extracción con microondas el calor se disipa uniformemente dentro del medio irradiado (Chemat F, Abert-Vian M., 2009).

En el proceso de extracción Hidrodestilación asistida por microondas la velocidad con la que se condensa el extracto (soluto + solvente) no es una función lineal con el tiempo. La concentración del soluto dentro de la matriz varía, esto trae como consecuencia una condición no estacionaria o inestable. Durante el periodo de interacción entre el soluto

que contiene la matriz sólida y el solvente ocurren una serie de sucesos los cuales son: la penetración del solvente en la matriz sólida, la solubilización y/o descomposición de los componentes que contiene la matriz, la salida del solvente que arrastra el soluto hacia el exterior de la matriz, la migración del soluto extraído desde la superficie externa de la matriz sólida hasta la solución disolvente y finalmente la separación del extracto de la matriz sólida (Aguilera, J. 2003).

Según Majors, R. (2008) muchas fuerzas, como las interacciones fisicoquímicas pueden estar presentes durante la extracción con microondas como las fuerzas de dispersión, difusión intersticial, fuerzas impulsoras e interacciones químicas pueden estar estrechamente relacionadas con las propiedades del disolvente (poder de solubilización, solubilidad en agua, pureza, polaridad, etc.).

1.9.3 Variables que afectan el mecanismo del Hidrodestilación asistida por microondas

1.9.3.1 Efecto del solvente en la Hidrodestilación asistida por microondas

Según Veggi y Míreles (2013) el primer factor que se debe considerar al seleccionar constantes físicas de microondas es el solvente. Es importante seleccionar un solvente con alto poder de extracción e interacción fuerte con la matriz y el analito. Las moléculas polares y las soluciones iónicas absorben fuertemente la energía microondas debido al momento dipolar permanente, por otro lado, cuando se exponen a microondas los solventes no polares como el hexano no se calientan.

El extractante utilizado para la Hidrodestilación asistida por microondas tiene un fuerte impacto en el rendimiento, y su elección debe obedecer a las propiedades de absorción de microondas, a las interacciones con la muestra y a la solubilidad de los compuestos de interés. En la extracción sólido-líquido el disolvente o extractante debería tener una alta selectividad hacia los compuestos de interés y excluir componentes de la matriz no deseados, tanto como sea posible. El extractante debe ser compatible con el método analítico que se utilizará para la determinación sin causar efectos tóxicos (o que sea de fácil eliminación en caso sea tóxico) cuando se utiliza con fines nutricionales a escala

industrial. Los extractantes óptimos para la Hidrodestilación asistida por microondas no necesitan coincidir con los utilizados en los procedimientos convencionales, por lo tanto, un disolvente que no absorba radiación de microondas difícilmente puede ser un extractante efectivo a menos que se use en combinación con barras especiales de un fluoropolímero químicamente inerte para absorber la energía de microondas y facilita la transferencia del calor al medio circundante (Luque, M., y Fernández, M. 2013).

Según Chen L. (2008) el factor más importante que afecta el proceso de la Hidrodestilación asistida por microondas es la selección del solvente. Una elección adecuada del solvente proporcionará un proceso de extracción más eficiente. La selección del solvente depende de la solubilidad de los compuestos de interés, la penetración del solvente, su interacción con la muestra y su constante dieléctrica.

En general, la capacidad del disolvente para absorber la energía de microondas es alta cuando el disolvente presenta un alta constante dieléctrica. Los disolventes de extracción óptimos no pueden seleccionarse directamente de los utilizados en las extracciones convencionales, depende de la capacidad del disolvente para absorber la energía de microondas y, en consecuencia, calentarse (Spigno G & De Faveri, 2009).

Tanto los disolventes polares como los que tienen algún grado de polaridad se pueden usar en la Hidrodestilación asistida por microondas, por ejemplo, el etanol y metanol. que presentan cierto grado polaridad son utilizados debido a su capacidad para absorber microondas (Brachet A., Christen P., & Veuthey J. 2002).

Para una extracción más eficiente es recomendable elegir un disolvente con un alta constante dieléctrica y que además tenga un factor de disipación alto para facilitar la distribución del calor a través de la matriz (Luque M., y Fernández, M. 2013).

El calentamiento por microondas del agua in situ de la matriz de la muestra hace estallar las glándulas y los receptáculos oleíferos, este proceso libera el aceite esencial que es arrastrado por el agua in situ del material vegetal mediante destilación azeotrópica. El vapor luego pasa a través de un condensador fuera de la cavidad del equipo microondas

donde se condensa, el destilado se recoge continuamente en un matraz receptor (Ferhat M., Meklati B., & Chemat F. 2007).

Spigno G., & De Faveri D. (2009) señalan que la adición de sales a la mezcla también puede aumentar la velocidad de calentamiento por microondas, porque además de la orientación dipolar, la conductividad iónica es el origen principal de la polarización.

El volumen de disolvente debe ser suficiente para garantizar que la muestra completa se sumerja en el disolvente a lo largo de todo el proceso de irradiación de microondas, especialmente cuando se utiliza una matriz que se hinchará durante la extracción (Tatke, P., & Jaiswal, Y. 2011).

El volumen del disolvente es un factor importante a tener en cuenta porque un gran volumen del disolvente de extracción significa más energía y tiempo para condensar la solución de extracción (Eskilsson, C., y Björklund, E. 2000).

1.9.3.2 Efecto del tiempo en la Hidrodestilación asistida por microondas

En el proceso de Hidrodestilación asistida por microondas el período de calentamiento es otro factor importante a considerar. Los tiempos de extracción son muy cortos en comparación con las técnicas convencionales y generalmente varían de media hora a unos minutos, evitando la posible degradación térmica, el sobrecalentamiento y la oxidación (Al-Harahshed & Kingman, 2004; Chan C., 2011).

El mayor tiempo de extracción generalmente tiende a aumentar el rendimiento de extracción, sin embargo, se encontró que este aumento era muy pequeño con un tiempo más prolongado (Wang Y., 2008).

El tiempo en el que actúa la irradiación también está influenciado por las propiedades dieléctricas del disolvente. Los solventes como el agua, el etanol y el metanol pueden calentarse tremendamente con una exposición más prolongada, poniendo en riesgo el futuro de los componentes termolábiles (Mandal V., Mohán Y., y Hemalatha S. 2007).

Xiao W., Han L., Shi B. (2008) señalan que cuando se requiere un mayor tiempo de extracción, las muestras se deben extraer en múltiples pasos utilizando ciclos de

extracción consecutivos, que también son un ejemplo del uso de una mayor cantidad de solvente y un mayor tiempo de aplicación de microondas.

1.9.3.3 Efecto de la potencia y temperatura de extracción en la Hidrodestilación asistida por microondas

La potencia y la temperatura de microondas están interrelacionadas porque la alta potencia de microondas puede elevar la temperatura del sistema y dar como resultado un mayor rendimiento de extracción (Yan M. 2010).

Cuando en la Hidrodestilación asistida por microondas se alcanzan altas temperaturas, la capacidad de disolución del solvente aumenta debido a una caída en la viscosidad y la tensión superficial, lo que facilita que el solvente solubilice los solutos y mejora la humectación y penetración de la matriz (Li J., 2010)

Routray W. & Orsat V. (2011) afirman que la eficiencia aumenta con el aumento de la temperatura hasta que se alcanza una temperatura óptima y luego la eficiencia comienza a disminuir con el aumento de la temperatura, esto sucede porque la selección de la temperatura de extracción ideal está directamente relacionada con la estabilidad y, por lo tanto, con el rendimiento de extracción.

La potencia de microondas está directamente relacionada con la cantidad de muestra y el tiempo de extracción requerido. Sin embargo, la energía brindada por los microondas proporciona calentamiento localizado en la muestra, que actúa como una fuerza motriz para que el efecto del calor destruya la matriz de la muestra de modo que el soluto pueda difundirse y disolverse en el solvente. Por lo tanto, al aumentar la potencia generalmente mejorará el rendimiento de extracción y dará como resultado un tiempo de extracción más corto (Hu Z., Cai M., Liang H. (2008).

La alta potencia de microondas podría causar degradación de compuestos térmicamente sensibles, además la ruptura rápida de la pared celular tiene lugar a una temperatura más alta cuando se utiliza una potencia mayor, y como resultado, las impurezas también se pueden extraer junto con el soluto que se desea (Mandal V., Mohán Y., y Hemalatha S. 2007).

Eskilsson, C., y Björklund, E. (2000) afirma que es importante seleccionar correctamente la potencia en la Hidrodestilación asistida por microondas para minimizar el tiempo de extracción y evitar una elevación brusca en la temperatura durante la extracción.

Alfaro, Belanger, Padilla y Pare (2003) dieron a conocer un término que crearon para estudiar el efecto de la potencia de microondas en la Hidrodestilación asistida por microondas que es la densidad de energía, definida como la energía de irradiación de microondas por unidad de volumen de disolvente para una unidad de tiempo dada (W/ml).

Raner, Strauss, Vyskoc y Mokbel (1993) informaron que la variación de potencia de 500 a 1000 W no tuvo un efecto significativo en el rendimiento de los flavonoides. La disminución en la calidad de extracción se encontró a temperaturas superiores a 110 °C debido a la inestabilidad de los flavonoides y la consecuente degradación térmica.

Song y Zhang (2011) afirman que una mayor potencia de microondas puede conducir a la degradación térmica de los fenoles cuando es superior a 350 W.

1.9.3.4 Efecto de la superficie de contacto con el agua

Se sabe que en un área con superficie de contacto mayor ofrece una mayor eficacia de extracción, además, las partículas más finas permiten una penetración más profunda del microondas (Huie C, 2002).

En algunos casos, el remojo del material vegetal seco en el disolvente de extracción antes de la Hidrodestilación asistida por microondas ha dado como resultado un rendimiento mejorado (Mandal V., Mohán Y., y Hemalatha S. 2007).

Wang L y Weller C. (2006) señalan que, en muchos casos, el rendimiento de la extracción mejora con la humedad de la matriz, que actúa como disolvente. La humedad en la matriz se calienta, se evapora y genera presión interna en la célula, que rompe la célula para liberar los solutos, lo que mejora el rendimiento de la extracción.

1.10 Datos experimentales y de aplicación práctica obtenidos por otros autores

Benítez Vega Daniel Gualberto. (2016), Extracción de aceite esencial de la cáscara de naranja, desarrollado en Tarija - Bolivia:

En este trabajo la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja se realizó mediante el método de arrastre de vapor: esta técnica de destilación permite la separación de sustancias insolubles en H₂O y ligeramente volátiles, de otros productos no volátiles.

El proceso de extracción, se realizó triturando la cáscara de naranja fresca, posteriormente se tamizó, la materia prima tamizada se pesó y se introdujo en la torre de destilación para la extracción: el aceite esencial que se obtiene se separa del agua, se envasa y almacena.

El aceite esencial obtenido se sometió a análisis fisicoquímicos, los cuales dan como resultado un índice de refracción de 1,4748, una densidad relativa de 0,8469 y un pH de 6,98. En la composición química se identifica 5 componentes: el limoneno en un 98,1%, el mirceno en un 0,92%, el linalol en un 0,4% y un pineno 0,3%, el terpinoleno en un 0,14 y un 0,19% de compuestos no identificados. Se analiza estos resultados y se concluye lo siguiente.

- La naranja de mejores características es la de la variedad criolla, ya que, comparada con las demás variedades, es más grande, tiene un diámetro promedio de 7,71 cm. La cáscara tiene 4,5 mm de grosor, el epicarpio tiene un grosor de 1,5 mm y de cada naranja que se pela con un grosor de 2 mm se obtiene un promedio de 16,23 g de cáscara, por lo se selecciona esta variedad para la extracción, ya que se estima que contiene más aceite esencial.
- La cáscara de naranja criolla tiene las siguientes propiedades fisicoquímicas: humedad en un 70,87 %, azúcares totales 8,92 %, cenizas 1,25 %, fibra 4,48 %, materia grasa 0,5 %, carbohidratos 21,89 % y proteínas totales 1,01 %. Estas propiedades pueden variar ya que dependen de muchos factores como ser el lugar

de cultivo, las condiciones climatológicas, tiempo de cosecha y los productos químicos utilizados como insecticidas y abonos.

- Las variables de operación utilizadas para la extracción del aceite esencial por el método de arrastre por vapor son: para el diseño factorial, tamaño de panícula y cantidad de masa de cáscara de naranja, después de realizar los análisis granulométricos y empaque se selecciona los tamaños de 2 mm, 3 - 4 mm y 5 mm, y la cantidad de masa a utilizar son 300 g y 450 g y 600 g. El equipo de extracción de aceite esencial trabaja a presión atmosférica, a la temperatura de 93°C. El agua para la refrigeración en el condensador entra a 13°C. La hornalla de la cocina trabaja a potencia media.
- En la extracción del aceite esencial empleando 600 g de cáscara de naranja de 2 mm de tamaño se obtiene un rendimiento de 3,46 %; con partículas de 4 - 3 mm se obtiene 1,5 %; y con las de 5 mm 1,3 %. En las extracciones que se trabaja con 450 g de cáscara empleando los mismos tamaños se obtiene rendimientos de 2,31 %, 1,49 % y 1,17 %. En las extracciones empleando 300 g de cáscara se obtienen rendimientos de 1,47 %, 1,3 % y 1,1 %. De estos resultados se concluye que reducir el tamaño de panícula mejora el rendimiento de la extracción del aceite esencial, estos se deben a que al reducir el tamaño se aumenta el área de contacto con el vapor, y que al aumentar la masa se tiene mayor cantidad de aceite por lo que hace que incremente el rendimiento.
- Las variables óptimas para la extracción del aceite esencial son: tamaño de panículas de 2mm y masa de 600 g. ya que con estas variables se obtiene mayor cantidad de aceite esencial (3,46%) y el tiempo óptimo de extracción es de 1,5 horas porque es el tiempo en el que se extrae aproximadamente el 90 %. Después de este tiempo, se extraen pequeñas cantidades que no justifican el gasto energético.
- La metodología utilizada para extraer el aceite esencial es adecuada ya que no presentó problemas, pero se puede mejorar ya que al pelar y lavar la cáscara se tiene pérdidas mínimas de aceite esencial que reducen en cierta manera el rendimiento de extracción.

- El aceite obtenido tiene un color ligeramente amarillo, con olor característico de la parte externa de la naranja, por lo que se concluye que cumple con las características propias del aceite esencial de naranja.
- Las propiedades del aceite esencial obtenidas son las siguientes: densidad relativa 0,8469, índice de refracción 1,4748 y pH 4,75.
- En la composición del aceite esencial se identificó 5 componentes mayoritarios: el limoneno, pineno, mirceno, terpinoleno. y linalol, los cuales son característicos de este tipo de aceites. El limoneno es uno de los más abundantes, con un 98,1 %. Por lo tanto, se concluye que la composición del aceite cumple con las características propias para el aceite esencial de naranja.

El Ing. Zambrano Velásquez Raúl B. (2019), en su trabajo “Influencia de la madurez en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial del fruto de naranja tipo Valencia” realizado en Calceta – Ecuador, se plantea como objetivo evaluar el efecto del estado de madurez de la naranja sobre el rendimiento y las características físicas-químicas del aceite esencial (AE) extraído de la cáscara.

Como variante se emplearon tres estados de madurez (verde, pintona, madura), definidos por análisis de colorimetría.

El ensayo se condujo con un Diseño Completamente al Azar con tres réplicas, mientras que la unidad experimental estuvo constituida por 30 naranjas que pesaron aproximadamente 5 kg, de acuerdo al requerimiento del evaporador, que se utilizó para la extracción del aceite esencial mediante el método de arrastre.

El aceite esencial extraído se evaluó el rendimiento y las propiedades físicas: densidad, actividad óptica e índice de refracción. La composición química del aceite esencial se determinó mediante un cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas CG/EM.

En composición química el componente mayoritario fue limoneno con 96%, independientemente del estado de madurez. La proporción restante correspondió, en cantidades mínimas, a los siguientes componentes; el linalol, que resultó más

abundante en las naranjas verdes; el pineno y mirceno, donde el estado de madurez no tuvo incidencia respecto al sabineno, octanal, ocineno, decanal y carane. Se concluye que es posible extraer el aceite esencial indiferentemente al estado de madurez. (Ing. Zambrano Velásquez Raúl B., 2019),

De igual manera, Cerna Mejía Lenin F. & Forres Orzelís Juan G. 2020. Obtención de aceite esencial a partir de residuos de cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Var. Valencia) utilizando un sistema de hidrodestilación convencional acoplado a un equipo de microondas para su extracción óptima. Tesis para obtención del título profesional de ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú.

Investigación que se planteó como objetivo mejorar el proceso convencional de hidrodestilación mediante la aplicación de microondas. Los factores estudiados fueron Nivel de potencia y Tiempo de extracción', y las variables respuesta fueron Rendimiento e Índice de refracción. Se utilizó 200 g de materia prima a la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Var. Valencia), y como solvente al agua destilada (100 ml).

El proyecto se desarrolló en cinco etapas. La primera etapa consistió en un screening en el que se probaron todas las combinaciones posibles de los factores Nivel de potencia (1,2,3,4,5,6,7,8,9 y 10) y Tiempo de extracción (5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos), resultando una matriz de 60 tratamientos, en base a la cual se realizaron pruebas experimentales en las que se evaluó el Rendimiento obtenido. En la segunda etapa se realizó un análisis estadístico factorial multinivel 32 encontrándose que los factores estudiados no tienen efectos significativos sobre el Índice de refracción, pero sí en el rendimiento. En la tercera, se realiza un estudio energético del proceso, en el que se evalúa la energía eléctrica consumida por el equipo y la energía en forma de microondas aprovechada en el proceso, resultando una eficiencia de conversión energética promedio de 37,43%. Para la cuarta etapa se seleccionó al tratamiento 43, Nivel de potencia 8 (383,72 W) y Tiempo de extracción de 5 minutos, como el más beneficioso, ya que ofrecía un rendimiento de $0,6219 \pm 0,0245\%$ y demandaba un consumo de eléctrico de 0,068 kWh/g de aceite esencial, se le denominó AEO (aceite de extracción óptima) al aceite obtenido bajo este tratamiento, el cual presentaba una

densidad relativa de $0,848 \pm 0,001$ g/ml e índice de refracción de $1,4696 \pm 0,0005$. Finalmente se determinó mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masa que el componente más abundante en el AEO (aceite de extracción óptima) es el limoneno es de 94.86 %. (Cerna Mejía Lenin F. & Forres Orzelís Juan G., 2020).

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Descripción y Análisis de Materia Prima

En el presente trabajo para realizar la selección de la variedad con la que se ha trabajado en la extracción del aceite esencial de la cascara de naranja, se basó en los trabajos desarrollados por Zambrano Velásquez Raúl B. (2019). “Influencia de la madurez en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial del fruto de naranjo tipo Valencia” realizado en Calceta – Ecuador.

Cerna Mejía Lenin F. & Forres Orzelís Juan G. 2020. “Obtención de aceite esencial a partir de residuos de cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Var. Valencia) utilizando un sistema de hidroddestilación convencional acoplado a un equipo de microondas para su extracción óptima”.

Benítez Vega Daniel Gualberto (2016), “Extracción de aceite esencial de la cáscara de naranja, desarrollado en Tarija – Bolivia”, en base a los resultados que arribaron estos investigadores, se procedió a la selección de la variedad de naranja para su estudio, Además se realizaron pruebas preliminares con tres variedades (Variedad Jaffa, Valencia y Criolla) de naranja para la posterior selección de la variedad para la extracción de su aceite esencial.

Para la realización del estudio de las variedades de naranja a utilizar en el trabajo de investigación aplicada, se evaluaron tres variedades: JAFFA, VALENCIA TARDÍA (conocida como naranja de la corporación) y la variedad CRIOLLA, se realizaron mediciones del diámetro, peso con y sin cáscara, grosor de la cascará. Se seleccionaron tres naranjas de cada variedad y con los datos obtenidos, se sacó un promedio para cada variedad, indicador que permitió seleccionar la variedad a estudiar.

De igual forma, la selección de la variedad de la naranja para trabajar se la realizó de acuerdo al contenido de aceite esencial en la cáscara, lo cual se obtuvo a través de extracciones de pruebas. Para determinar la ubicación del aceite esencial en la cáscara de naranja se realizó un estudio morfológico, en el Laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Para la observación del tejido del epicarpio y del mesocarpio de la naranja.

Para observar el tejido parenquimatoso de la naranja se cortó tangencialmente un trozo lo más fino posible de epicarpio del fruto, luego se colocó el corte en el porta objeto, agregando una gota de agua destilada y se cubre con el cubre objeto.

La muestra fue llevada a un microscopio donde se observó la estructura del tejido, se trabajó con un lente 10x. De igual forma para observar, el tejido del mesocarpio se cortó todo el epicarpio hasta llegar al mesocarpio del cual se sacó una porción fina.

Posteriormente, se colocó este tejido sobre el portaobjeto. Después de realizar la observación de los tejidos del epicarpio y mesocarpio, se procedió a determinar que estructura cuenta los sacos o espacios lisígenos que contiene el aceite esencial.

2.2 Descripción del Método de Investigación

El proyecto de investigación empleará una metodología cuantitativa, siendo un trabajo de tipo documental y experimental. Es documental puesto que para obtener información sobre el tema se precisará la revisión de material bibliográfico referido al mismo. Y es experimental ya que los datos se obtuvieron de manera directa mediante ensayos en laboratorio.

Asimismo, se evaluará la validez y confiabilidad de los datos obtenidos mediante la implementación de las matemáticas estadísticas, aplicando el diseño factorial.

2.2.1 Método Utilizado para la Extracción de Aceite esencial de Cáscara de Naranja

En el presente trabajo y basado en los trabajos anteriores se ha optado por el método de HIDRODESTILACIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS, este método de extracción de aceites esenciales, es una alternativa novedosa que recién se está implementando, en la cual el aceite esencial que se encuentra generalmente en bolsas (glándulas secretoras) que contienen diferentes cantidades de agua, son irradiadas por ondas que interactúan selectivamente con agua y causan calentamiento localizado.

El resultado es el aumento repentino no uniforme de la temperatura hasta el punto de ebullición e incluso por encima, produciéndose una expansión en volumen dentro del sistema provocando la ruptura de las paredes. El contenido orgánico fluye libremente

hacia el solvente circundante, este proceso mejora la calidad de los aceites esenciales y reduce los costos de operación. (Torrenegra, M. E., Granados C., Osorio M. R. & León G., 2015)

2.3 Diseño Factorial

Los experimentos factoriales permiten manipulaciones sutiles de un número mayor de factores o variables interdependientes. Si bien el método presenta limitaciones, es útil para una investigación más eficiente y para permitir que los métodos estadísticos fuertes expongan todas las correlaciones. (Shuttleworth M. 2009)

2.4 Conceptos básicos del diseño factorial

Factores: Son los fenómenos que potencialmente causan variación, y que son controlados por el experimentador, se denominan factores o variables.

Niveles de un factor: Son los valores que toman un factor o variable. En general toman valores que se miden en escala categórica, aunque a veces suelen ser medidos en escalas numéricas.

Combinación de Tratamientos: Es cada una de las combinaciones de niveles de todos los factores involucrados en el experimento.

Respuesta: Es la respuesta que se mide como resultado de la experimentación, no es controlada por el experimentador. Es una variable medida en escala numérica. (Shuttleworth M. 2009)

2.4.1 Clasificación del diseño factorial por criterio

Según la cantidad de niveles o valores por factor, el diseño factorial se clasifica en diseño factorial con cantidad de valores constantes o variables.

La notación del diseño es más sencilla cuando la cantidad de niveles por factores es igual. El diseño factorial 2^k es un arreglo de k factores que tiene dos niveles cada uno. Se usa letras mayúsculas para denotar los factores y las interacciones de estos factores. Se hace referencia a los dos niveles de los factores como bajo y alto. Hay varias notaciones diferentes que se usan para representar estos niveles de los factores: una

posibilidad es representar los niveles de los factores con los dígitos -1 (bajo) y 1 (alto). Cada combinación de tratamientos del diseño 2^k se denota por k dígitos, donde el primer dígito indica el nivel del factor A, el segundo dígito indica el nivel del factor B, ..., y el dígito k-ésimo indica el nivel del factor k.

En el sistema de diseños 2^k , cuando los factores son cuantitativos, es común denotar los niveles bajo y alto con -1 y +1, respectivamente. Con esto se facilita el ajuste de un modelo de regresión que relaciona la respuesta con los niveles de los factores.

Un modelo matemático que se adecua a este diseño es el siguiente:

$$y = \beta^{\circ} + \beta_1 A_1 + \beta_2 B_2 + \beta_3 C_3 + \beta_{13} A_1 B_2 + \varepsilon (\pm)$$

Y: variable dependiente.

A, B, C: variables independientes

β° : punto en el cual la recta intercepta el eje (ordenada en el origen)

β_1 : pendiente de la recta.

ε : error aleatorio.

El diseño experimental planteado para la presente investigación fue un diseño del tipo 2^k , con un valor de $k = 3$, es decir, consta de 3 factores con 2 niveles cada uno de ellos y se evalúa su influencia sobre una variable de respuesta, en dos repeticiones. (Lazcano Valdez Yonathan A., 2021)

2.4.2 Factores

Se evaluaron los efectos de las variables seleccionadas:

- **Porcentaje de potencia del horno de microondas (%)**

La potencia de microondas está relacionada con la velocidad de incremento de la temperatura del agua y aceite esencial contenido en las glándulas de las cáscaras del cítrico y la ruptura de estas, lo cual incide en el rendimiento del aceite esencial extraído. (Lazcano Valdez Yonathan A., 2021)

- **Tiempo de extracción en minutos (min)**

La curva de extracción para un aceite esencial relaciona el volumen de aceite obtenido con el tiempo de extracción. La finalidad es encontrar el momento en que la cantidad de aceite esencial obtenido alcanza el régimen permanente y, por lo tanto, no merece la pena mantener la operación activa por más tiempo. (Lazcano Valdez Yonathan A., 2021)

- **Relación cáscara y agua (g/ml)**

El método de Hidrodestilación es parcialmente efectivo en aceites esenciales que puedan solubilizarse en el agua, por lo que las proporciones de material vegetal / agua podrían ser determinantes en los rendimientos obtenidos (Cerna Mejía Lenin F. & Torres Orzelís Juan G. 2020).

2.4.3 Variables respuesta

La variable respuesta en el proyecto de investigación es el rendimiento del aceite esencial de cascara de naranja, expresado en volumen de aceite esencial/masa de cáscara de naranja.

2.4.4 Determinación niveles de la variable porcentaje de potencia del microondas

Mediante un ensayo preliminar se procede a determinar los valores de los 2 niveles de la variable porcentaje de potencia de microondas, para tal efecto se procede mediante una destilación con un microondas adaptado, que cuenta con un ajuste predeterminado de fábrica de 10 niveles de potencia, que van desde el 10% hasta el 100%.

El procedimiento es el siguiente:

- Se carga el balón con un litro de agua y 200 g de cáscara de naranja.
- El valor determinado de porcentaje de potencia con el cual se logra la generación de vapores será usado como el valor inicial para el factor potencia, el valor para el segundo nivel se usará un incremento en intervalo de 10% respectó al factor inicial.

- De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis se establece que el valor inicial es de 70% por lo tanto el segundo valor es de 80%.

2.4.5 Determinación de los niveles para la relación cáscara y agua

Para la determinación de cantidad de materia se ve conveniente trabajar 200 g de cáscara de naranja y se usará una relación de cáscara / agua de 1:4 y 1:7 para no sobrepasar el volumen del balón.

2.4.6 Determinación del tiempo de extracción

Para la determinación de los niveles, primeramente se realizó la curva de extracción volumen de aceite vs. tiempo.

El procedimiento es el siguiente:

- Armar y preparar el equipo destilador.
- Cargar 200 g de cáscara de naranja, y 1.400 ml de agua, encender el microondas con una potencia de 70%. Se establece estas condiciones para el ensayo 1.
- Registrar la hora de aparición de los primeros vapores, considerándose tal como el minuto cero
- Medir el volumen de aceite extraído cada 1 minuto.
- Cuando se observe que ya no se extrae cantidades significativas de aceite, dando por finalizada la extracción.
- Se repite el procedimiento y se establece las condiciones del ensayo 2, siendo 200 g de cáscara, 800 ml de agua y potencia de microondas en 80%.

2.4.7 Diseño Experimental

El número de combinaciones de los factores es igual a 8 por ser un diseño factorial 2^3 .

Se realizaron dos repeticiones de toda la experiencia para validar los resultados, por lo tanto, el total de ensayos a realizados fueron 16. A continuación se muestra el diseño experimental planteado.

En la tabla II-1 se presentan los valores límite de las variables seleccionadas, desde los niveles altos (+) y bajos (-) de experimentación, con variables codificadas A, B y C.

Tabla II-1*Variables y niveles del diseño experimental*

| Variable | Nivel bajo (-1) | Nivel alto (+1) |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
| A = potencia (%) | 70 | 80 |
| B = tiempo (min) | 16 | 22 |
| C = relación cáscara / agua (g/ml) | 1:4 | 1:7 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la tabla II-2 se presentan el diseño factorial con tres factores: Potencia, Tiempo y Relación cáscara / agua y 2 niveles nivel bajo y nivel alto.

Tabla II-2*Diseño factorial de 3 factores y 2 niveles.*

| Orden | Potencia (%) | Tiempo (min) | Relación cáscara / agua (g/ml) | Rendimiento (%) | Rendimiento (%) |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | -1 | -1 | -1 | Y1 | Y9 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | Y2 | Y10 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | Y3 | Y11 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | Y4 | Y12 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | Y5 | Y13 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | Y6 | Y14 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | Y7 | Y15 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | Y8 | Y16 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

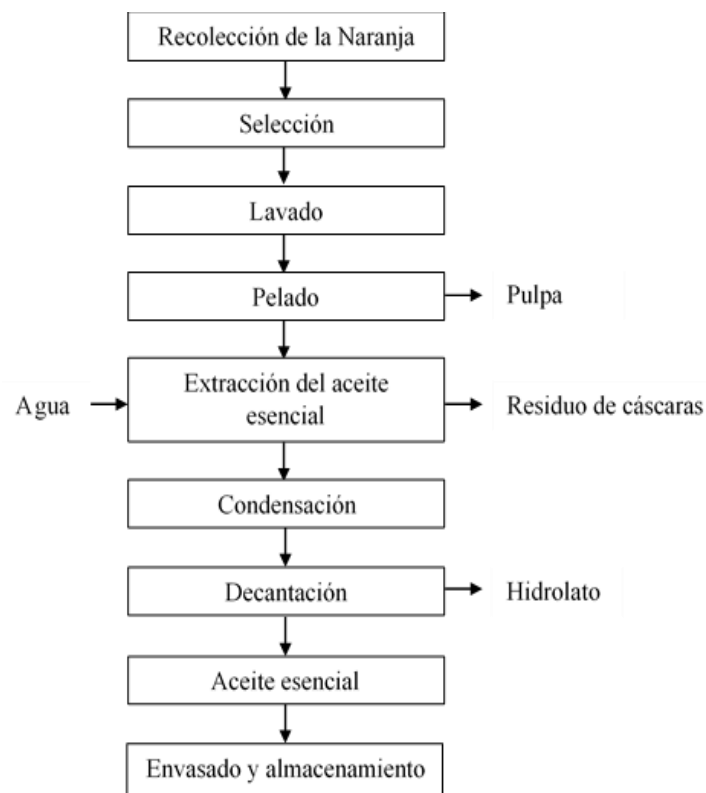
De acuerdo a estos ensayos que se realizaron se obtuvieron resultados preliminares, donde se pudo establecer como variable de respuesta el rendimiento porcentual del aceite esencial extraído.

2.5 Extracción del aceite esencial de cascara de naranja

En la figura II-1, se muestra un diagrama de bloque del proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de naranja utilizando el método de hidrodestilación asistida por microondas a escala laboratorio.

Figura II-1

Diagrama de bloque del proceso de extracción de aceite esencial de cascara de naranja



Fuente: Elaboración propia, 2023.

2.5.1 Recolección de la Naranja

La naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb.) utilizado para el presente Trabajo de Investigación fue recolectado de la localidad de San Telmo, ubicado a 160 km de la ciudad de Tarija entre las coordenadas geográficas 22°31'42" de Latitud Sur y 64°25'11" de Longitud Oeste.

La figura II-2, obtenida de Google Earth, 2023, nos muestra la ubicación exacta del lugar de obtención de la muestra.

Figura II-2

Ubicación geográfica de la parcela de recolección de la naranja.



Fuente: Google Earth, 2023.

De igual forma la figura II-3, muestra la parcela de muestreo, que abarca aproximadamente una superficie de 4 hectáreas, implantado con naranja, mandarina y limón.

Figura II-3

Lugar de recolección de la naranja



Fuente: Elaboración propia, 2023.

2.5.2 Selección

Para la selección se procedió a realizar una inspección de las frutas, descartando aquellas que presentaron señales de deterioro causadas por golpes o descomposición o que posean signos de algún patógeno, la figura II-4, muestran las frutas que fueron descartadas.

Figura II-4

Naranjas de descarte



Fuente: Elaboración propia, 2023.

2.5.3 Lavado

El lavado de la materia prima se realizó con bastante agua, luego de remojarlas en agua, lo cual permitió eliminar la suciedad como tierra y otros desechos, al final del lavado se realizó el secado con una toalla suave. La figura II-5 muestra el remojo de la fruta en agua.

Figura II-5

Lavado de las naranjas



Fuente: Elaboración propia, 2023.

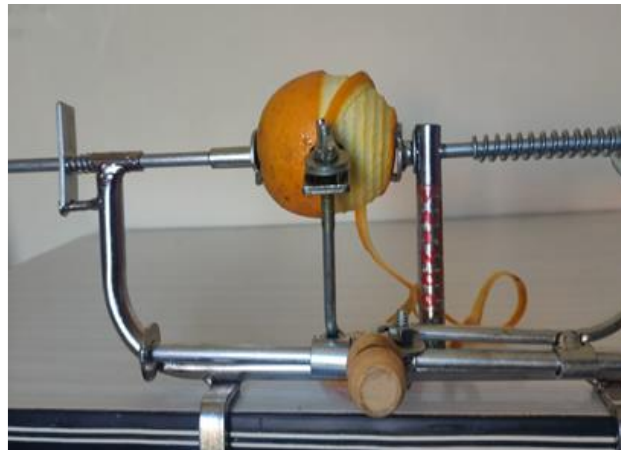
2.5.4 Pelado

Finalizada la etapa de lavado, con la ayuda de un pelador manual para pelado de cítricos, se procedió a separar la mayor cantidad de corteza correspondiente al epicarpio, realizando un corte de modo uniforme, gracias a la cuchilla flexible y afilada del pelador, la figura II-6 muestra el proceso de pelado de la fruta.

De cada naranja pelada se obtuvo un promedio de 40 g de cáscara, con flavedos y albedos, que son el insumo básico para la extracción del aceite esencial. Se pudo evidenciar una pérdida mínima de aceite esencial en el pelado ya que el cortado de la cáscara deja glándulas oleosas abiertas.

Figura II-6

Pelado de la naranja



Fuente: Elaboración propia, 2023.

2.5.5 Extracción de Aceite Esencial

Para la extracción del aceite esencial se hizo uso de un equipo clevenger y para la fuente de calentamiento se utilizó un horno de microondas convencional modificado marca MABE modelo HMM07BJ de 0.7 ft³ de capacidad salida de frecuencia de 2.450 MHz y potencia de salida de 700 W.

Se procede a instalar el equipo de hidrodestilación usando el horno de microondas acondicionado, verificando las instalaciones eléctricas y el sistema de agua de refrigeración. En la figura II-7, se muestra la instalación del equipo en laboratorio, el cual permitirá la hidrodestilación.

Figura II-7

Instalación del equipo en laboratorio para realizar hidrodestilación por microondas



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para la extracción del aceite esencial, se procedió al cargando del balón de 2 litros con 200 gramos de cáscara y se añadió un volumen de agua de 800ml y 1400 ml, según lo planteado en el diseño experimental de este estudio.

Una vez verificado la instalación del equipo mediante la pantalla digital del horno de microondas se introduce el tiempo de operación y el porcentaje de potencia según el diseño experimental. En la figura II-8, se muestra el proceso de programación del equipo.

Figura II-8

Instalación y programación del equipo de hidrodestilación asistida por microondas



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La extracción del aceite esencial, comienza con la ebullición del agua dentro del balón, a 93 °C y a 0,94 atm (temperatura de ebullición del agua a la presión atmosférica de Tarija), como se muestra en la tabla II-3.

Tabla II-3

Datos de la presión atmosférica en algunas ciudades de Bolivia y la temperatura de ebullición del agua a esa presión

| Ciudad | Altitud m.s.n.m. | Presión Atmosférica (atm) | Temperatura de ebullición (°C) |
|------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Tarija | 1857 | 0,94 | 93 |
| Cochabamba | 2574 | 0,713 | 91,6 |
| Sucre | 2801 | 0,710 | 90,8 |
| La Paz | 3650 | 0,647 | 88,4 |
| Oruro | 3735 | 0,637 | 88,6 |
| Potosí | 4070 | 0,610 | 86 |

Fuente: Datos de la presión atmosférica del centro de cómputo del Aeropuerto de El Alto (AASANA) y las temperaturas de ebullición, 2022.

2.5.6 Condensación

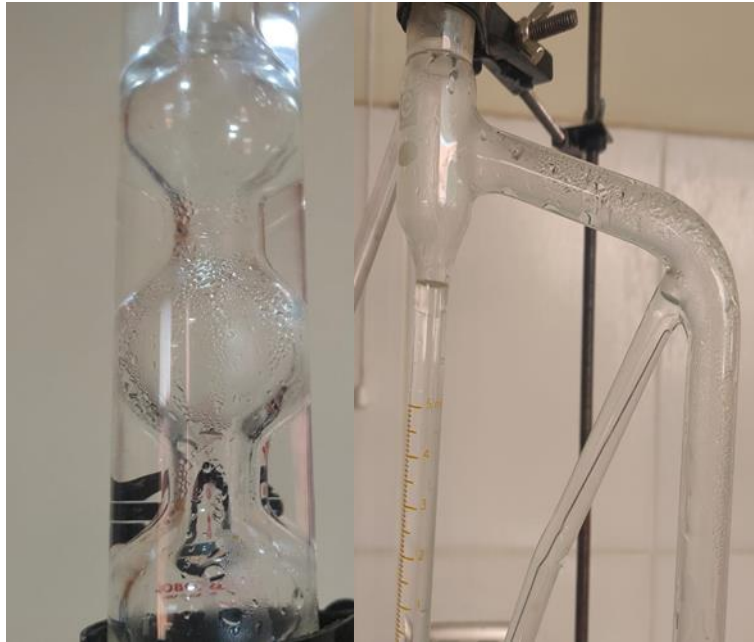
El vapor - aceite sube dentro del destilador hasta un condensador, que es simplemente un tubo en espiral sumergido en agua fría, que condensa el vapor en agua, mediante este sistema de refrigeración, debido al agua de enfriamiento, los vapores son enfriados y pasados al estado líquido, formado una mezcla binaria agua-aceite, los cuales se depositan en la trampa del equipo de destilación el cual cuenta con una escala, una vez finalizada la extracción se procede a realizar la lectura del volumen de aceite extraído para calcular el rendimiento.

Para medir la temperatura de los condensados, este se deposita en un vaso de precipitación y posteriormente con un termómetro se procede a realizar la lectura de la temperatura.

En la figura II-9, se muestra el proceso de condensación del aceite esencial.

Figura II-9

Proceso de condensación del aceite esencial de cascara de naranja



Fuente: Elaboración propia, 2023.

2.5.7 Decantación

Luego de la condensación, la mezcla agua-aceite son separados mediante una pera de decantación. La casi inmiscibilidad del aceite esencial en el agua y las diferencias de densidad entre ambos producen la separación de fases, acumulándose el aceite en la capa superior. En la figura II-10, se muestra el montaje del equipo de separación agua-aceite.

Figura II-10

Separación de las fases agua-aceite.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

2.5.8 Envasado y almacenamiento

El aceite esencial de cáscara de naranja obtenido fue envasado y almacenado correctamente para su conservación en un frasco de vidrio color ámbar para que la luz natural o artificial no lo altere. El frasco debe estar cerrado herméticamente para que el aceite esencial no entre en contacto con el aire, para evitar la oxidación por el oxígeno atmosférico. En la figura II-13, se muestra el envasado del aceite esencial extraído.

Figura II-11

Almacenamiento del aceite extraído



Fuente: Elaboración propia, 2023.

2.6 Análisis del Aceite Esencial de Cáscara de Naranja Obtenido

Tras la extracción del aceite esencial de cáscara de naranja, se envió muestras para su análisis al Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de algunas de sus propiedades fisicoquímicas. Asimismo, para la identificación de los componentes principales se utilizó la técnica de cromatografía de gases (CG).

2.6.1 Características Organolépticas

Una vez obtenido el aceite esencial de cáscara de naranja se procede a analizar sus características organolépticas, las cuales son el color, olor y apariencia, el cual se realizó a través de:

- Color: Por simple observación se registró el color del aceite esencial, el cual es incoloro.
- Olor: Por el olfato, se acerca el frasco que contiene el aceite esencial a la nariz para percibir el olor, este es un olor penetrante y muy fuerte con un aroma característico a la naranja.
- Apariencia: Por simple observación se registra que el aceite esencial tiene una apariencia de líquido transparente.

2.6.2 Características Físicoquímicas

La medición de los parámetros: densidad relativa (20 °C), índice de refracción y pH se realizan en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, según las normas y protocolos establecidos por este laboratorio de análisis.

En el anexo 3, se presenta el informe con los resultados de laboratorio.

2.6.3 Composición química del aceite esencial

En el informe del análisis de composición química por cromatografía fue realizado por el Centro de Investigaciones Químicas (C.I.Q.), de Cochabamba, siguiendo de igual forma las normas y protocolos establecidos por el laboratorio.

En el anexo 4, se presenta el informe con los resultados de laboratorio.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Selección De La Materia Prima Para La Extracción Del Aceite Esencial

Los resultados de la medición de los diferentes parámetros físicos de las variedades de naranja de temporada (septiembre – octubre) que se consumen en el departamento de Tarija se presentan en la tabla III-1, datos obtenidos luego de las mediciones realizadas en el laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, de la U.A.J.M.S., estos datos permite la comparación de cada uno de estos parámetros para las variedades de naranja Criolla, Valencia tardía y la variedad Jaffa.

Tabla III-1

Resultados del estudio comparativo de diferentes parámetros físicos de las variedades de naranja en estudio

| Parámetros | Variedad de naranja | | |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| | Criolla | Valencia Tardía | Jaffa |
| Color | Naranja Claro | Naranja | Naranja Oscuro |
| Textura | Rugosa | Lisa | Rugosa |
| Peso (g) | 227 | 190 | 169 |
| Diámetro (cm) | 7,25 | 7 | 6,85 |
| Peso sin cáscara (g) | 187 | 165 | 145 |
| Peso de la cáscara (g) | 40 | 25 | 24 |
| Grosor de la cáscara (mm) | 5 | 4 | 2,76 |
| Grosor del epicarpio (mm) | 1,5 | 1 | 0,6 |
| Vesículas (mm) | 0,6 | 0,4 | 0,15 |
| Numero de Naranjas para 200 (g) | 6 | 8 | 9 |
| Porcentaje en peso de cascara (%) | 17,94 | 13,16 | 14,20 |

Fuente: Elaboración propia, con datos medidos en el laboratorio de Biología de la F.C.A.F. de la U.A.J.M.S., 2023.

En la tabla anterior (III-1), se observa que la naranja de la variedad criolla tiene un diámetro promedio de 7,25 cm, un peso de 227 g y que de cada naranja se obtiene 40 g de cáscara con un grosor de 5 mm.

La naranja de variedad Jaffa tiene un diámetro promedio de 6,85 cm, un peso de 169 g y de cada naranja se obtiene 24 g de cáscara con un grosor de 2,76 mm.

La naranja Valencia Tardías tiene un diámetro promedio de 7 cm, un peso de 190 g y se obtiene 25 g de cáscara con un grosor de 4 mm.

Se deduce que el grosor de la cascara es determinante para el contenido de aceite esencial, mayor grosor de la cascara el contenido de aceite esencial aumenta. Por lo tanto, se utilizó un pelador manual graduado con vernier para pelado de cítricos. Se procedió a separar la mayor cantidad de corteza correspondiente al epicarpio, realizando un corte de modo uniforme, gracias a la cuchilla flexible y afilada del pelador.

3.1.1 Variedades de la Naranja

La siguiente figura III-1, nos muestra las características físicas de cada una de las variedades analizadas anteriormente, donde sobre sale la Variedad Criolla, sobre las otras variedades.

Figura III-1

Características de las variedades de naranjas estudiadas



Fuente: Elaboración propia 2023

Las características físicas de cada variedad se detallan en la tabla III-2, basados en dos parámetros el color y la textura de la fruta.

Tabla III-2

Características cualitativas de las diferentes variedades de naranja

| Parámetros | Variedad de naranja | | |
|------------|---------------------|-----------------|----------------|
| | Criolla | Valencia Tardía | Jaffa |
| Color | Naranja Claro | Naranja | Naranja Oscuro |
| Textura | Rugosa | Lisa | Rugosa |

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

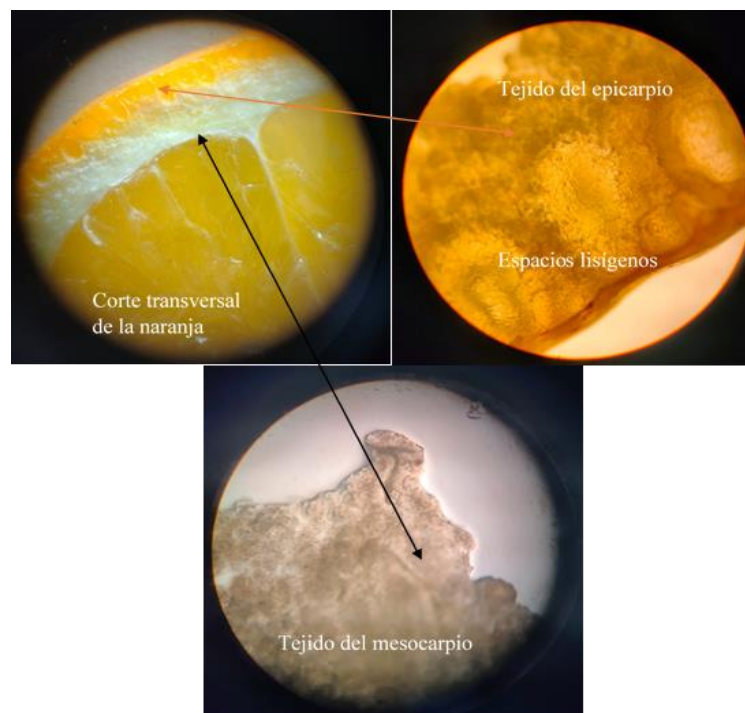
Comparando los parámetros establecidos en la tabla III-1 y tabla III-2, se determina que la mejor variedad para la extracción del aceite esencial, es la naranja criolla, porque se estima que tiene más aceite esencial ya que su cáscara es gruesa y es de mayor tamaño comparada con las otras variedades.

3.2 Morfología de la Cascara de Naranja

Continuando con el análisis de las características de las diferentes variedades de naranja, en la Figura III-2 se muestra los tejidos de la misma y los espacios lisígenos del epicarpio. Dentro de las principales características a considerar en la variedad criolla es el grosor del epicarpio es de 1,5 mm y los espacios lisígenos o sacos del epicarpio en los que se aloja el aceite esencial, se forman debido a la muerte de células en el epicarpio. También podemos observar que las partes amarillas son los carotenoides (colorantes), para poder extraer el aceite esencial es necesario romper los espacios lisígenos, estos espacios en la variedad de naranja criolla tienen un tamaño de 0,6 mm variando el mismo de uno al otro.

Figura III-2

Estructura de del epicarpio y mesocarpio de la naranja criolla



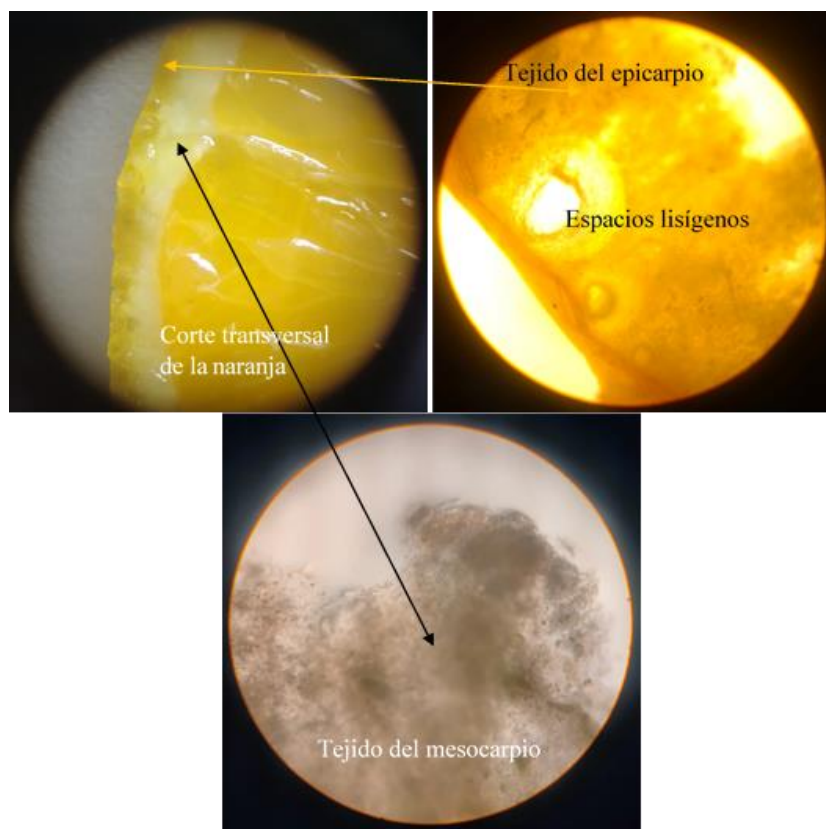
Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de la observación a través de estéreo microscopio, en el laboratorio de Biología de la F.C.A.F., 2023

De igual forma en la variedad Jaffa se analizan estos parámetros, los cuales presentan variabilidad con respecto a la variedad criolla, lo cual muestra la figura III-3.

En la variedad Jaffa el grosor del epicarpio es de 0,6 mm y los espacios lisígenos o sacos del epicarpio son de 0,15 mm de diámetro. También podemos observar que las partes amarillas son los carotenoides (colorantes), que son mucho mas claros.

Figura III-3

Estructura de del epicarpio y mesocarpio de la naranja Jaffa

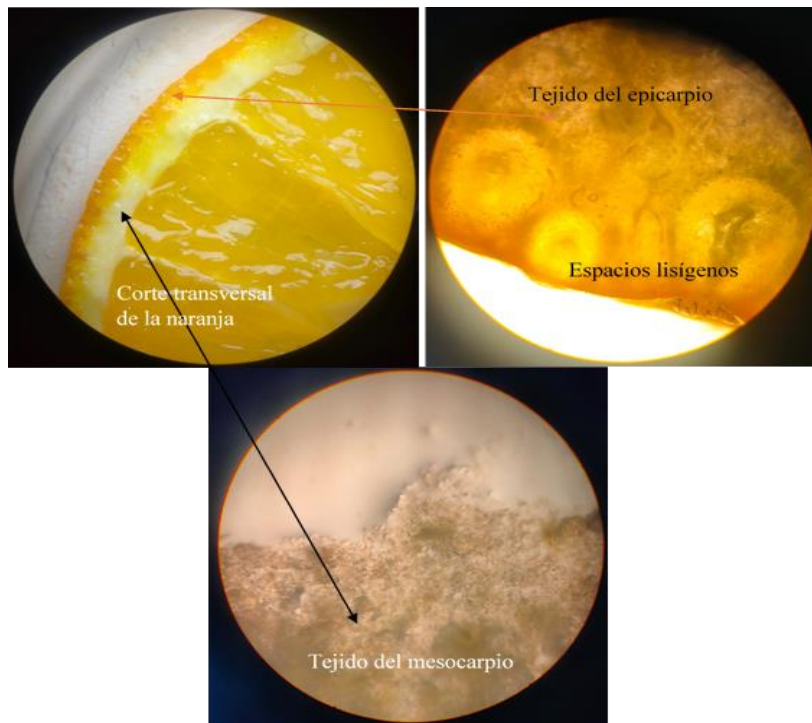


Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de la observación a través de estéreo microscopio, en el laboratorio de Biología de la F.C.A.F., 2023.

En la variedad Valencia Tardía el grosor del epicarpio es de 1 mm y los espacios lisígenos o sacos del epicarpio son de 0,4 mm de diámetro. También podemos observar que las partes amarillas son los carotenoides (colorantes). Lo cual se muestran en la figura III-4.

Figura III-4

Estructura de del epicarpio y mesocarpio de la naranja valencia tardía



Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de la observación a través de estéreo microscopio, en el laboratorio de Biología de la F.C.A.F., 2023.

Entre los equipos utilizados fueron el estéreo microscopio y el microscopio los cuales facilitaron la observación para poder conocer mejor las partes del fruto y ver los lisígenos de la cascara de naranja. Los equipos utilizados pertenecen al laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencia Agrícolas y Forestales de la U.A.J.M.S, cuyas características se presentan en la figura III-5.

Figura III-5

Equipos de laboratorio empleados en la investigación



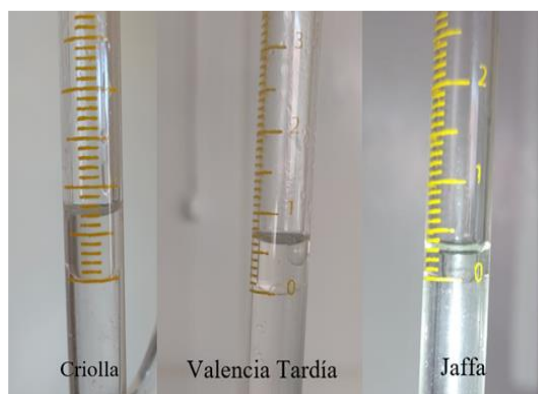
Fuente: Elaboración propia, laboratorio de Biología de la F.C.A.F., 2023.

3.3 Extracción del aceite esencial de cada una de las variedades para su posterior selección

Para la selección de la variedad con la cual trabajar en la investigación, se procedió primeramente a la extracción de aceites esenciales de las tres variedades (Criolla, Valencia tardía y Jaffa). Las cantidades de aceite esencial extraído de cada una de las variedades fueron Variedad Criolla 0,7 ml, Valencia Tardía 0,6 ml y la variedad Jaffa 0,3 ml, cuyas cantidades se muestran en la figura III-6.

Figura III-6

Mostrando la cantidad de aceite esenciales extraídos de las tres variedades



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Comparando estos resultados obtenidos se determina que la variedad de naranja a usar para el presente trabajo es la variedad criolla ya que a través de las observaciones realizadas el grosor de la cáscara es determinante para el contenido de aceite esencial, a mayor grosor de la cáscara el contenido de aceite esencial aumenta.

3.4 Características De La Materia Prima

A continuación, en la tabla III-3, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico de la cáscara de naranja realizados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la U.A.J.M.S.

Tabla III-3

Comparación de análisis fisicoquímico de la cáscara de naranja variedad Criolla

| Parámetros | Análisis Fisicoquímico de la cáscara de Naranja Variedad Criolla | Análisis Fisicoquímico según los datos de Benítez Vega Daniel (2016) Variedad Criolla |
|-------------------------------|---|--|
| Humedad (%) | 75,67 | 70,87 |
| Grasa (%) | 0,17 | 0,5 |
| Ceniza (%) | 1,57 | 1,25 |
| Proteína total (%) | 1,50 | 1,01 |
| Hidratos de Carbono (%) | 21,09 | 21,89 |
| Azúcares Totales (%) | 9,31 | 8,92 |
| Fibra (%) | 2,83 | 4,48 |
| Valor energético (kcal/100 g) | 91,89 | - |

Fuente: Elaboración propia con datos de laboratorio del CEANID, perteneciente a la U.A.J.M.S., 2023.

En la tabla anterior (III-3), se puede observar las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de la naranja de la variedad Criolla la cual tiene alto contenido de agua, con una Humedad del 75,65 % y un contenido bajo en Grasa del 0,17 %. El total de Cenizas es de 1,57 %, los Carbohidratos están presentes en un 21,09 %, la Proteína en un 1,50%, los Azúcares totales presentes en un 9,31 %, la Fibra en un 2,83 % y un Valor energético de 91,89 %. Estos valores se comparan con los valores logrados por Benítez Vega Daniel G. en su trabajo titulado “Extracción de aceite esencial de la cáscara de naranja”, desarrollado en 2016 en la variedad criolla mediante el método arrastre de vapor, donde los valores son casi similares.

3.5 Determinación del Tiempo de Extracción

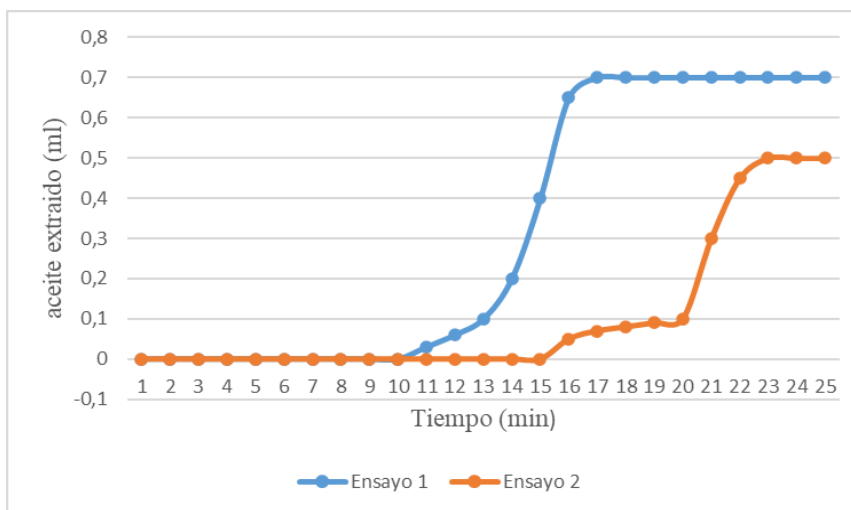
En la figura III-7 se puede observar que existe un tiempo muerto de calentamiento de 10 min para el ensayo 2 y la extracción finaliza a los 23 min siendo este el mayor tiempo de extracción que se logra con la máxima carga de agua y la potencia mínima de microondas de 70%.

De acuerdo a la gráfica es conveniente finalizar la extracción a los 22 min. Según estas observaciones a partir del minuto 22 de extracción no es recomendable realizar el gasto energético, que por supuesto implica un costo económico.

De acuerdo a estos resultados y siguiendo este criterio del ensayo 2 para el ensayo 1, se establece que el tiempo de extracción t_1 y t_2 es de 16 y 22 min respectivamente.

Figura III-7

Cinética de extracción de aceite esencial de la naranja variedad criolla



Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.6 Rendimiento de la Extracción del Aceite Esencial de Cáscara de Naranja

Para poder determinar el rendimiento del aceite esencial de la cascara de naranja se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{volumen de aceite esencial}}{\text{masa de materia prima}} * 100\%$$

En la tabla III-4, se muestran los resultados de los experimentos realizados de acuerdo al diseño factorial planteado.

Tabla III-4

Rendimientos de los aceites esenciales obtenidos.

| N° Experimento | Variables | | | Volumen de aceite extraído (ml) | % Rendimiento en base húmeda |
|-------------------|-----------|----|-----|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | A | B | C | | |
| 1 | 70 | 16 | 1:4 | 0,60 | 0,300 |
| 2 | 80 | 16 | 1:4 | 0,90 | 0,450 |
| 3 | 70 | 22 | 1:4 | 1,30 | 0,650 |
| 4 | 80 | 22 | 1:4 | 0,70 | 0,350 |
| 5 | 70 | 16 | 1:7 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 80 | 16 | 1:7 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 70 | 22 | 1:7 | 0,79 | 0,395 |
| 8 | 80 | 22 | 1:7 | 1,00 | 0,500 |
| Réplica | | | | | |
| 9 | 70 | 16 | 1:4 | 0,75 | 0,375 |
| 10 | 80 | 16 | 1:4 | 0,80 | 0,400 |
| 11 | 70 | 22 | 1:4 | 0,90 | 0,450 |
| 12 | 80 | 22 | 1:4 | 0,78 | 0,390 |
| 13 | 70 | 16 | 1:7 | 0,00 | 0,00 |
| 14 | 80 | 16 | 1:7 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | 70 | 22 | 1:7 | 0,59 | 0,295 |
| 16 | 80 | 22 | 1:7 | 0,71 | 0,355 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la tabla III-4, se puede observar que entre los diferentes ensayos realizados se obtuvo un rendimiento máximo de 0,650%, en un tiempo de 22 min de extracción. Comparando estos resultados con otros autores como Cerna, L. & Torres, J. (2020), Benítez Vega D. G. (2016), y Obregón Mariano Edwar W. (2018), estos dos últimos mediante un método de arrastre de vapor de agua, se observa lo siguiente: Cerna y

Torres reportan un rendimiento de 0,6219 % por el método de hidrodestilación aplicado a un equipo de microondas; Benites y Obregón reportan rendimientos de 0,319 % y 0,1150 % respectivamente, por el método de arrastre por vapor.

Se puede concluir que el rendimiento obtenido en el estudio está dentro de los parámetros de normalidad.

La variación en las réplicas se debe a la calidad de las cáscaras individuales dentro de ese peso, lo que podría influir en la cantidad de aceite esencial extraído. Esta variación está determinada por diversos elementos que intervienen en el proceso de producción del cultivo, estos elementos pueden ser:

- Calidad del suelo: características físicas como textura y químicas como fertilidad (macro y micronutrientes más porcentaje de materia orgánica).
- Riegos: proporcionar al cultivo la cantidad adecuada de agua en el momento oportuno para su desarrollo.
- Manejo fitosanitario: el control de plagas y enfermedades dentro del cultivo es un factor preponderante para determinar la calidad de la fruta

Estos factores en la zona donde se recolectó la naranja que sirve para el presente trabajo de investigación, no son homogéneos por lo tanto en los volúmenes extraídos puede haber variación en las réplicas.

3.7 Análisis Estadístico del Diseño Experimental

Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 25. Se realizó un análisis lineal univariado, determinando la influencia de la interacción de los factores de estudio en las variables de respuesta a un nivel de significancia del 5 % (95 % de confiabilidad).

Con el análisis de varianza ANOVA se determina la influencia de los factores, potencia de microondas, tiempo de extracción y relación cáscara / agua y sus interacciones sobre la variable respuesta rendimiento.

Los datos introducidos al programa SPSS de acuerdo al diseño experimental planteado se muestran en la Tabla III-5.

Tabla III-5

Datos para el análisis de varianza

| N° Experimento | A | B | C | Volumen de aceite extraído (ml) | % Rendimiento en base húmeda |
|----------------|----|----|----|---------------------------------|------------------------------|
| 1 | -1 | -1 | -1 | 0,60 | 0,300 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | 0,90 | 0,450 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 1,30 | 0,650 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 0,70 | 0,350 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 0,00 | 0,000 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | 0,00 | 0,000 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | 0,79 | 0,395 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1,00 | 0,500 |
| Réplica | | | | | |
| 9 | -1 | -1 | -1 | 0,75 | 0,375 |
| 10 | 1 | -1 | -1 | 0,80 | 0,400 |
| 11 | -1 | 1 | -1 | 0,90 | 0,450 |
| 12 | 1 | 1 | -1 | 0,78 | 0,390 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 0,00 | 0,000 |
| 14 | 1 | -1 | 1 | 0,00 | 0,000 |
| 15 | -1 | 1 | 1 | 0,59 | 0,295 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 0,71 | 0,355 |

Fuente: SPSS 25

La tabla III-6 muestra las variables del diseño experimental y el número de repeticiones para cada variable registradas por el programa y realizadas en la parte experimental para un diseño 2^3 con un total de 16 observaciones.

Tabla III-6

Variables del diseño experimental

| | | | |
|---------------------------|----|-----|---|
| Potencia (A) | -1 | 70 | 8 |
| | 1 | 80 | 8 |
| Tiempo de extracción (B) | -1 | 16 | 8 |
| | 1 | 22 | 8 |
| Relación cáscara/agua (C) | -1 | 1:4 | 8 |
| | 1 | 1:7 | 8 |

Fuente: SPSS 25

En la tabla III-7 se detalla el análisis de varianza, para probar la significancia estadística de cada factor sobre el rendimiento. A continuación, se muestra el análisis de varianza (ANOVA), obtenido a partir de la aplicación del programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows, versión 25.

Tabla III-7

Análisis de Varianza (ANOVA)

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------|----------|-------------|
| Modelo corregido | ,565a | 7 | 0,081 | 15,984 | 0 |
| Intersección | 1,507 | 1 | 1,507 | 298,552 | 0 |
| A | 2,50E-05 | 1 | 2,50E-05 | 0,005 | 0,946 |
| B | 0,216 | 1 | 0,216 | 42,843 | 0 |
| C | 0,207 | 1 | 0,207 | 41,02 | 0 |
| A * B | 0,009 | 1 | 0,009 | 1,695 | 0,229 |
| A * C | 0,008 | 1 | 0,008 | 1,517 | 0,253 |
| B * C | 0,095 | 1 | 0,095 | 18,736 | 0,003 |
| A * B * C | 0,031 | 1 | 0,031 | 6,068 | 0,039 |
| Error | 0,04 | 8 | 0,005 | | |
| Total | 2,112 | 16 | | | |
| Total corregido | 0,605 | 15 | | | |

Fuente: SPSS 25

Dado que se está trabajando con un nivel de confianza de 95%, los valores que indiquen un nivel de significancia menor a 0.05 serán tomados en cuenta en el modelo, aseverando que las variables cuyo valor de significancia sea superior a 0.05 indicaría que no existe diferencia significativa en las mediciones de dichos grupos.

En este sentido, el único factor cuyo nivel de significancia es menor a 0.05 son B (P=0.000), C (P= 0.000), BC (P= 0.003) y ABC (P=0.039).

Por tanto, el modelo a considerar con las variables consideradas según en ANOVA es:

$$\text{Rendimiento} = \beta_0 + \beta_1 * (B) + \beta_2 * (C) + \beta_3 * (B * C) + \beta_4 * (A * B * C)$$

Tabla III-8

Resumen del modelo

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación |
|--------|--------------------|------------|---------------------|---------------------------------|
| 1 | 0,952 ^a | 0,906 | 0,872 | 0,07174 |

Fuente: Elaboración propia, Statistical Package for the Social Sciences, version 25

En la tabla III-8 se observa que R cuadrado tiene un valor cercano a uno, este valor representa la proporción de datos que es posible predecir el rendimiento, en porcentaje se lo puede expresar 90,6%.

Tabla III-9***Coefficientes***

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. | |
|---|--------------------------------|-------------|-----------------------------|--------|--------|-------|
| | B | Desv. Error | Beta | | | |
| 1 | (Constante) | 0,307 | 0,018 | | 17,11 | 0 |
| | Tiempo de extracción | 0,116 | 0,018 | 0,598 | 6,482 | 0 |
| | Relación cáscara/agua | -0,114 | 0,018 | -0,585 | -6,342 | 0 |
| | BC | 0,077 | 0,018 | 0,395 | 4,286 | 0,001 |
| | ABC | 0,044 | 0,018 | 0,225 | 2,439 | 0,033 |
| a. Variable dependiente: % Rendimiento en base húmeda | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, Statistical Package for the Social Sciences, version 25

La tabla III-9 de estimación de los coeficientes indica que la interacción ABC es significativa. Por tanto, el modelo resultante es:

$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento} = & 0.307 + 0.116 * (B) - 0.114 * (C) + 0.077 * (B * C) + 0.044 \\
 & * (A * B * C)
 \end{aligned}$$

Esta ecuación relaciona específicamente los niveles de los factores A, B y C del diseño experimental planteado en esta investigación, de manera que la respuesta rendimiento sea representativa de los resultados obtenidos en la experiencia.

En la Tabla III-10, se realiza la comparación de los resultados del rendimiento obtenido de manera experimental respecto del rendimiento obtenido mediante el modelo matemático.

A continuación, se presentan los valores estimados por el modelo

Tabla III-10

Valores estimados por el Modelo

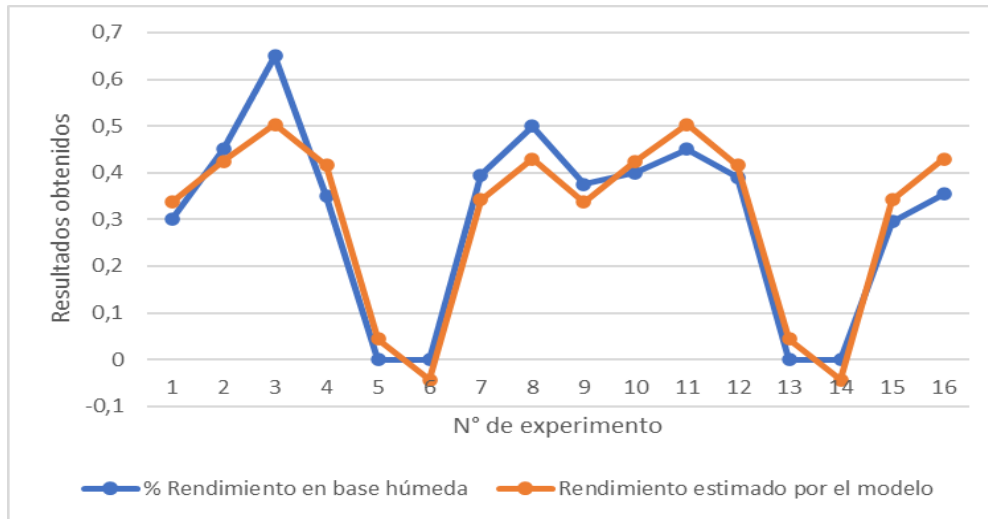
| N° Experimento | A | B | C | % Rendimiento en base húmeda | Rendimiento estimado por el modelo |
|----------------|----|----|----|------------------------------|------------------------------------|
| 1 | -1 | -1 | -1 | 0,300 | 0,33750 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | 0,450 | 0,42500 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 0,650 | 0,50375 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 0,350 | 0,41625 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 0,000 | 0,04375 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | 0,000 | -0,04375 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | 0,395 | 0,34250 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 0,500 | 0,43000 |
| 9 | -1 | -1 | -1 | 0,375 | 0,33750 |
| 10 | 1 | -1 | -1 | 0,400 | 0,42500 |
| 11 | -1 | 1 | -1 | 0,450 | 0,50375 |
| 12 | 1 | 1 | -1 | 0,390 | 0,41625 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 0,000 | 0,04375 |
| 14 | 1 | -1 | 1 | 0,000 | -0,04375 |
| 15 | -1 | 1 | 1 | 0,295 | 0,34250 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 0,355 | 0,43000 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Graficando los datos obtenidos del rendimiento estimado en la figura III-8, se puede observar de mejor manera la similitud entre ambos.

Figura III-8

Curva de comparación de resultados obtenidos experimentalmente y del modelo matemático



Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.8 Resultados de los análisis realizados al Aceite Esencial de Cáscara de Naranja

3.8.1 Características Organolépticas

En Tabla III-11 se muestra una comparación de las características organolépticas del aceite esencial de cáscara de naranja obtenido.

Tabla III-11

Comparación de las características organolépticas del aceite esencial de cáscara de naranja.

| Características | Aceite Esencial Obtenido | Datos Bibliográficos | |
|-----------------|--|--|-----------------------------------|
| | Hidrodestilación asistida por microondas | Hidrodestilación asistida por microondas | Método Arrastre de Vapor |
| Color | Incoloro | Incoloro | Ligeramente Amarillo |
| Olor | Característico a cítrico Naranja | Característico de naranja, muy acentuado | Olor Característico de la Naranja |
| Aspecto | Líquido Transparente | Líquido Transparente | Líquido Transparente |

Fuente: (Cerna Lenin & Torres Juan 2020); (Benítez Vega Daniel 2016)

Analizando las características organolépticas del aceite obtenido con los datos de Benítez Vega Daniel (2016), se observa que existe similitud entre el olor y aspecto, en cuanto al color del aceite esencial se observa una diferencia, siendo ligeramente amarillo por el método de arrastre de vapor, por lo cual se deduce que es propio del método. Por otro lado, Cerna Lenin & Torres Juan (2020), se observa que existe similitud entre el color, olor y aspecto, también se puede presentar la variación del color debido al excesivo calentamiento o al maltrato de la cascara de igual manera se puede presentar en el método de hidrodestilación convencional acoplado a un equipo de microondas, debido a la excesiva exposición a microondas, lo que puede generar un Aceite Esencial extraído de color ligeramente amarillento.

3.8.2 Análisis fisicoquímico

Los resultados del análisis fisicoquímico del aceite esencial realizado por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), se presentan en la tabla III-12 donde se comparan con los datos obtenidos en otros estudios realizados en la misma variedad.

Tabla III-12

Comparación de Análisis fisicoquímico del aceite esencial de la cáscara de naranja

| Parámetros | Aceite Esencial obtenido | según los datos Cerna Lenin & Torres Juan (2020) | según los datos de Benítez Vega Daniel (2016) |
|-----------------------------|--------------------------|--|---|
| | | Hidrodestilación asistida por microondas | Arrastre por vapor |
| Índice de refracción (20°C) | 1,4701 | 1,4696 | 1,4748 |
| Densidad Relativa (20°C) | 0,84 | 0,848 | 0,8469 |
| pH (20°C) | 5,82 | - | 4,75 |

Fuente: CEANID, 2024

Pero como las propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales pueden variar según las características de materia prima utilizada. Una vez analizados los resultados se considera que el aceite esencial de cáscara de naranja cumple con los parámetros para este tipo de aceite.

El informe brindado por el CEANID se encuentra en la sección de Anexo 3

3.8.3 Composición química del Aceite Esencial de Cascara de Naranja

En el informe del análisis de composición química por cromatografía gaseosa realizado por el Centro de Investigaciones Químicas (C.I.Q.), reportan 8 compuestos presentes en el aceite esencial de cáscara de naranja los cuales compararemos con los datos bibliográficos de Cerón I. y Cardona C. presentes en la tabla I-13 del capítulo 1 que corresponde al marco teórico.

En la Tabla III-13 se muestra los componentes mayoritarios del aceite esencial de cáscara de naranja obtenido y datos de bibliografía para realizar una comparación.

Tabla III-13

Composición química del aceite esencial de cáscara de naranja

| Composición Química | | | | |
|---|-------------------|--|--|-------------------|
| Propiedades Químicas del Aceite Esencial del Estudio C.I.Q. (2023) | | Propiedades Químicas según Benítez Vega D. Método Arrastre de Vapor Variedad Criolla (2016) | Propiedades Según Datos Bibliográficos de Cerón I. y Cardona C. (2010). | |
| Compuesto | % Relativo | % Relativo | Compuesto | % Relativo |
| D-Limoneno | 97,77 | 98,1 | D-Limoneno | 90,967 |
| Mirceno | 0,9965 | 0,92 | β -Mirceno | 1,753 |
| Linalol | 0,2997 | 0,40 | Linalol | 1,267 |
| A-Pineno | 0,3293 | 0,30 | A-Pineno | 0,532 |
| Terpinoleno | 0,0612 | 0,14 | γ -Terpinoleno | 1,649 |
| Octanal | 0,1068 | - | Octanal | 0,199 |
| 1-Decanal | 0,206 | - | Decanal | 0,23 |

Fuente: Elaboración propia, con datos de laboratorio del Centro de investigaciones químicas (C.I.Q.), de Cochabamba, 2023. Según Anexo 4.

En ambos datos el compuesto de mayor porcentaje relativo es el limoneno, con un 97,77 % para el aceite obtenido y un 90,967% para el aceite de los datos según Cerón I y Cardona C. (2010). El aceite esencial de cáscara de naranja se caracteriza por tener un alto porcentaje de limoneno. Por lo tanto, el aceite esencial obtenido presenta la

composición química característica para este tipo de aceite, también se observa que el porcentaje de contenido de limoneno esta por dentro del rango permitido que caracteriza a un aceite esencial de calidad. Por lo tanto, se concluye que no existe una gran variación de la composición del aceite respecto al método utilizado de hidrodestilación asistida por microondas.

3.9 Balance de Materia y Energía

En el proceso de extracción del aceite esencial de cáscara de naranja, es necesario realizar un balance de materia y energía para poder contabilizar los flujos de materia y energía, con la finalidad de tener conocimiento de los caudales másicos de todas las corrientes que intervienen en el proceso de extracción como así las necesidades energéticas del mismo.

Durante el proceso de extracción de los 16 experimentos planteados en el diseño factorial se registraron una serie de datos para realizar el balance de materia y energía. Por lo cual se utilizó solo los datos del experimento en el que se obtuvieron el mayor rendimiento de aceite esencial, con el fin de tener resultados óptimos.

El balance de materia del proceso de extracción se realizó para poder determinar el valor de las corrientes que no se conocen, la cantidad total de agua que se pierde, el flujo másico de vapor que nos sirvió para realizar el balance de energía.

El ensayo de mayor rendimiento es el que se obtuvo 1,3 ml de aceite esencial con 200 g de cáscara de naranja a una relación de 1:4 de cáscara y agua, con un tiempo de extracción de 22 min a una potencia de 70%.

En la tabla III-14 se establecen los datos con los cuales se desarrollará el balance de materia y energía.

Tabla III-14

Datos de la extracción que presenta el mejor rendimiento

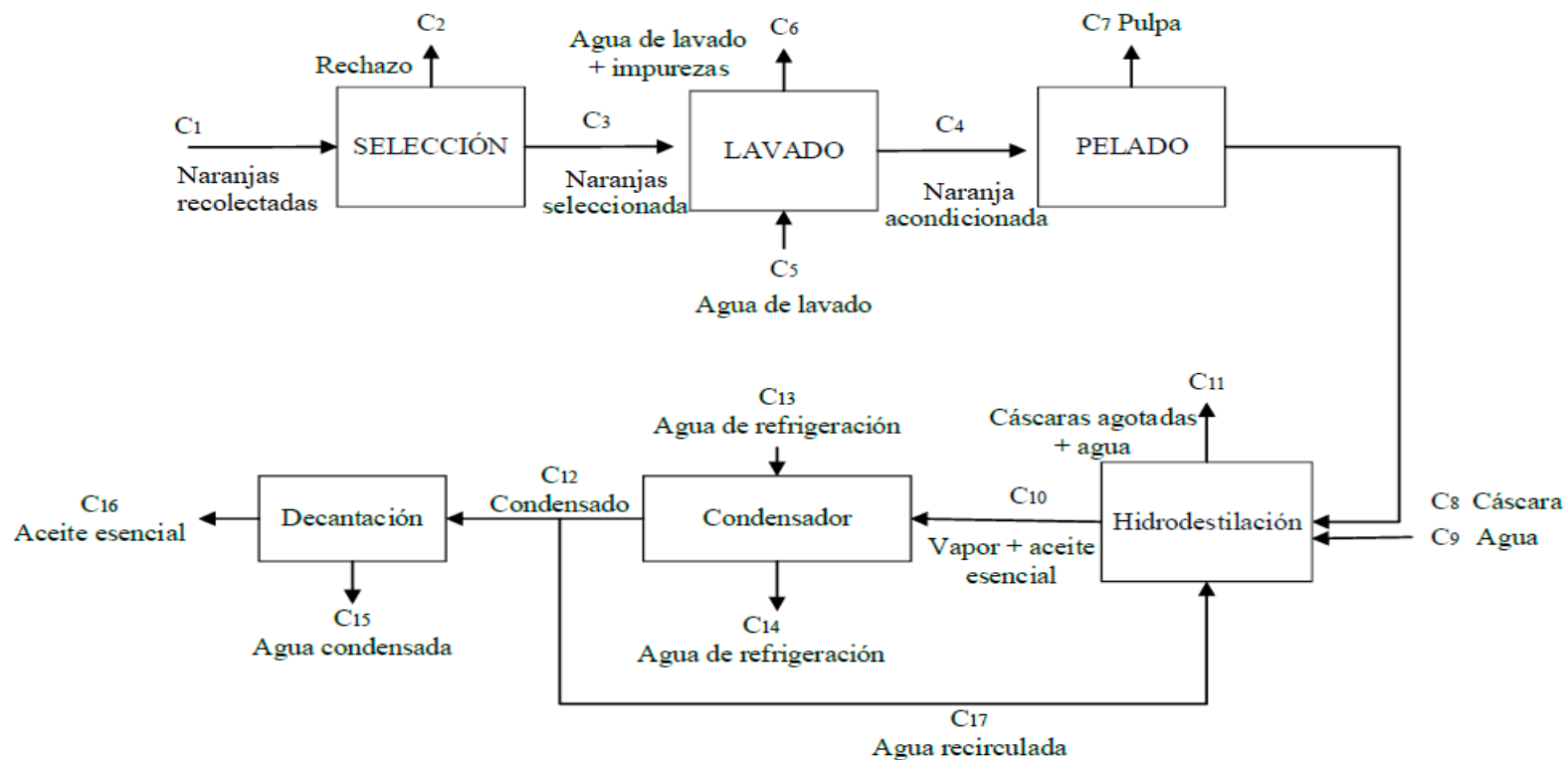
| DETALLE | DATOS |
|--|------------|
| Tiempo de extracción | 22 min |
| Masa de cáscara | 200 g |
| Volumen agua de extracción | 800 ml |
| Caudal de agua de refrigeración | 1,46 L/min |
| Aceite esencial extraído | 1,3 ml |
| Mezcla aceite esencial e hidrolato | 18 ml |
| Densidad del aceite esencial | 0,84 g/ml |
| Vapor condensado | 42 ml |
| Volumen de agua de lavado | 10 L |
| Temperatura inicial en el hidrodestilador | 10 °C |
| Temperatura de entrada del agua de refrigeración | 11 °C |
| Temperatura de salida del agua de refrigeración | 20°C |
| Temperatura de vapores | 93 °C |
| Temperatura de condensados | 52 °C |
| Tiempo muerto de calentamiento | 10 min |

Fuente: Elaboración propia, con los datos obtenidos en el estudio, 2023

De igual manera en la figura III-9, se muestra un diagrama de bloques del proceso tecnológico experimental.

Figura III-9

Diagrama de Bloques del Proceso Tecnológico Experimental



Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.9.1 Nomenclatura del balance de materia.

En la tabla III-15 se presenta la nomenclatura del balance de materia

Tabla III-15

Nomenclatura del balance de materia

| Corriente | Descripción |
|-----------------|----------------------------------|
| C ₁ | Naranjas |
| C ₂ | Naranjas rechazadas |
| C ₃ | Naranja seleccionada |
| C ₄ | Naranja acondicionada |
| C ₅ | Agua de lavado |
| C ₆ | Agua de lavado + impurezas |
| C ₇ | Pulpa |
| C ₈ | Peso de la Cáscara |
| C ₉ | Agua de extracción |
| C ₁₀ | Vapor + aceite esencial |
| C ₁₁ | Cáscaras agotadas + agua |
| C ₁₂ | Condensados |
| C ₁₃ | Entrada de agua de refrigeración |
| C ₁₄ | Salida de agua de refrigeración |
| C ₁₅ | Agua condensada |
| C ₁₆ | Aceite esencial |
| C ₁₇ | Agua recirculada |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.9.2 Balance De Materia

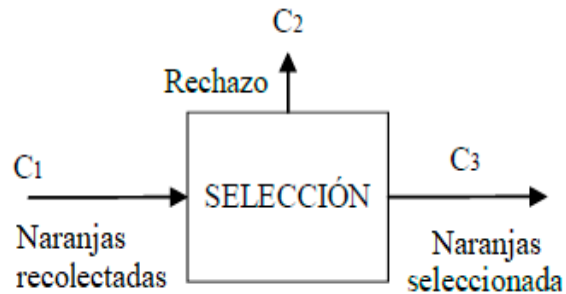
El balance de materia se completa haciendo uso de los datos registrados en la Tabla III-14 y de las ecuaciones necesarias para encontrar los valores de las corrientes que no se conocen.

3.9.2.1 Balance en la etapa de selección

Se tiene como dato que la corriente de $C_8 = 200$ g y el porcentaje en peso de cáscara en cada fruta es de 17,62 %.

Figura III-10

Balance en la etapa de selección



Se considera un valor del 1,01% de suciedad en la naranja.

Para calcular el porcentaje de suciedad en la naranja, la siguiente fórmula es:

$$\text{Porcentaje de suciedad} = \left(\frac{\text{Peso de la suciedad}}{\text{Peso total de la naranja}} \right) * 100$$

Donde el peso de la suciedad se calcula como la diferencia entre el peso total de la naranja antes de la limpieza y el peso después de la limpieza.

Datos: El peso total de la naranja antes de la limpieza es 229,32 gramos y el peso de la naranja después de la limpieza es 227 gramos.

La corriente C_3 se la calcula mediante la ecuación (1a):

$$C_3 = \frac{100 * C_8}{17,62} * 1,01 \quad (1a)$$

Remplazando los valores y desarrollando los cálculos correspondientes se tiene el valor de la corriente C_3 Naranjas seleccionadas:

$$C_3 = \frac{100 * 200 \text{ g}}{17,62} * 1,01 = 1146,42 \text{ g}$$

De igual forma del proceso de selección, se tiene como rechazo un 4 %. En este sentido a partir de la ecuación (1) y (2) se obtiene el peso de la corriente C_1 y C_2 .

$$C_1 = C_2 + C_3 \quad (1)$$

$$C_2 = C_1 * 0,04 \quad (2)$$

Remplazando Ecuación 2 en 1

$$C_1 = C_1 * 0,04 + C_3 \quad (3)$$

Despejando C_1 y desarrollando las operaciones y cálculos correspondientes se obtiene la cantidad de naranja:

$$C_1 = \frac{C_3}{1 - 0,04} = \frac{1146,42 \text{ g}}{1 - 0,04} = 1194,18 \text{ g}$$

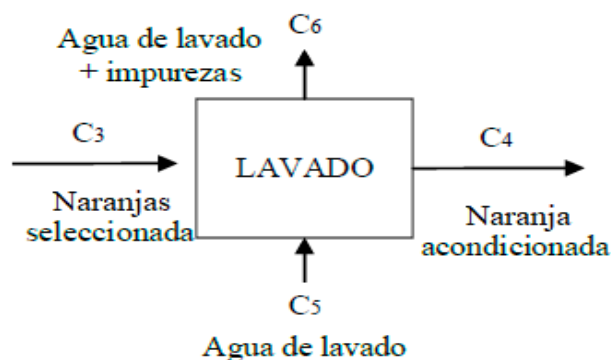
Con este dato y a partir de la ecuación (1), se despeja la corriente C_2 obteniéndose la cantidad de naranja rechazada:

$$C_2 = C_1 - C_3 = 1194,18 \text{ g} - 1146,42 \text{ g} = 47,76 \text{ g}$$

3.9.2.2 Balance en la etapa de lavado

Figura III-11

Balance en la etapa de lavado



Se tiene que la corriente $C_5 = 10$ litros, considerando una densidad ρ del agua $= 1 \text{ g/cm}^3$

$C_5 = 10000$ g. Considerando 1,01% de suciedad, se tiene.

$$C_3 + C_5 = C_4 + C_6 \quad (4)$$

$$C_6 = C_5 + C_3 * 0,01 \quad (5)$$

Remplazando los datos y realizando los cálculos correspondientes en la ecuación 5 calculamos la corriente C_6 :

$$C_6 = 10000 \text{ g} + 1146,42 \text{ g} * 0,01 = 10011,46 \text{ g}$$

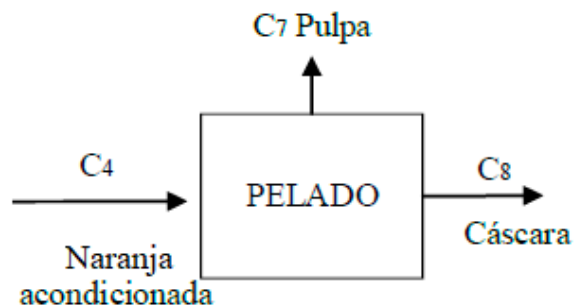
Posteriormente procedemos al cálculo de la corriente C_4 a partir de la ecuación (4), despejando C_4 se reemplazan los valores correspondientes y se realizan los cálculos, se obtiene la cantidad de naranja acondicionada.

$$C_4 = C_3 + C_5 - C_6 = 1146,42 \text{ g} + 10000 \text{ g} - 10011,46 \text{ g} = 1134,96 \text{ g}$$

3.9.2.3. Balance en la etapa de pelado

Figura III-12

Balance en la etapa de pelado



Realizando un balance total se tiene:

$$C_4 = C_8 + C_7 \quad (6)$$

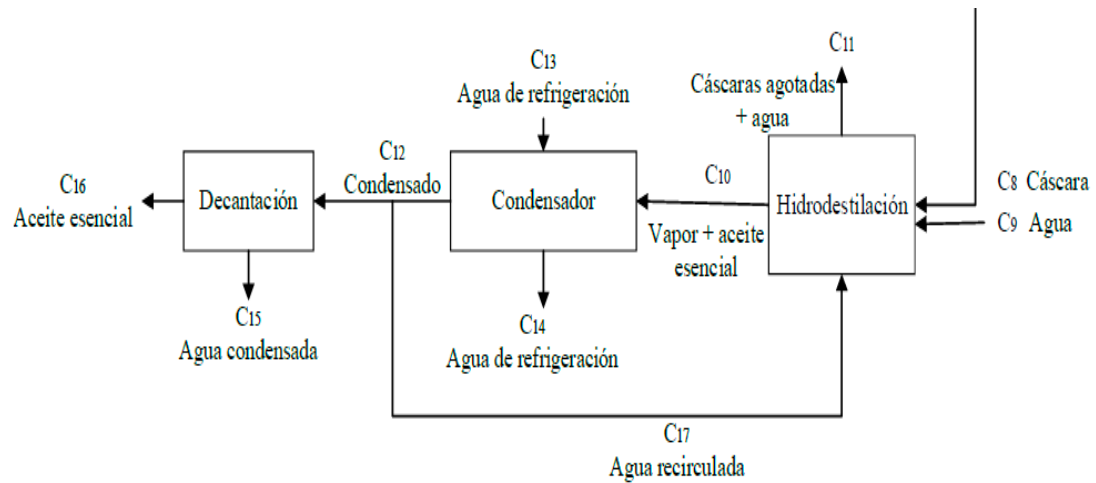
Siendo $C_8 = 200$ g, de la Ecuación 6 se calcula C_7

$$C_7 = C_4 - C_8 = 1134,96 \text{ g} - 200 \text{ g} = 934,96 \text{ g}$$

3.9.2.4. Balance en la etapa de extracción

Figura III-13

Balance en la etapa de extracción



Para calcular la corriente C_{11} se hace un balance total de las tres etapas a través de la ecuación (7).

$$C_8 + C_9 = C_{15} + C_{16} + C_{11} \quad (7)$$

Se tiene que C_{16} es de 1,3 ml de aceite esencial, conociendo su densidad de $\rho_{\text{aceite}} = 0,84 \text{ g/ml}$

$$C_{16} = V_{\text{aceite}} * \rho_{\text{aceite}} = 1,3 \text{ ml} * 0,84 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1,092 \text{ g}$$

También se tiene como dato conocido C_{15} y C_9 , siendo un volumen de agua condensada de 16,7 ml y 800 ml respectivamente, considerando una densidad $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/ml}$ se tiene $C_{15} = 16,7 \text{ g}$ y $C_9 = 800 \text{ g}$

Despejando C_{11} y reemplazando datos en la ecuación 7 se obtiene la corriente C_{11} .

$$C_{11} = C_8 + C_9 - C_{15} - C_{16} = 200 \text{ g} + 800 \text{ g} - 16,7 \text{ g} - 1,092 \text{ g} = 982,20 \text{ g}$$

Para determinar la corriente de recirculación C_{17} se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$C_{10} = C_{12} \quad (8)$$

$$C_{17} = C_{12} - C_{15} - C_{16} \quad (9)$$

Se tiene como dato conocido $C_{12} = 42$ ml donde 1,3 ml son aceite esencial y el resto agua. Entonces considerando una densidad ρ agua = 1 g/ml se tiene:

$$C_{12} = 40,7 \text{ ml} * 1 \frac{\text{g}}{\text{ml}} + 1,3 \text{ ml} * 0,84 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 41,79 \text{ g}$$

Haciendo uso de la Ecuación 9 se obtiene la corriente de recirculación.

$$C_{17} = 41,79 \text{ g} - 16,7 \text{ g} - 1,092 \text{ g} = 23,99 \text{ g}$$

La corriente de agua de refrigeración se las calcula mediante el tiempo de extracción y el caudal. Siendo la corriente de entrada igual a la salida se tiene:

$$C_{13} = C_{14} = Q * t_{\text{extracción}} = 1,46 \frac{\text{L}}{\text{min}} * 22\text{min} = 32,15 \text{ L} = 32,15 \text{ kg}$$

A continuación, en la Tabla III-16 se presentan los resultados del balance de materia de manera resumida.

Tabla III-16

Resultados del balance de materia

| CORRIENTE | CONTENIDO | MASA |
|------------------|----------------------------------|-------------|
| C ₁ | Naranja | 1194,18 g |
| C ₂ | Naranjas rechazadas | 47,76 g |
| C ₃ | Naranja seleccionada | 1146,42 g. |
| C ₄ | Naranja acondicionada | 1134,96 g |
| C ₅ | Agua de lavado | 10000 g |
| C ₆ | Agua de lavado + impurezas | 10011,46 g |
| C ₇ | Pulpa | 934,96 g |
| C ₈ | Cáscaras | 200 g |
| C ₉ | Agua de extracción | 800 g |
| C ₁₀ | Vapor + aceite esencial | 41,79 g |
| C ₁₁ | Cáscaras agotadas + agua | 982,20 g |
| C ₁₂ | Condensados | 41,79 g |
| C ₁₃ | Entrada de agua de refrigeración | 32,15 kg |
| C ₁₄ | Salida de agua de refrigeración | 32,15 kg |
| C ₁₅ | Agua condensada | 16,7 g |
| C ₁₆ | Aceite esencial | 1,092 g |
| C ₁₇ | Agua recirculada | 23,99 g |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.9.3 Balance de energía

Para el balance energético del proceso de hidrodestilación, es necesario tomar en consideración los factores que afectan la velocidad del calentamiento en el producto, así como el calor sensible y latente del agua en el proceso y la energía necesaria para el calentamiento de la biomasa entre otras variables como se muestra en las ecuaciones 10-19.

$$Q_{cedido} = Q_{ganado} \quad (10)$$

El calor de energía necesario Q_{ganado} para realizar esta operación está compuesto por cuatro términos.

a) Energía consumida para calentar el agua hasta la temperatura de ebullición más la necesaria para generar el vapor.

$$Q_{H_2O} = Q_{sensible} + Q_{latente} \quad (11)$$

$$Q_{sensible} = m_{agua} c_{p_{agua}} (T_f - T_i) \quad (12)$$

Donde $Q_{sensible}$ es el calor absorbido por el agua. m_{agua} es la masa de agua. $c_{p_{agua}}$ es la capacidad calorífica del agua. T_f es temperatura final del agua y T_i es la temperatura inicial del agua, la capacidad calórica del agua fue a partir de tablas generales (Felder & Rousseau. 2004)

$$Q_{latente} = m_{vapor} \lambda_{vapor} ; \lambda = h_v - h_1 \quad (13)$$

Donde m_{vapor} es la masa de agua vaporizada. λ es el calor latente de vaporización del agua. El calor latente de vaporización del agua fue a partir de tablas generales (Felder & Rousseau. 2004)

b) Energía para calentamiento de la planta aromática (Q_{ac}):

$$Q_{ac} = m_{cáscara} c_{p_{cáscara}} (T_f - T_i) \quad (14)$$

Donde Q_{ac} es el calor absorbido por la cáscara en base seca. $C_{p_{cáscara}}$ es la capacidad calorífica de la cáscara. T_f es temperatura final alcanzada por la cáscara y T_i es la temperatura inicial de la cáscara.

c) Energía para calentamiento del hidro destilador (Q_{hidro});

$$Q_{hidro} = m_{hidro} c_{p_{hidro}} (T_f - T_i) \quad (15)$$

Donde Q_{hidro} es el calor absorbido por el balón del hidro destilador. $C_{p_{hidro}}$ es la capacidad calorífica del material del balón (vidrio de borosilicato). T_f es temperatura final alcanzada por el hidro destilador y T_i es la temperatura inicial. El $C_{p_{hidro}}$ agua fue a partir de tablas generales (Lienhard & Lienhard. 2020)

d) El flujo del calor perdido al exterior debido a la convección natural:

$$Q_{perdido} = haAD(t - t_{\infty}) \quad (16)$$

Donde el calor perdido por convección en las pérdidas del homo se desprecia.

Por lo tanto, la energía necesaria es calculada como la suma de las energías anteriores con respecto de un tiempo de operación:

$$Q_{cedido} = Q_{ac} + Q_{H_2O} + Q_{hidro} + Q_{perdido} \quad (17)$$

Tomando en cuenta que la energía perdida es mínima o nula se tiene que:

$$Q_{cedido} = Q_{ac} + Q_{H_2O} + Q_{hidro} \quad (18)$$

$$Q_{cedido} = Q_{ac} + (c_{p_{agua}} m_{agua} \Delta T + m_{vapor} \lambda) + m_{hidro} c_{p_{hidro}} \Delta T \quad (19)$$

Para calcular la energía necesaria que se necesita para vaporizar el aceite esencial se considera:

Potencia de salida del horno de microondas: 700 W

Porcentaje de potencia de operación: 70%

Tiempo operación: 22 min

Rango de temperatura: 10 - 93 °C

Al encontrarse el lugar de estudio a una altura de 1857 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), la ebullición del agua ocurre a una temperatura de 93 °C.

Mediante la definición de potencia se calcula el Q_{cedido} :

$$E = P * t \quad (20)$$

Donde:

E: energía en joule (kW-h)

t: tiempo en segundos (h)

P: potencia en watt (kW)

Tenemos que la potencia que genera el microondas representa el 70% de la potencia de salida, por lo tanto, tenemos:

$$P = 700 \text{ W} * 70\% = 490 \text{ W}$$

La energía consumida por el horno de microondas en el tiempo de funcionamiento es:

$$E = 0,49 \text{ kW} * 0,367 \text{ h} = 0,18 \text{ kW-h}$$

Considerando que 1 kW-h es equivalente a 3600 kJ se tiene que la energía que irradia el microondas es:

$$E = Q_{cedido} = 0,18 \text{ kw-h} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kw-h}} = 648 \text{ kJ}$$

Para determinar la masa de agua líquida se hace una sumatoria del agua añadida en el hidro destilador y el agua contenida en la biomasa, tomando en cuenta que la humedad de la cáscara de los análisis realizados se tiene que es de 75,67%.

$$M_{H_2O} = 800 \text{ g} + 200 \text{ g} * 0,7567 = 951,34 \text{ g}$$

Haciendo uso de la Ecuación 11 y tomado en cuenta una masa de agua vaporizada de 42 g, siendo esta una mezcla de agua y aceite, se considera que el contenido de aceite no afecta las propiedades del agua.

$$Q_{H_2O} = \left(951,34 \text{ g} * 4,185 \frac{J}{^\circ\text{C}\cdot\text{g}} * (93 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C}) \right) + \left(42 \text{ g} * 2256,66 \frac{J}{\text{g}} \right)$$

$$Q_{H_2O} = 425232,42 \text{ J} = 425,23 \text{ kJ}$$

Para el cálculo del calor absorbido por el hidro destilador se hace uso de la Ecuación 15, tomando en cuenta una masa de 587 g para el balón del hidro destilador.

$$Q_{hidro} = 587 \text{ g} * 0,753 \frac{J}{^\circ\text{C}\cdot\text{g}} * (93 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{hidro} = 36686,91 \text{ J} = 36,69 \text{ kJ}$$

Usando la Ecuación 17, se calculó el calor necesario para el calentamiento de la biomasa.

$$Q_{ac} = 648 \text{ kJ} - 36,69 \text{ kJ} - 425,23 \text{ kJ}$$

$$Q_{ac} = 186,08 \text{ kJ}$$

Se obtiene del balance que la energía necesaria para separar 1,3 ml de aceite esencial es de 186,08 kJ.

Los cálculos del balance de energía en el condensador son:

Calor cedido por el vapor al condensarse:

$$Q_{cedido} = m_{vapor} * \lambda_{vapor} + m_{vapor} * cp * (T_v - T_c) \quad (21)$$

Considerando que el contenido de aceite esencial en la masa total de vapores condensados no afecta a la capacidad calorífica, siendo $m_{\text{vapor}} = 41,79 \text{ g}$ (determinado en la etapa de extracción del balance de materia)

$$Q_{\text{cedido}} = 41,79 \text{ g} * 2256,66 \frac{\text{J}}{\text{g}} + 41,79 \text{ g} * 4,185 \frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}} * (93 ^{\circ}\text{C} - 52 ^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{\text{cedido}} = 101476,35 \text{ J}$$

Calor recibido por el agua de refrigeración:

$$Q_{\text{ganado}} = m_{\text{agua refr}} * c_p * (T_f - T_i) \quad (22)$$

Se calcula el volumen del agua del refrigerante con los datos de caudal y tiempo de extracción.

$$V = Q * t \quad (23)$$

Teniendo en cuenta que existe un tiempo en la extracción hasta la generación de vapores. Siendo el tiempo muerto de 10 minutos, el tiempo a emplear en la fórmula es de 1,50 minutos, siendo el periodo de tiempo en donde empieza el calentamiento.

Aplicando la Ecuación 23 se tiene:

$$V = 1,46 \frac{\text{L}}{\text{min}} * 1,50 \text{ min} = 2,19 \text{ L}$$

Considerando la densidad del agua 1 kg/l, se calcula la masa del agua del refrigerante.

$$m_{\text{agua ref}} = \rho_{\text{agua}} * V$$

$$m_{\text{agua ref}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 2,19 \text{ L} = 2,19 \text{ L} = 2,19 \text{ kg} = 2190 \text{ g}$$

Haciendo uso de la Ecuación 22 se obtiene el calor ganado:

$$Q_{ganado} = 2190 \text{ g} * 4,185 \frac{\text{J}}{\text{°C.g}} * (20 \text{ °C} - 11 \text{ °C})$$

$$Q_{ganado} = 82486,35 \text{ J}$$

A continuación, en la Tabla III-17 se presentan los resultados del balance de energía de forma resumida.

Tabla III-17

Resultados del balance de energía

| TÉRMINO | VALOR |
|--|-------------|
| Potencia del microondas al 70% (P) | 490 W |
| Energía cedida por el microondas (E) | 648 kJ |
| Energía consumida por el agua de extracción (Q_{H_2O}) | 425,23 kJ |
| Calor absorbido por el hidro destilador (Q_{hidro}) | 36,69 kJ |
| Calor necesario para el calentamiento de la biomasa (Q_{ac}) | 186,08 kJ |
| Calor cedido por el vapor al condensarse (Q_{cedido}) | 101476,35 J |
| Calor recibido por el agua de refrigeración (Q_{ganado}) | 82486,35 J |

Fuente: Elaboración propia, con datos del estudio, 2023.

3.10 Consumo de Energía

El consumo de energía para obtener aceite esencial de la cáscara de naranja, fue calculado según la Ecuación 20, que considera la potencia de entrada del microondas y el tiempo de extracción, considerándose estos dos en el ensayo que se extrae la mayor cantidad de aceite esencial según lo señalado en la Tabla III-14.

Para calcular el consumo de energía eléctrica se considera:

Potencia de entrada del microondas: 1,2 kW

Tiempo de extracción: 22 min = 0,367 h

Consumo eléctrico = 1,2 kW * 0,367 h

Consumo eléctrico = 0,44 kW-h

Para la extracción de 1,3 ml de aceite esencial se tiene un consumo de energía eléctrica de 0,44 kW-h.

Los resultados obtenidos indican que la adaptación de la hidrodestilación al microondas, mediante la manipulación de variables clave como la potencia y el tiempo de exposición, junto con la relación cáscara/agua, no resulta en una disminución en la eficiencia de trabajo. El análisis detallado reveló que, al ajustar cuidadosamente estas variables, logramos mantener un rendimiento comparable al método convencional de hidrodestilación. Además, los datos recopilados muestran que la calidad del aceite esencial extraído sigue siendo alta. Por lo tanto, podemos concluir que la hidrodestilación adaptada al microondas representa una alternativa eficiente y efectiva para la extracción de aceites esenciales, sin comprometer la calidad ni la eficiencia del proceso.

3.11 Análisis de Costos del Proyecto

Los costos del estudio para la extracción del aceite esencial se presentan a continuación.

3.11.1 Costos Directos

Son los gastos que tienen una relación directa al desarrollo de la investigación. En la tabla III-18, se muestra los gastos incurridos en estos rubros.

Tabla III-18

Costos de materia prima.

| Ítem | Detalle | Unidades | Precio Unitario (Bs) | Cantidad | Costo (Bs) |
|-------|------------|----------|----------------------|----------|------------|
| 1 | Naranja | Unidad | 0,6 | 900 | 540 |
| 2 | Transporte | Bs | - | - | 250 |
| Total | | | | | 790 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para la extracción del aceite esencial se consideran los costos de los equipos y materiales comprados en la tabla III-19 se resumen estos gastos.

Tabla III-19

Costos de equipos y materiales

| Ítem | Detalle | Unidades | Precio Unitario (Bs) | Cantidad | Costo (Bs) |
|-------|----------------------------------|----------|----------------------|----------|------------|
| 3 | Microonda | Unidad | 750 | 1 | 750 |
| 4 | Trampa de Clevenger | Unidad | 1500 | 1 | 1500 |
| 5 | Vidrio de destilación | Unidad | 160 | 1 | 160 |
| 6 | Balón de destilación de 2000 ml | Unidad | 400 | 1 | 400 |
| 7 | Condensador | Unidad | 500 | 1 | 500 |
| 8 | Mangueras | Unidad | 10 | 1 | 10 |
| 9 | Abrazaderas | Unidad | 210 | 3 | 210 |
| 10 | Soporte Universal | Unidad | 250 | 1 | 250 |
| 11 | Pelador de cítricos | Unidad | 150 | 1 | 150 |
| 12 | Balanza | Unidad | 50 | 1 | 50 |
| 13 | Matraz de 1000 ml | Unidad | 100 | 1 | 100 |
| 14 | Termómetro | Unidad | 70 | 1 | 70 |
| 15 | Portaobjetos | Unidad | 3 | 3 | 9 |
| 16 | Cubreobjetos | Unidad | 2 | 3 | 6 |
| 17 | Frascos de vidrio ámbar de 30 ml | Unidad | 8 | 5 | 40 |
| Total | | | | | 4205 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

De igual forma la tabla III-20, se detallan los costos de agua para la realización de la extracción del aceite esencial

Tabla III-20

Costo de insumo.

| Ítem | Detalle | Unidades | Precio (Bs) | Cantidad | Costo (Bs) |
|-------|--------------|----------------|-------------|----------|------------|
| 18 | Agua potable | m ³ | 0,73 | 11,9 | 8,68 |
| Total | | | | | 8,68 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La tabla III-21, se detalla de igual forma el costo de energía suministrados al equipo en la extracción del aceite esencial.

Tabla III-21

Costos eléctricos del equipo.

| Ítem | Detalle | Precio (Bs/kw-h) | Potencia (Kw) | Tiempo (h) | Costo (Bs) |
|-------|---------------------------|------------------|---------------|------------|------------|
| 19 | Energía para el Microonda | 0,82 | 1,2 | 5 | 4,92 |
| Total | | | | | 4,92 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El costo de análisis de laboratorio corresponde a todos los gastos realizados para el análisis de la materia prima las cuales se muestran en la tabla III-22.

Tabla III-22*Costos de análisis fisicoquímicos de la materia prima.*

| Ítem | Detalle | Unidades | Precio Unitario (Bs) | Cantidad | Costo (Bs) |
|-------|--------------------|----------|----------------------|----------|------------|
| 20 | Humedad | Análisis | 25 | 1 | 25 |
| 21 | Ceniza | Análisis | 50 | 1 | 50 |
| 22 | Grasa | Análisis | 60 | 1 | 60 |
| 23 | Fibra | Análisis | 85 | 1 | 85 |
| 24 | Proteína total | Análisis | 75 | 1 | 75 |
| 25 | Hidrato de Carbono | Análisis | 5 | 1 | 5 |
| 26 | Valor energético | Análisis | 75 | 1 | 75 |
| 27 | Azucares totales | Análisis | 85 | 1 | 85 |
| Total | | | | | 460 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El costo del análisis fisicoquímico del aceite esencial, cuyos resultados se presentan en la tabla III-23.

Tabla III-23*Costos de análisis fisicoquímico del aceite esencial.*

| Ítem | Detalle | Unidades | Precio Unitario (Bs) | Cantidad | Costo (Bs) |
|-------|-------------------------------|----------|----------------------|----------|------------|
| 28 | Densidad relativa(20°C) | Análisis | 40 | 1 | 40 |
| 29 | Índice de refracción (20°C) | Análisis | 20 | 1 | 20 |
| 30 | pH (20°C) | Análisis | 20 | 1 | 20 |
| 31 | Cromatografía | Análisis | 1500 | 1 | 1500 |
| 32 | Envío de muestra a Cochabamba | Courier | 15 | 1 | 15 |
| Total | | | | | 1595 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la tabla III-24, se detalla la suma de los costos directos.

Tabla III-24

Costo total del proyecto

| Costos Directos | Precio (Bs) |
|--|--------------------|
| Costos de materia prima y transporte. | 790 |
| Costos de los equipos y materiales. | 4205 |
| Costos de insumos. | 8,68 |
| Costos eléctricos de los equipos. | 4,92 |
| Costos de análisis fisicoquímicos de la materia prima. | 460 |
| Costos de análisis fisicoquímicos del aceite esencial. | 1595 |
| Total | 7063,6 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.11.2 Costos Indirectos

Los gastos indirectos se detallan en la tabla III-25.

Tabla III-25

Costos indirectos

| Ítem | Detalle | Unidades | Precio Unitario (Bs) | Cantidad | Costo (Bs) |
|--------------|------------|----------|----------------------|----------|------------|
| 33 | Internet | Hora | 5 | 120 | 600 |
| 34 | Transporte | Día | 2 | 56 | 112 |
| 35 | Impresión | Unidad | 0,5 | 564 | 282 |
| 36 | Anillado | Unidad | 7 | 3 | 21 |
| 37 | Empastado | Unidad | 52 | 3 | 156 |
| Total | | | | | 1171 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.11.3 Costo Total

El costo total es la suma de los costos directos y los costos indirectos, en la tabla III-26 establece que el costo total de la investigación.

Tabla III-26

Costo total del proyecto

| Costos | Precio (Bs) |
|--------------------|--------------------|
| Costos Directos | 7063,6 |
| Costos Indirectos. | 1171 |
| Total | 8234,6 |

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El proyecto de investigación aplicada para la extracción de aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb.), tendrá un costo aproximado de 8234,6 Bs.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación y a los resultados obtenidos, se llega a las siguientes conclusiones:

- La cáscara de naranja criolla tiene las siguientes propiedades fisicoquímicas: humedad 75,67 %, azúcares totales 9,31 %, ceniza 1,57 %, fibra 2,83 %, grasa 0,17 %, hidratos de carbono 21,09 %, proteína total 1,50 % y valor energético 91,89 %. Estas propiedades pueden variar ya que dependen de muchos factores, como ser el lugar de cultivo, las condiciones climatológicas, el tiempo de cosecha y abonos utilizados.
- La determinación de los parámetros fisicoquímicos del aceite esencial obtenido (índice de refracción 1,4701; densidad relativa 0,84 y pH 5,82), fueron comparados con los resultados referenciales, donde se observa que el índice de refracción, densidad de relatividad y el pH tiene un valor muy similar a datos registrados por otras experiencias.
- El análisis organoléptico de aceite esencial muestra similitud entre la apariencia y olor, en cuanto al color del aceite esencial esto no ocurre, ya que el aceite esencial extraído es incoloro en comparación con resultados de diferentes métodos de extracción realizados por distintos autores, se deduce que esta característica adquirida por el aceite esencial es propia del método de hidrodestilación asistida por microondas.
- El análisis cromatográfico del aceite esencial mostró el componente mayoritario del aceite esencial obtenido es el D-limoneno, con una composición del 97,77%.
- Realizando la comparación del rendimiento del proceso de extracción de hidrodestilación asistida por microondas con otras experiencias de diferentes autores, demuestra que la extracción asistida por microondas presenta mayor rendimiento, siendo el mayor rendimiento obtenido en este trabajo con un valor de 0,65%.

- El proyecto de investigación aplicada para la extracción del aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osb.), tendrá un costo aproximado de 8234,6 Bs.

4.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio de pre-factibilidad para la implementación de una planta productora de aceite esencial de naranja en la región, aplicando hidrodestilación asistida por microondas.
- Se considera importante realizar trabajos de investigación sobre el aprovechamiento y aplicación del aceite esencial de cascara de naranja, teniendo como base este estudio, principalmente en las industrias de perfumería, alimentos, agronómica y farmacéutica.
- Para trabajar con la naranja, es fundamental conocer específicamente la variedad a utilizar, ya que, como se ha demostrado, esta influye en la cantidad de aceite esencial obtenido.

