

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Vicerrectoría de Investigación y Extensión

Dirección de Proyectos

Informe final de proyecto

*Aislamiento de Extractos de Jengibre y Cúrcuma Orgánicos
Obtenidos por los Métodos de Fluidos Supercríticos (FSC) y
Arrastre con Vapor para uso Medicinal y Alimenticio,
Aplicando el Concepto de Producción más Limpia.*

DOCUMENTO 1

Investigadores:

MSc. Irene Varela Rojas (ITCR)

Lic. Bernardo Soto Oviedo

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	2
Tabla de Cuadros.....	3
Tabla de Figuras	4
Código y Título del proyecto.....	4
Autores y direcciones	5
Resumen.....	5
Palabras clave.....	5
Introducción.....	6
Marco Teórico	6
Metodología	12
Obtención de las materias primas	12
Características fisicoquímicas de las materias primas cúrcuma y jengibre	13
Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre por FSC y Arrastre con vapor	13
Parámetros de operación para el diseño experimental por FSC.....	14
Obtención de extractos por el método de FSC	15
Proyección matemática de la curva cinética de extracción para calcular el máximo rendimiento teórico	17
Obtención de extractos por el método de arrastre con vapor	17
Características fisicoquímicas de los extractos obtenidos por FSC y Arrastre con vapor ..	18
Matriz comparativa de eficiencia, pureza, costos y aspectos ambientales para los extractos por (FSC) y Arrastre con vapor.....	19
Enfoque de Producción más Limpia (P+L)	19
Formulación de productos comercializables a base de los extractos.....	20
Análisis fisicoquímicos de ambas formulaciones comerciales	22
Resultados	22
Características fisicoquímicas de las materias primas cúrcuma y jengibre	22
Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre por FSC y Arrastre con vapor	23
Pruebas preliminares para los parámetros del diseño experimental por FSC.....	23
Obtención de extractos por el método de FSC	25
Proyección matemática de la curva cinética de extracción para calcular el máximo rendimiento teórico	27
Obtención de extractos por el método de arrastre con vapor	29
Características fisicoquímicas de los extractos por FSC y Arrastre con vapor.....	30
Matriz comparativa de eficiencia, pureza, costos y aspectos ambientales para los extractos obtenidos FSC y Arrastre con vapor.....	32
Enfoque de Producción más Limpia (P+L)	33
Formulación de productos comercializables a base de los extractos.....	35
Análisis fisicoquímicos de ambas formulaciones comerciales	36
Discusión y conclusiones	36
Características fisicoquímicas de las materias primas cúrcuma y jengibre	36
Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre para FSC y Arrastre con vapor	37
Pruebas preliminares para establecer los parámetros del diseño experimental para FSC	37
Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre por el método de FSC	38

Regla de Pareto para seleccionar el tiempo óptimo de extracción.....	39
Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre por el método de Arrastre con vapor	40
Características fisicoquímicas de los extractos obtenidos por FSC y Arrastre con vapor .	41
Enfoque de Producción más Limpia (P+L)	43
Formulación de productos comercializables a base de los extractos.....	44
Recomendaciones.....	44
Agradecimientos.....	45
Referencias	45

Tabla de Cuadros

Cuadro 1: Especificaciones de los pretratamientos A, B y C para la reducción de tamaño y el método de secado de los rizomas de cúrcuma. Fuente: Elaboración propia	14
Cuadro 2: Insumos utilizados para la formulación del enjuague bucal. Fuente: Elaboración propia.	20
Cuadro 3: Insumos utilizados para la elaboración de una bebida funcional. Fuente: Elaboración propia.	22
Cuadro 4: Caracterización de la cúrcuma y jengibre deshidratados Fuente: Ciprona	23
Cuadro 5: Contenido de curcuminoides totales en la materia prima según el pretratamiento de la cúrcuma fresca. Fuente: Elaboración propia.	23
Cuadro 6: Cuantificación de extracto promedio y marginal promedio en términos absolutos y porcentuales para la cúrcuma liofilizada a 2360 psi y 35°C para un periodo de extracción de 300 minutos. Fuente: Elaboración propia.	25
Cuadro 7: Cantidad de extracto y rendimientos promedios absolutos y marginales de aceite esencial de jengibre liofilizado mediante FSC a 3550 psi y 40°C. Fuente: Elaboración propia.	26
Cuadro 8: Rendimiento del extracto de aceite esencial de cúrcuma liofilizada por el método de Arrastre con Vapor por espacio de 300 minutos. Fuente: Elaboración propia.....	29
Cuadro 9: Rendimiento del extracto de aceite esencial de jengibre liofilizado por Arrastre con Vapor durante 300 minutos. Fuente: Elaboración propia.	30
Cuadro 10: Contenido de Curcuminoides totales en los extractos de aceite esencial de cúrcuma por los métodos de Fluido Súper crítico y Arrastre por Vapor. Fuente: Elaboración propia.	31
Cuadro 11: Rendimiento comparativo del extracto de aceite esencial de jengibre por los métodos de Fluido Súper crítico y Arrastre por Vapor. Fuente: Elaboración propia.....	31
Cuadro 12: Matriz comparativa de eficiencia, pureza, costos a escala de laboratorio, y aspectos ambientales para los métodos de FSC y Arrastre. Fuente: Elaboración propia. ...	32
Cuadro 13: Curcuminoides totales y Ar-turmerona para la cúrcuma liofilizada virgen, el extracto (AE) y la cúrcuma residual post extracción. Fuente: Ciprona, análisis # 070-2019.....	34
Cuadro 14: Curcuminoides totales para el subproducto obtenido de la cúrcuma residual post extracción y su respectivo blanco. Fuente: Ciprona.....	35
Cuadro 15: Shogaoles y Gingeroles para el jengibre liofilizado virgen, el extracto y el jengibre residual post extracción fluido supercrítico. Fuente: Ciprona.....	35
Cuadro 16: Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos de la bebida instantánea. Fuente: Elaboración propia.	36
Cuadro 17: Aplicación de la Regla de Pareto para seleccionar el tiempo óptimo de extracción para la cúrcuma. Fuente: Elaboración propia.	39

Cuadro 18: Aplicación de la Regla de Pareto para seleccionar el tiempo óptimo de extracción para el jengibre. Fuente: Elaboración propia.40

Tabla de Figuras

Figura 1: Estructura y componentes de los curcuminoides I, II, III y IV. Fuente: [18]	8
Figura 2: Mecanismos de reacción de la conversión de gingerol en shogaol al perder agua molecular. Fuente: [34].....	11
Figura 3: Extractor de fluido supercrítico FST-110XW Fuente: Elaboración propia.....	16
Figura 4: Equipo de destilación para extracción de aceite esencial por el método de arrastre con vapor. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 5: Diagrama de flujo del enjuague bucal a base de aceites esenciales de cúrcuma y jengibre. Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 6: Flujograma del proceso de elaboración de la bebida instantánea propuesta. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 7: Rendimiento de extracción de aceites esenciales por el método de fluido supercrítico a 3260 psi, 90 minutos y 35°C para los pretratamientos B y C. Fuente: Elaboración propia.	24
Figura 8: Variación del porcentaje de rendimiento de extracción según la presión utilizada a diferentes presiones, 35°C y 90 minutos de extracción. Fuente: Elaboración propia.	24
Figura 9: Curva de cinética de extracción de aceite esencial de cúrcuma liofilizada mediante FSC a 3260 psi y 35°C, durante 300 minutos de extracción. Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 10: Curva cinética de extracción de aceite esencial de jengibre liofilizado mediante FSC a 3550 psi y 40°C. Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 11: Modelo hiperbólico de regresión no lineal aplicado a la cúrcuma para establecer el máximo rendimiento posible por el método de fluido supercrítico. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 12: Modelo hiperbólico de regresión no lineal aplicado al jengibre para establecer el máximo rendimiento posible por el método de fluido supercrítico. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 13: Contenido relativo Ar-turmerona en los extractos de aceite esencial de cúrcuma por los métodos de Fluido Súper crítico y Arrastre con Vapor. Fuente: Elaboración propia.	30
Figura 14: Contenido porcentual de importancia en los extractos de aceite esencial de jengibre por los métodos de FSC y Arrastre con Vapor. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 15: Diagrama simplificado del proceso de extracción por fluido supercrítico. Fuente: Elaboración propia.	34

Código y Título del proyecto

Código: # 1460064

Título: Aislamiento de extractos de Jengibre y Cúrcuma orgánicos, obtenidos por los métodos de fluidos supercríticos (FSC) y arrastre con vapor para uso medicinal y alimenticio, aplicando el concepto de Producción más Limpia.

Autores y direcciones

MSc. Irene Varela Rojas (Coordinadora)

Lic. Bernardo Soto Oviedo

Resumen

Para la extracción de aceites esenciales de zingiberáceas orgánicas (*Curcuma longa*- Linn y *zingiber officinale*-Roscoe) se comparó el método de FSC con el de Arrastre con vapor. Los parámetros de extracción fueron, para el FSC 3260 psi y 35°C en el caso de la cúrcuma y el jengibre a 3550 psi y 40°C; y para el Arrastre 96°C. El tiempo óptimo de extracción por FSC para ambas materias primas fue de 150 minutos aplicando análisis de Pareto a una curva cinética, misma que se utilizó para realizar una proyección matemática mediante un modelo de regresión para determinar el rendimiento máximo, resultando 4,22% para la cúrcuma y 4,94% para el jengibre con tiempos teóricos superiores a 500 minutos. Se caracterizaron los extractos considerando rendimiento, pureza y costos bajo el concepto de Producción más Limpia. En comparación con el Arrastre, la cúrcuma por FSC generó dos veces más cantidad aceites esenciales, pero menores porcentaje de Ar-turmerona; el jengibre por FSC generó un rendimiento seis veces mayor que por Arrastre y concentraciones más altas de gingeroles y shogaoles. El FSC por su alto rendimiento presentó mayor índice de rentabilidad, pese a sus mayores costos de operación, los cuales podrían reducirse recirculando el CO₂. El método por Arrastre requiere purificación del extracto final, siendo una desventaja respecto al FSC que genera un producto 100% puro. Se desarrollaron dos productos comercializables a base de cúrcuma y jengibre; un enjuague bucal y una bebida instantánea, con propiedades antioxidantes y anti-inflamatorias.

Palabras clave

Cúrcuma (*longa*- Linn), *Zingiber officinale*-Roscoe (variedad hawaiana), destilación por Arrastre con vapor, CO₂ extracción con fluidos supercríticos, medicina herbal, productos nutracéuticos, producción más limpia.

Introducción

Los usos potenciales de los aceites esenciales, en la actualidad están teniendo una gran aceptación y demanda en el mercado por ser compuestos extraídos de fuentes naturales que suelen tener menos riesgos para la salud y el ambiente. Particularmente para el jengibre, la cúrcuma y sus extractos, se han encontrado propiedades curativas comprobadas. El informe de Alimarket 2016, del mercado de la alimentación saludable, señala que la innovación va hacia productos más naturales, con funcionalidades concretas y mejoras sobre la salud. A la vez, Mintel en su informe GNPD (*Global New Products Database*) reporta que el número de productos lanzados al mercado con el término “*superfood*” se incrementó un 202% entre el 2011 y 2015.

Dado el interés del desarrollo de productos de este tipo para la industria, el Instituto Tecnológico de Costa Rica en concordancia con su misión de coadyuvar con el desarrollo nacional, se asoció con la empresa Bioextractos S.A. con el objetivo principal de extraer aceites esenciales de cúrcuma y jengibre, comparando un proceso de extracción convencional como es el Arrastre con vapor con el Fluido Supercrítico, que es un método moderno y más especializado. Se cuantificó la eficiencia de extracción mediante el rendimiento y la calidad mediante los perfiles de aceites esenciales. Por tratarse de una investigación orientada a la industrialización, se desarrollan dos productos con potencial comercializable; un enjuague bucal y una bebida instantánea en polvo y una evaluación preliminar de los costos de producción.

A lo largo de toda la investigación, se utilizó como eje transversal el concepto de producción más limpia (P+L) conocido como una estrategia integrada y preventiva que incrementa la productividad y la competitividad empresarial, a la vez que protege la salud y el ambiente [1]. Se incorpora este enfoque tanto en la extracción como en la elaboración de los productos comercializables, para obtener extractos utilizando las técnicas y los procesos que contaminen menos el medio ambiente y que permitan obtener productos más fáciles de purificar, de manera que no resulten nocivos para la salud. La producción más limpia promueve constantemente el aprovechamiento de los insumos y las materias primas “desde la cuna hasta la tumba”, lo que exige desde el inicio el uso de materias primas orgánicas traídas de una finca especializada en permacultura.

Marco Teórico

Existe un interés creciente por alimentos saludables y medicinas naturales, sustentado en la evolución de la tecnología, una mayor educación de los consumidores y la búsqueda de un mejor estilo de vida, lo que lleva a preferir productos de origen natural como parte del cuidado personal [2]. Mintel registra que la elección de bebidas y alimentos se ve influenciada por necesidades nutricionales, físicas y emocionales. La tendencia de nuevos principios sobre la salud induce a observar las bondades de lo natural, así como los

componentes éticos y ambientales relacionados con la elaboración de productos para la salud. Según la base de datos Mundial de Mintel sobre Nuevos Productos, un 29% de las presentaciones de alimentos y bebidas entre septiembre de 2016 y agosto de 2017 incluyeron afirmaciones (*claims*) asociadas a lo "natural" tales como "calidad orgánica", "libre de transgénicos" o "ausencia de aditivos y conservantes", lo que supone un aumento del 17% registrado por el mismo concepto 10 años atrás [3] [4].

Las hierbas y plantas medicinales se han utilizado para el tratamiento de varias enfermedades desde la antigüedad y el uso de hierbas medicinales sigue aumentando. Se ha estimado que el 80 % de la población de países en desarrollo dependen principalmente de la medicina tradicional y plantas medicinales para satisfacer sus necesidades de cuidado de la salud [5] [6]. Además, este interés en las plantas medicinales ha aumentado porque los efectos secundarios son muy reducidos en comparación con los medicamentos farmacéuticos [5].

La cúrcuma y el jengibre son dos variedades vegetales estrechamente emparentadas [7], poseen una gran importancia no sólo para uso culinario, sino también para uso medicinal y cosmético [8]. La parte de estas plantas más utilizada para usos culinarios y terapéuticos son los rizomas [7]. En pruebas de tamizajes fitoquímicos se ha encontrado, entre otros compuestos, una alta presencia de aceites esenciales y de compuestos fenólicos en *Curcuma longa* [9] y *Zingiber officinale* [10].

La cúrcuma crece principalmente en India, China y lugares cálidos [11], es originaria del sur y sudeste de Asia [12] [7], taxonómicamente pertenece a la clase *Liliopsida*, subclase *Commelinidas*, orden *Zingiberales*, familia *Zingiberaceae*, género *Curcuma*, especie *Curcuma longa* [7]. Por otro lado, el jengibre taxonómicamente pertenece de igual forma a la clase *Liliopsida*, orden *Zingiberales*, familia *Zingiberaceae*, género *Zingiber*, especie *Zingiber officinale* var. *Roscoe* [13].

La cúrcuma es ampliamente utilizada en la medicina tradicional de la India para curar trastornos biliares, anorexia, tos, heridas diabéticas, trastornos hepáticos, reumatismo y sinusitis, además, una amplia investigación durante las últimas cinco décadas muestra que la curcumina reduce el colesterol en la sangre [7]. Estudios farmacológicos han demostrado que la curcumina, es uno de los principales componentes con cualidades terapéuticas de la cúrcuma, en relación con el tratamiento de tumores y el cáncer [11] [14], artritis, diabetes, enfermedad de Crohn, problemas cardiovasculares, osteoporosis, alzheimer y soriasis [8], también disminuye los lípidos en la sangre [15] y tiene acción neuro protectora, antioxidante [16], antiinflamatorio, anti fúngico, antiviral, antimutagénico, anticoagulante, antidiabético, antibacterial, antiprotozoico, antifibrótico, hipotensivo e hipocolesterolémico [7] [11]. Sus funciones antiinflamatorias, anticancerígenas y antioxidantes pueden ser clínicamente utilizadas para controlar el reumatismo, la carcinogénesis y la patogénesis relacionada con el estrés oxidativo, su efecto anticanceroso es principalmente mediado por inducción de apoptosis. Además, clínicamente la curcumina ya se ha utilizado para reducir la inflamación

postoperatoria. Los estudios de evaluación de seguridad indican que, tanto la cúrcuma como la curcumina son bien toleradas a dosis muy altas [11], pues se metaboliza fácilmente dentro del cuerpo, posee una baja biodisponibilidad, lo que más bien genera limitaciones en su aplicación clínica [15]. Por siglos, la curcumina se ha consumido como una especia dietética en dosis de hasta 100 mg/d con ningún efecto tóxico [11].

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, la curcumina es un compuesto sólido cristalino de naturaleza poli fenólica, responsable de los pigmentos amarillos [15] y se aisló de los rizomas por primera vez en 1815, su estructura química fue determinada por Roughley y Whiting en 1973 [7]. Es soluble en etanol, álcali, cetona, ácido acético y cloroformo e insoluble en agua, su punto de fusión es 176-177°C [7] [17], su masa molecular es de 368.385 g/mol [15], tiene un tono amarillo brillante a pH entre 2.5 y 7 y adquiere un tono rojo a pH > 7 [7]. Posee una baja estabilidad en condiciones neutras y alcalinas [15], con los álcalis forma sales café-rojizas [17]. Es una molécula fotosensible, siendo éste el principal medio de degradación molecular debido a sus grupos cromóforos, no obstante, se ha demostrado que sus productos derivados son bioactivos y contribuyen a los efectos farmacológicos. Puede sufrir degradación química por oxidación con peróxidos, radicales libres e iones oxígeno, es estable a temperaturas bajas y moderadas, descomponiéndose a altas temperaturas [18].

La curcumina con fórmula molecular $C_{21}H_{20}O_6$, conocida como curcumina I, se produce naturalmente en el rizoma de la planta, y pertenece a uno de los constituyentes químicos llamados "curcuminoides", siendo los principales el dimethoxycurcumin (curcumina II), bisdimethoxycurcumin (curcumina III), y el recientemente identificado ciclocurcumina [7], las proporciones aproximadas de estos en el rizoma son, curcumina I (94%), curcumina II (6%) y curcumina III (0.3%) [11]. En la figura 1 se presenta la estructura química de los diferentes curcuminoides mostrando como estas moléculas tienen un esqueleto hidrocarbonado dicetónico con varios grupos funcionales, que varía según el derivado curcuminoides del que se trate [18].

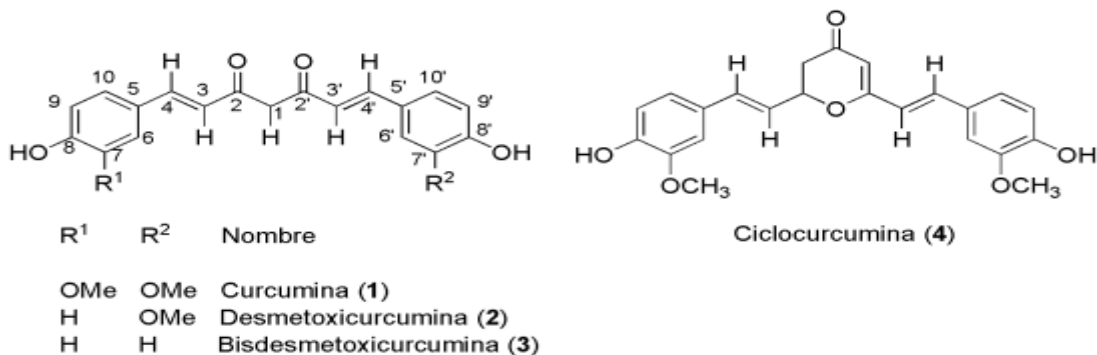


Figura 1: Estructura y componentes de los curcuminoides I, II, III y IV.

Fuente: [18]

El aroma de la *Cúrcuma longa L.* se debe a los aceites esenciales volátiles [19], constituidos por los sesquiterpenos ar-turmerona, α -turmerona, β -turmerona, turmerol y por α -atlantona, además de los curcuminoides [11], siendo las turmeronas los principales componentes activos, estos son utilizados en cosmética y salud, con actividad antimicrobiana, antifúngica, antiartrítica, antiagregante, antiinflamatoria y antiplaquetaria [16], además, la turmerona previene el daño celular, ayuda en la curación de heridas, controla los síntomas de la diabetes tipo 2, inhibe el HIV (Virus de inmunodeficiencia humana, por sus siglas en inglés), detiene la formación de tumores y protege del daño hepático. La ar-turmerona ayuda en la auto reparación y recuperación de la función cerebral en casos de enfermedades neurodegenerativas [17].

El aceite de cúrcuma está compuesto mayormente por sesquiterpenos y curcuminoides, variando desde 0 hasta 302.97 mg por gramos de aceite y 0.09-2.2 mg por gramo de aceite, respectivamente. Utilizando extracción por Soxhlet y FSC, se ha obtenido respectivamente, 5.954% y 2-5.3% de rendimiento para el aceite [11]. El aceite esencial (5,8%) obtenido por arrastre con vapor de los rizomas tiene α -felandreno (1%), sabineno (0.6%), cineol (1%), borneol (0.5%), zingibereno (25%) y sesquiterpinas (53%) Curcumina (diferuloilmetano) (3-4%) [7]. Por lo que, tanto los curcuminoides como los componentes volátiles explican la eficacia del extracto y deberían usarse como marcadores para una evaluación de la calidad de la cúrcuma y los productos de su extracción [20]. Los extractos de cúrcuma están formados por una mezcla de sustancia polares y no polares [14].

La cúrcuma juega un papel importante en la odontología ya que resulta útil en el tratamiento de diferentes enfermedades bucales como dolor dental, enfermedades periodontales y cáncer oral entre otros [21], así como agente antimicrobiano y antifúngico [22]. Las enfermedades gingivales y periodontales afectan a la mayoría de la población a nivel mundial. Uno de los principales factores que afecta a la creación y progresión de estas enfermedades es la placa dental. Se ha demostrado que existe una correlación entre el nivel de placa dental y la severidad de la gingivitis, debido a esto, la eliminación de placa mediante la higiene personal prevé la aparición de enfermedades periodontales; aunque muchas veces los métodos mecánicos (cepillado) no son suficientes para el control de placa, por lo que se ha de adicionar un método químico [23] [24]. El gluconato de clorhexidina se utiliza tanto en pastas dentales como en enjuagues bucales debido a su efectividad en el control de placa, aunque parece tener efectos secundarios como la coloración marrón de los dientes, la erosión de la mucosa oral o el sabor amargo [24]. Por otro lado, la cúrcuma también ha demostrado ser efectiva para el control de placa en combinación con métodos mecánicos, característica que podría deberse a sus propiedades antiinflamatorias que alivian el dolor dental y reducen la hinchazón, y además, impacta reduciendo la población total microbiana [5] e inhibe el desarrollo microbiano que afecta de diversas formas la salud odontológica. Entre los microorganismos que combate se encuentra *Streptococcus mutans* que es la principal bacteria responsable de la formación

de placa y caries [25]. A su vez, se inhibe el crecimiento de *S. mutans*, que es el primer causante de la formación de placa, por conlleva propiedades anticariogénicas [21] [25].

Por su parte, el jengibre (*Zingiber officinale*), otorga beneficios para la salud debido a su rico contenido fitoquímico. Entre sus compuestos volátiles se encuentran sesquiterpenos e hidrocarburos monoterpénicos que proporcionan el aroma y el sabor que distingue al jengibre; y los no volátiles se caracterizan por ser pungentes, entre los que se encuentran los gingeroles, shogaoles, paradoles y zingerona [26]. Se compone por aproximadamente 50% de carbohidratos, 9% de proteína y aminoácidos libres, entre 6 y 8% de ácidos grasos y triglicéridos, entre 3 y 6 % de ceniza, entre 3 y 6% de fibra cruda [27] y entre 2 y 3% de aceites volátiles [28].

Entre los principales ingredientes activos del jengibre está el [6]-Gingerol, con alto potencial en el tratamiento de inflamaciones crónicas, asma y artritis reumatoidea [8]. Además, este rizoma tiene potencial en el tratamiento de un gran número de desórdenes degenerativos como artritis y reumatismo, problemas digestivos, estreñimiento y úlceras, en desordenes cardiovasculares como la aterosclerosis e hipertensión [26]. Además, puede ayudar como antiemético, diabetes y cáncer [26], así como, para el control del colesterol [26] [28] [29]. Su uso como antiinflamatorio y analgésico se debe, en la mayoría de los casos a la inhibición de la ciclooxigenasa-1 (COX-1), donde el gingerol y sus derivados, en especial el paradol, se ha reportado que son potentes antiplaquetarios e inhibidores COX-1, inclusive mejores que la aspirina [28].

Cabe mencionar la actividad antibacterial, mostrando una eficaz inhibición en dosis altas de *C. bacillus*, *S. epidermidis* y *S. virians* [29]. Otras investigaciones sugieren una lista más amplia contra microorganismos donde el extracto de jengibre ha mostrado su eficacia y muestra potencial para su uso en la salud bucal pudiendo incluso evitar enfermedades como la Candidiasis ya que impide la formación de *biofilms* sobre la dentadura, de hongos como *C. albicans*, *C. glabrata* y *C. Krusei*, entre otros microorganismos formadores de placa bacteriana [30]. Sus componentes llamados gingerol-[10] y gingerol-[12] presentan propiedades antibacterianas y antifúngicas [31] [32] [33], por lo que presentan actividad antimicrobiana frente a bacterias anaeróbicas asociadas con la periodontitis [31].

En cuanto a los virus, se infiere que este aceite interacciona con la membrana lipídica del virus del herpes simple tipo 1 (HSV-1) causante del herpes oral y de las calenturas, inactivándolo antes de su ingreso a las células [22]. Su efecto antifúngico contra *Candida albicans* lo hace apto para tratar la candidiasis oral [31].

En la industria de repostería y confitería a base de jengibre, los shoagoles son muy valorados porque imparten un sabor dulce a las preparaciones. Los gingeroles al perder agua molecular se convierten en shogaoles según el mecanismo de reacción mostrado en la figura 2, lo cual se logra mediante la cocción del jengibre en cuyo proceso se da una reacción química que convierte los gingeroles en shogaoles, según el siguiente mecanismo de reacción [34].

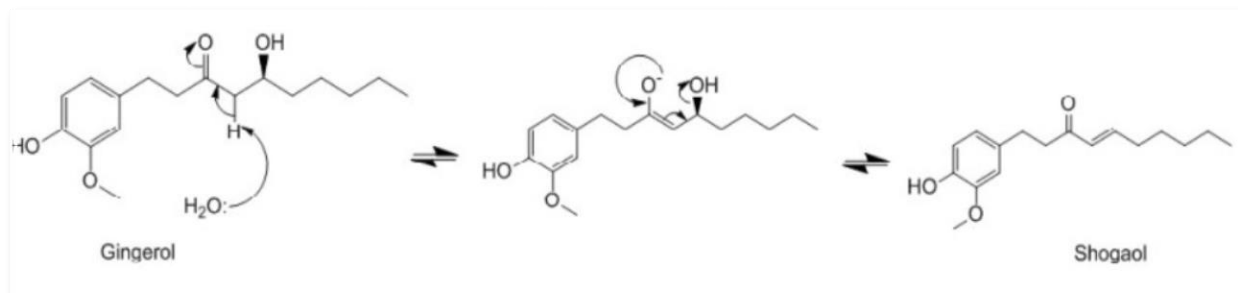


Figura 2: Mecanismos de reacción de la conversión de gingerol en shogaol al perder agua molecular. **Fuente:** [34].

Los curcuminoides de la cúrcuma y los gingeroles en el jengibre, poseen un gran poder antioxidante, con capacidad de eliminar el radical hidroxilo, el radical superóxido, el oxígeno singlete, el dióxido de nitrógeno y el óxido nítrico, responsables de la peroxidación de los lípidos celulares [35]. También, se ha demostrado que ambos extractos naturales son efectivos y no tienen efectos tóxicos, y se ha logrado comparar el efecto de la cúrcuma, el jengibre y una mezcla de ambos sobre los síntomas de la periodontitis (estudio sobre roedores) en donde se concluyó que existe un efecto sinérgico mostrando resultados prometedores [33].

Los aceites esenciales y extractos pueden verse limitados en su composición y funcionalidad dependiendo del método de obtención, donde el disolvente utilizado determina su uso, por cuánto estos pueden contaminar o limitar su forma de aplicación. Ante esta problemática, se ha dado un creciente interés por la investigación de nuevos métodos de obtención de extractos y aceites esenciales [36], como lo es la extracción con fluidos supercríticos y con microondas. No solo los aceites esenciales son objeto de extracción, por su parte las oleorresinas, que son mezclas de compuestos como aceites esenciales, materiales resinosos y ácidos grasos no volátiles, entre otros compuestos, pueden ser extraídos por solventes adecuados [37]. Tradicionalmente para extraer aceites volátiles se utilizan varios métodos como hidrodestilación, extracción Soxhlet, destilación por arrastre con vapor, entre otros [11].

La destilación por arrastre con vapor es un método sencillo y de bajo costo, sin embargo, requiere de largos periodos de tiempo y presenta rendimientos bajos con respecto a otros métodos. En esta técnica se lleva a cabo una vaporización selectiva de componentes volátiles y otros “no volátiles”, esto se logra mediante la inyección de vapor de agua en la materia prima. Este vapor denominado vapor de arrastre cumple la función de condensarse para formar una fase inmiscible que cede su calor a la mezcla que se desea destilar logrando su evaporación [38].

Otra técnica de extracción es la que utiliza fluidos supercríticos (FSC), logrando extractos libres de disolventes y en un menor tiempo en comparación con la extracción con

disolventes orgánicos convencionales, ventajas que se atribuyen a la alta volatilidad de los fluidos supercríticos y a las propiedades de transporte que se mejoran (alta difusividad y baja viscosidad). Al utilizar CO₂ se logra una alta selectividad de los metabolitos extraídos [36], la temperatura y presión son los principales parámetros que definen la eficiencia de la extracción [39], se emplean bajas temperaturas, reduciendo la degradación térmica y evitando la toxicidad por el no uso de solventes orgánicos [20] garantizando la pureza y un alto poder antioxidante [40]. Se ha encontrado una marcada superioridad en la actividad antioxidante de los extractos al utilizar CO₂ fluido supercrítico, respecto de métodos tradicionales [39]. El CO₂ no es inflamable ni corrosivo, su costo es relativamente bajo y la tecnología del proceso permite recuperar el gas [41], en comparación de costos y proceso productivo, la técnica de arrastre con vapor es más sencilla y de baja inversión en equipo y proceso.

Cuando se emplea FSC para la extracción, entran en juego básicamente cinco parámetros; presión, temperatura, flujo de solvente, tamaño de partícula y adición de cosolventes. El rendimiento de aceites volátiles, el contenido de turmerona, y el contenido de curcumina, dependen de la forma en que se conjugan estas variables [11].

Por otro lado, la técnica de ultrasonido se divide en ultrasonido de señal que se aplica para monitorear un proceso o producto, y el ultrasonido de potencia que es la emisión de señales de alta intensidad que se utilizan para modificar un proceso o producto. El ultrasonido de potencia, que es el método por aplicar en la presente investigación como parte del proceso de producción más limpia, produce cambios físicos y químicos en el medio a través de la generación y el subsiguiente colapso de burbujas de cavitación y esto se ha evaluado para la extracción por solventes obteniendo como resultado que la utilización de ultrasonido aumenta significativamente los rendimientos [42]. Por esta razón se propone analizar un método para realizar una última extracción con solvente, al material que ya fue anteriormente extraído por fluido supercrítico.

Metodología

Obtención de las materias primas

Se utilizó cúrcuma y jengibre orgánicos, provenientes de la empresa Verdenergía Pacífica, finca dedicada a la permacultura y a la agricultura cooperativa. Se utilizaron los rizomas frescos de cúrcuma y jengibre y para garantizar homogeneidad en las características de la materia prima se cosechó mediante muestreo en una parcela de cultivo reservada para fines experimentales.

Recibido el producto fresco en las instalaciones del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, los rizomas se lavaron con agua para eliminar restos del medio de cultivo.

Características fisicoquímicas de las materias primas cúrcuma y jengibre

Para efectos de reproducibilidad y brindar una correcta delimitación como línea base de la materia prima para extracción, se realizaron análisis por contrato en el Centro de Investigación en Productos Naturales (CIPRONA) de la Universidad de Costa Rica, para la cúrcuma y el jengibre. Se determinó para ambas materias primas secas, el contenido de humedad por el método 2.0 ASTA, *Official Analytical Methods* (OAM); ceniza 3.0 ASTA OAM ensayo no acreditado; P-SA-MQ-003 ensayo acreditado; grasa 11.0 ASTA OAM P-SA-MQ-005 ensayo acreditado; proteína 920.165 AOAC P-SA-MQ-003 ensayo acreditado; fibra dietética 985.29 AOAC P-SA-MQ-007 ensayo acreditado; y almidón total método enzimático (amilosa-amiloglucosidasa) ensayo no acreditado. Asimismo, para ambas materias primas frescas, se determinó el contenido de humedad 2.0 ASTA OAM ensayo no acreditado.

Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre por FSC y Arrastre con vapor

Pruebas preliminares para el diseño experimental por el FSC

Método de secado para la cúrcuma (sustrato)

Se realizaron tres pretratamientos diferentes para las operaciones de reducción de tamaño de los rizomas frescos y para definir el método de secado, mostrados en el cuadro 1 como pretratamientos A, B y C. La reducción del tamaño del rizoma fresco previo al secado fue rayado fino para el A, rodajeado manual para B y C.

Se utilizó secador de bandejas para A y B, y liofilizador para C, para determinar si se dan adversos del secado a una mayor temperatura recibida en el secador de bandejas.

Posterior al secado todas las muestras A, B y C se redujeron a un tamaño de partícula de 0.5u (micras).

Cuadro 1: Especificaciones de los pretratamientos A, B y C para la reducción de tamaño y el método de secado de los rizomas de cúrcuma. **Fuente:** Elaboración propia

Pretratamiento	Especificación
A	-Rayado fino en rayador planta piloto -Deshidratado en horno de bandejas (Temperatura: 60°C, tiempo 10 horas). -Molienda a 0.5 μ y una velocidad de 4500rpm en un molino marca IKA Works, Inc, MF 10 BasicS1.
B	-Rodajeado manual con cuchillos de acero inoxidable. -Deshidratado en horno de bandejas (Temperatura: 60°C, tiempo 10 horas). -Molienda a 0.5 μ y una velocidad de 4500rpm en un molino marca IKA Works, Inc, MF 10 BasicS1.
C	-Rodajeado manual con cuchillos de acero inoxidable. -Liofilizado por 96 horas en un liofilizador marca Christ Alpha 1-2 LD plus. -Molienda a 0.5 μ y una velocidad de 4500rpm en un molino marca IKA Works, Inc, MF 10 BasicS1.

Para seleccionar el mejor pretratamiento (A, B o C) se utilizaron dos indicadores

- a) Rendimiento de extracción de componentes volátiles: utilizando el extractor de Fluido Súper Crítico se realizó una extracción para cuantificar el % de rendimiento.
- b) Contenido de curcuminoides totales: medido como porcentaje de masa en masa (%m/m). Se seleccionaron las muestras con mayor contenido de curcuminoides totales (A, B o C).

A partir de estos dos indicadores, se seleccionó el método de reducción de tamaño, (rayado fino o rodajeado), así como el secado (secado en bandeja o liofilizado), para continuar hacia la obtención de extractos.

Una vez seleccionado el tipo de pretratamiento óptimo (A, B o C), se procedió a extraer los compuestos volátiles por los métodos de fluido súper crítico y arrastre con vapor.

Parámetros de operación para el diseño experimental por FSC

Presión de extracción por FSC para la cúrcuma

En virtud de que el rendimiento de extracción por el método de fluido súper crítico depende principalmente de la temperatura, la presión y el tiempo de operación del extractor, el diseño experimental consistió en mantener los parámetros de la temperatura y tiempo fijos en 35°C según lo recomendado en la literatura [43] y 90 minutos respectivamente, y dejar como variable la presión de extracción probando con 3190, 3260, 3480, 4640 libras por pulgada cuadrada.

El indicador utilizado en esta fase para seleccionar la presión óptima de extracción fue el porcentaje de rendimiento del extracto obtenido, según la siguiente ecuación. Para cada cálculo de rendimiento, se realizó prueba de humedad de la muestra puesta en la cámara de extracción haciendo la correspondiente corrección por contenido de humedad: $[(100-\%H)/100]$.

$$\%R = \left[\frac{\text{gramos de extracto}}{\text{gramos de muestra} * [(100-\%H)/100]} \right] * 100$$

[(100-%H)/100]: corrección de la muestra según la humedad

%H: es la humedad de la muestra colocada en la cámara de extracción

Presión de extracción por FSC para el jengibre

Los parámetros de presión y temperatura para el jengibre se establecieron en 3550 psi y 40°C [44] atendiendo a las recomendaciones de la literatura. Se aplicó el mismo método de secado empleado para la cúrcuma.

Flujo de solvente (CO₂)

Por recomendación del fabricante del equipo, se operó con un flujo de CO₂ de 5 ml/min, tanto para la cúrcuma como para el jengibre liofilizado.

Obtención de extractos por el método de FSC

Se utilizó el extractor de fluido supercrítico FST-110XW mostrado en la figura 3, colocando en la cámara de extracción del equipo para cada corrida aproximadamente 30 gramos de la cúrcuma seca y molida a un tamaño de partícula de 0.5um. El gas utilizado como solvente fue el CO₂ con una pureza del 99.999%.



Figura 3: Extractor de fluido supercrítico FST-110XW
Fuente: Elaboración propia.

Curva cinética de extracción para la cúrcuma

En la fase anterior, por conveniencia se fijó el tiempo de extracción en 90 minutos, con el fin de tener como única variable la presión. No obstante, una vez obtenida la presión óptima se quiso determinar el tiempo óptimo de extracción, manteniendo ahora fijos los parámetros de presión y temperatura en 35°C. Con estas condiciones de diseño, se construyeron las curvas cinéticas de extracción, para lo cual se realizaron al menos tres corridas de 300 minutos cada una, cuantificando el rendimiento del extracto, deteniendo el equipo cada 30 minutos, retirando el vial septa receptor de extractos y pesando en balanza analítica de cuatro decimales e incertidumbre de 0.0001. La curva obtenida permitió determinar los rendimientos acumulados y marginales en el proceso de extracción como un criterio de eficiencia costo-beneficio, para la toma de decisiones en cuanto al tiempo óptimo de operación del equipo extractor. Posteriormente se almacenó el extracto en un frigorífico libre de la luz a 4°C para su posterior análisis.

Curva cinética de extracción para el jengibre

A partir de las experiencias preliminares que se realizaron con la cúrcuma como materia prima, se aplicó el mismo método de secado al jengibre, de manera que se trabajó con jengibre rodajeado, liofilizado y molido a 0.5u para todo el diseño experimental.

Las condiciones de operación de temperatura y presión para el jengibre se establecieron en 3550 psi y 40°C respectivamente, atendiendo a lo recomendado por Yoshlo & Hajime [45] y ,Bhupesh, Motonobu & Tsutomu [44] y aproximado a lo que recomienda Said et al [38].El tiempo de extracción fue de 300 minutos con mediciones cada 30 minutos según lo descrito para la cúrcuma, con lo que se elaboró una curva cinética de extracción. La curva

permitió determinar los rendimientos acumulados y marginales en el proceso de extracción como criterio de eficiencia costo-beneficio.

Proyección matemática de la curva cinética de extracción para calcular el máximo rendimiento teórico

Proyección matemática para el rendimiento teórico de la cúrcuma

Se realizó una proyección matemática para simular el rendimiento máximo de extracción en caso de que se continuara con el proceso de FSC más allá de los 300 minutos. Para lo cual se aplicó un modelo hiperbólico de regresión no lineal, utilizando las variables de porcentaje, rendimiento y tiempo de extracción mediante la ecuación $f = a \cdot x / (b + x)$.

Proyección matemática para el rendimiento teórico del jengibre

De similar manera, se realizó una proyección matemática para simular el rendimiento máximo de extracción en caso de que se continuara con el proceso de FSC más allá de los 300 minutos. Para lo cual se aplicó un modelo hiperbólico de regresión no lineal, utilizando las variables de porcentaje, rendimiento y tiempo de extracción mediante la ecuación $f = a \cdot x / (b + x)$.

Obtención de extractos por el método de arrastre con vapor

Se utilizó el equipo mostrado en la figura 4, que consistió en un destilador conformado por un balón de fondo redondo donde se colocó agua calentada con manta eléctrica, en un segundo balón de tres bocas y de fondo plano se colocó aproximadamente 50 gramos de muestra. El vapor generado en el primer balón pasó al segundo, arrastrando los componentes más volátiles, recogidos en un embudo separador en estado líquido, por medio de un condensador. Este proceso de extracción se llevó a cabo por 300 minutos, tiempo seleccionado con el criterio de coincidir al menos con uno de los parámetros utilizados en el método de fluido súper crítico, dada la diferente naturaleza de ambos métodos. El extracto se recoge en el embudo separador junto con el agua de arrastre denominado ésta como hidrolato (mezcla de agua con trazas de extracto). El extracto quedó en la superficie y por la parte inferior del embudo se retiró el hidrolato por diferencia de densidades. Al compuesto extraído se le agregó hexano para su definitivo aislamiento de la matriz acuosa y luego se secó adicionando directamente al embudo separador sulfato de sodio anhidro y se recolectó en un vial en forma pura. Posteriormente se cuantificó su masa para calcular el rendimiento mediante la fórmula previamente detallada para % de rendimiento y se almacenó en un frigorífico oscuro a 4°C para su posterior análisis.



Figura 4: Equipo de destilación para extracción de aceite esencial por el método de arrastre con vapor. **Fuente:** Elaboración propia.

Características fisicoquímicas de los extractos obtenidos por FSC y Arrastre con vapor

Los extractos de cúrcuma y jengibre obtenidos por los métodos de fluido súper crítico y arrastre con vapor se analizaron en el Laboratorio del Centro de Investigación de Productos Naturales en la Universidad de Costa Rica (CIPRONA).

Eficiencia de extracción para la cúrcuma - Porcentaje de rendimiento

El cálculo del porcentaje de rendimiento se utilizó como indicador de eficiencia del proceso de extracción. Este rendimiento se obtuvo mediante la fórmula detallada en el apartado de selección de parámetros y promediando los datos de rendimiento para las diferentes corridas.

Indicadores de pureza y calidad para el extracto de cúrcuma

Para valorar la pureza y calidad del extracto de cúrcuma se utilizó como indicadores, el contenido porcentual relativo de ar-turmerona y el porcentaje de curcuminoides totales (CT). El contenido porcentual de CT se obtuvo mediante análisis por triplicado en determinación espectrofotométrica a 420 nm con curva de calibración con patrón de curcumina, mientras que el contenido de ar-turmerona se obtuvo a través del perfil de aceites esenciales obtenido por cromatografía de gases acoplada a espectrómetro de masas.

Eficiencia de extracción para el jengibre - Porcentaje de rendimiento

Se calculó el porcentaje de rendimiento con similares criterios utilizados para la eficiencia de extracción de la cúrcuma.

Indicadores de pureza y calidad para el extracto de jengibre

La calidad del extracto de jengibre se evaluó mediante dos indicadores; el contenido de ar-turmerona como metabolito volátil de gran importancia medicinal y los componentes no volátiles que le dan el carácter pungente al jengibre y que aportan alto poder terapéutico, tomando la presencia global de gingeroles y shogaoles. Se obtuvo el perfil de aceites esenciales para el extracto de cada planta por cromatografía de gases acoplada a espectrómetro de masas y el respectivo cromatograma en las muestras por triplicado.

Matriz comparativa de eficiencia, pureza, costos y aspectos ambientales para los extractos por (FSC) y Arrastre con vapor

Para este objetivo se desarrolló una matriz que permite la comparación de los diferentes extractos en cuanto a su perfil de aceites esenciales, porcentaje de rendimiento, los costos unitarios de extracción y los aspectos ambientales involucrados en el proceso de extracción.

Enfoque de Producción más Limpia (P+L)

Entradas y salidas en el diagrama de proceso

Se realizó un diagrama de flujo simplificado que resumió las entradas y salidas de material durante el proceso de extracción por FSC.

Potenciales subproductos de alto valor agregado para la cúrcuma

El material residual del proceso de extracción por FSC se recuperó y se cuantificó el contenido de curcuminoides y de ar-turmerona para evaluar si presenta características que le permitan algún uso potencial.

Subproducto de alto valor agregado a partir de la cúrcuma post extracción

Se mezcló la cúrcuma residual post extracción con etanol sumergiendo la mezcla en un baño ultrasónico a 40°C durante 30 minutos, luego se filtró con vacío y se realizó una evaporación del solvente utilizando un rotavapor marca Yamato (Japón), modelo RE200, con vacío, utilizando una bomba marca Cole-Parmer (USA), modelo 420-1901-00FK, para disminuir la temperatura de separación del solvente a 60°C. De esta forma se obtuvo un extracto concentrado para analizar, tomando como parámetro su concentración de Curcuminoides totales.

Potenciales subproductos de alto valor agregado para el jengibre

El material residual del proceso de extracción por FSC se recuperó y se cuantificó el

contenido de gingeroles y shogaoles para evaluar si presenta características que le permitan algún uso potencial.

Formulación de productos comercializables a base de los extractos

Enjuague bucal

En la Figura 5 se resume el diagrama de flujo de la formulación del producto de higiene bucal propuesto. Primero se mezclaron el agua y el etanol con el extracto de Stevia, lo que se denominó pre-mezcla. Por otro lado, se realizó una pre-emulsión con el resto de los componentes. Con agitación continua, se incorpora lentamente en un período de 60 segundos la pre-emulsión a la pre-mezcla obteniendo una apariencia traslúcida casi incolora lista para su envasado y comercialización.

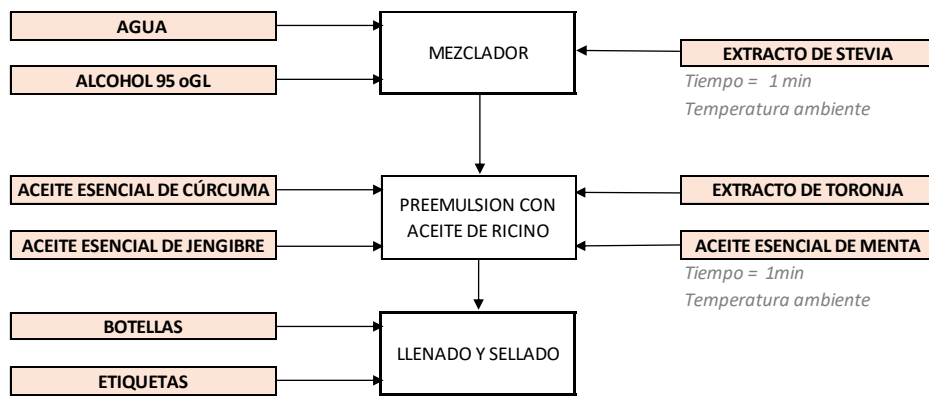


Figura 5: Diagrama de flujo del enjuague bucal a base de aceites esenciales de cúrcuma y jengibre. **Fuente:** Elaboración propia.

En el cuadro 2 se detalla la lista de insumos utilizados.

Cuadro 2: Insumos utilizados para la formulación del enjuague bucal.

Fuente: Elaboración propia.

Insumos	unidades
Agua destilada	900g
Alcohol etílico 96oGL	100g
Aceite esencial de cúrcuma	2mL/L
Aceite esencial de jengibre	2mL/L
Aceite esencial de menta	0.5 mL/L
Extracto de Semilla de toronja	400mg/L
Resina de Jengibre	0,5mL/L
Extracto de Stevia rebaudiana	0.33g/L

Bebida instantánea

El procedimiento estándar operativo para la elaboración de la bebida funcional se resume en el diagrama de flujo presentado en la figura 6. Primero se mezclan los insumos sólidos (azúcar morena, ácido cítrico) excepto el resto de los polvos cuya función será anti-humectante. Luego se incorpora la oleorresina de cúrcuma y el aceite esencial de jengibre, para finalizar con la adición de los materiales secos que aumentan el volumen de la bebida.

Se formularon dos versiones del producto, una plana y otra picante, para la cual se adicionó 0.5 mL/L de oleorresina de jengibre adicional.

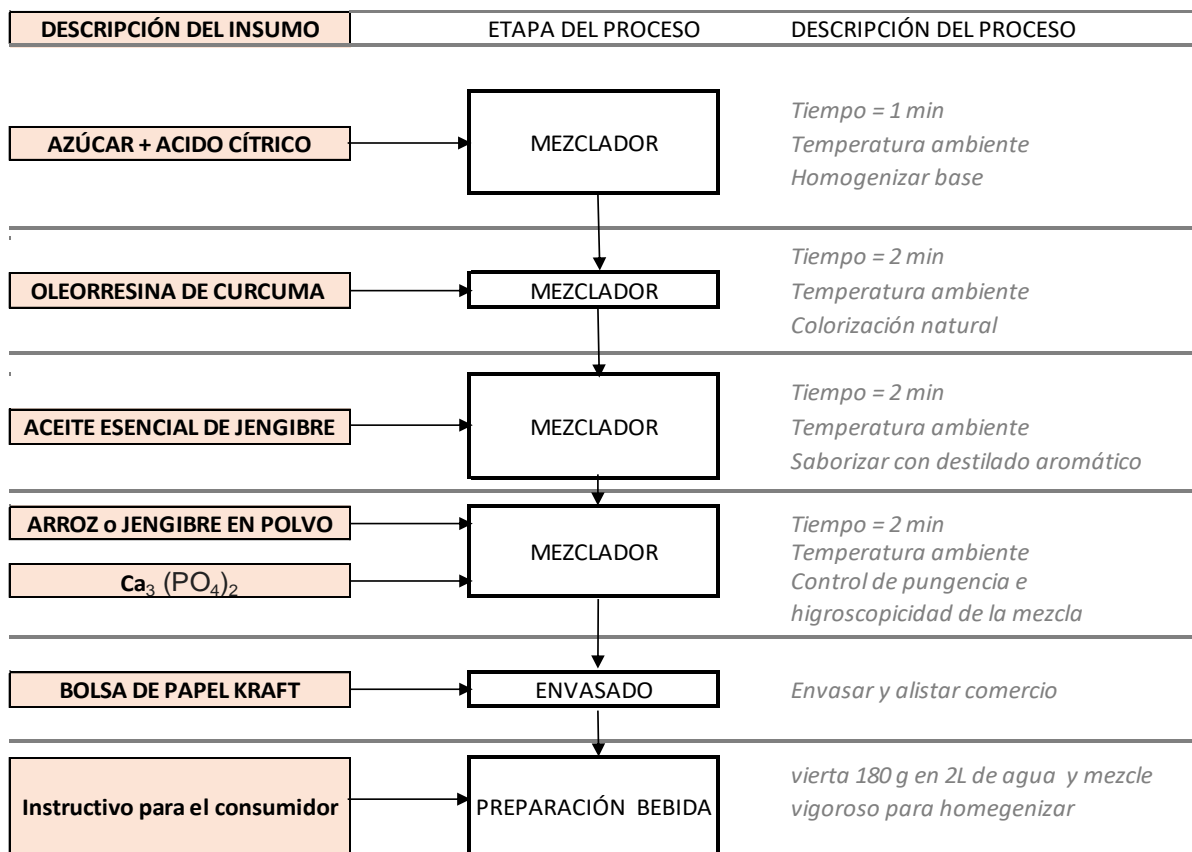


Figura 6: Flujograma del proceso de elaboración de la bebida instantánea propuesta.
Fuente: Elaboración propia.

Los insumos utilizados para la elaboración del enjuague se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3: Insumos utilizados para la elaboración de una bebida funcional. **Fuente:** Elaboración propia.

Insumos	g
Azúcar granulado orgánico	92.0
Arroz orgánico molido	5.0
Ácido Cítrico	1.0
Glicerina Vegetal	0,4
Resina de Cúrcuma	0,3
Aceite esencial de Jengibre	0,3
Jengibre orgánico molido	0,3
Total	99,3

Análisis fisicoquímicos de ambas formulaciones comerciales

Enjuague bucal

Se analizó el pH y se realizó una estimación gravimétricamente del contenido porcentual de etanol.

Bebida instantánea

Se determinó el contenido de humedad de los polvos mediante el analizador de humedad halógeno Mettler Toledo HB43-S.

Luego, a las bebidas obtenidas tras mezclar los polvos en agua se les determinó el valor de pH y °Brix mediante pH-metro y refractómetro de mano ATAGO N-50E, respectivamente.

Resultados

Características fisicoquímicas de las materias primas cúrcuma y jengibre

Se caracterizó la cúrcuma y el jengibre ambas materias primas liofilizadas, según se muestra en el cuadro 4. Para la cúrcuma y el jengibre frescos se analizó el contenido de humedad dando como resultado $(78,3 \pm 1,6) \%$ y $(73,1 \pm 1,5) \%$ respectivamente.

Cuadro 4: Caracterización de la cúrcuma y jengibre deshidratados
Fuente: Ciprona

Descripción	Cúrcuma liofilizada	Jengibre liofilizado
Humedad (g/100g)	6.47	5.99
Ceniza (g/100g)	6.23	5.87
Grasa (g/100g)	1.44	3.78
Proteína (N*6.25) (g/100g)	6.93	7.35
Fibra dietética (g/100g)	19.4	22.9
Almidón total (g/100g)	10.62	21.42

Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre por FSC y Arrastre con vapor

Pruebas preliminares para los parámetros del diseño experimental por FSC

Método de secado para la cúrcuma (sustrato)

Para definir el método de secado se probaron los pretratamientos A, B y C, según se especifica en el cuadro 5, determinando el contenido de curcuminoides totales como uno de los criterios de selección, siendo los pretratamientos B y C (rodajeado, liofilizado) los que contabilizaron los mayores porcentajes de curcuminoides.

Cuadro 5: Contenido de curcuminoides totales en la materia prima según el pretratamiento de la cúrcuma fresca. **Fuente:** Elaboración propia.

Pretratamiento	Contenido de CT (%m/m) en la materia prima
A (rayado fino, secado en horno de bandejas)	(4.1 ± 0.2)
B (rodajeado, secado en horno de bandejas)	(5.7 ± 0.2)
C (rodajeado, secado en liofilizador)	(6.2 ± 0.2)

Como un segundo criterio de selección del método de secado, se les realizó a los pretratamientos B y C una extracción preliminar de aceites esenciales y oleorresinas a una presión de operación de 3260 psi y 35°C, según lo recomendado por Began y colaboradores [43]. El resultado fue un mayor rendimiento del extracto para la cúrcuma liofilizada (C), con un 3.1132% contra 2.9550% para el secado en horno de bandejas (B) (Figura 7)

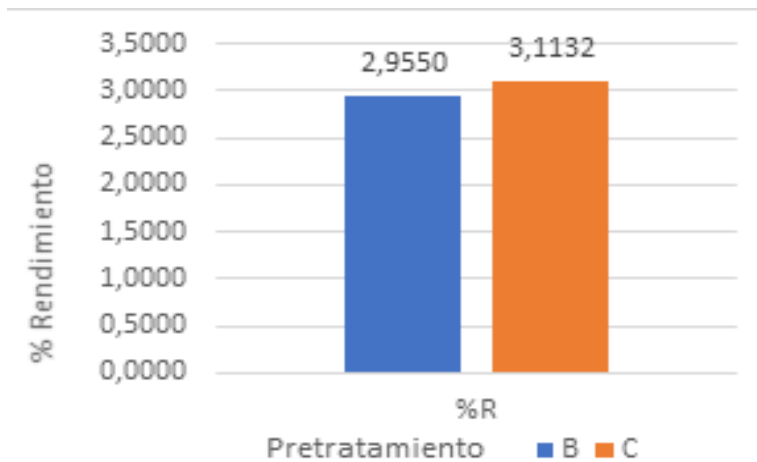


Figura 7: Rendimiento de extracción de aceites esenciales por el método de fluido supercrítico a 3260 psi, 90 minutos y 35°C para los pretratamientos B y C. **Fuente:** Elaboración propia.

Presión de extracción por FSC para la cúrcuma

Los resultados obtenidos en el análisis de la presión como variable se muestran en la figura 8, siendo la presión de 3260 psi la que genera mayor porcentaje de rendimiento de extracto, resultado que concuerda con lo recomendados por otros autores [46].

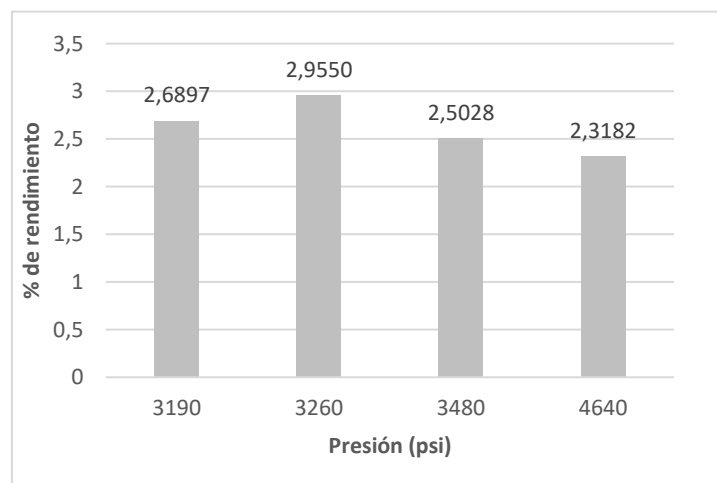


Figura 8: Variación del porcentaje de rendimiento de extracción según la presión utilizada a diferentes presiones, 35°C y 90 minutos de extracción. **Fuente:** Elaboración propia.

Obtención de extractos por el método de FSC

Curva cinética de extracción para la cúrcuma

Para determinar el tiempo óptimo de extracción, se construyó una curva cinética (cuadro 6), donde se cuantificó el rendimiento promedio del extracto obtenido cada 30 minutos. Cabe destacar que en los primeros 30 minutos se obtuvo un rendimiento del 2,0900% (56.7% del total) y que para alcanzar el 3.6846% final, el proceso de extracción debió extenderse por 270 minutos más.

Cuadro 6: Cuantificación de extracto promedio y marginal promedio en términos absolutos y porcentuales para la cúrcuma liofilizada a 2360 psi y 35°C para un periodo de extracción de 300 minutos. **Fuente:** Elaboración propia.

Tiempo (min)	Extracto promedio (g)	Extracto marginal promedio (g)	Rendimiento promedio (%)	Rendimiento marginal promedio (%)
0	0	0	0	0
30	0,5008	0,5008	2,0900	2,0900
60	0,6532	0,1523	2,7257	0,6357
90	0,6674	0,0142	2,9453	0,2196
120	0,7217	0,0543	3,1869	0,2416
150	0,7589	0,0372	3,3528	0,1659
180	0,7831	0,0243	3,4664	0,1136
210	0,7987	0,0156	3,5385	0,0721
240	0,8139	0,0151	3,6049	0,0664
270	0,8246	0,0107	3,6533	0,0484
300	0,8319	0,0073	3,6846	0,0313

Con los datos de rendimiento promedio del cuadro anterior se construyó la curva cinética de extracción para la cúrcuma (figura 7) mostrando claramente un comportamiento exponencial.

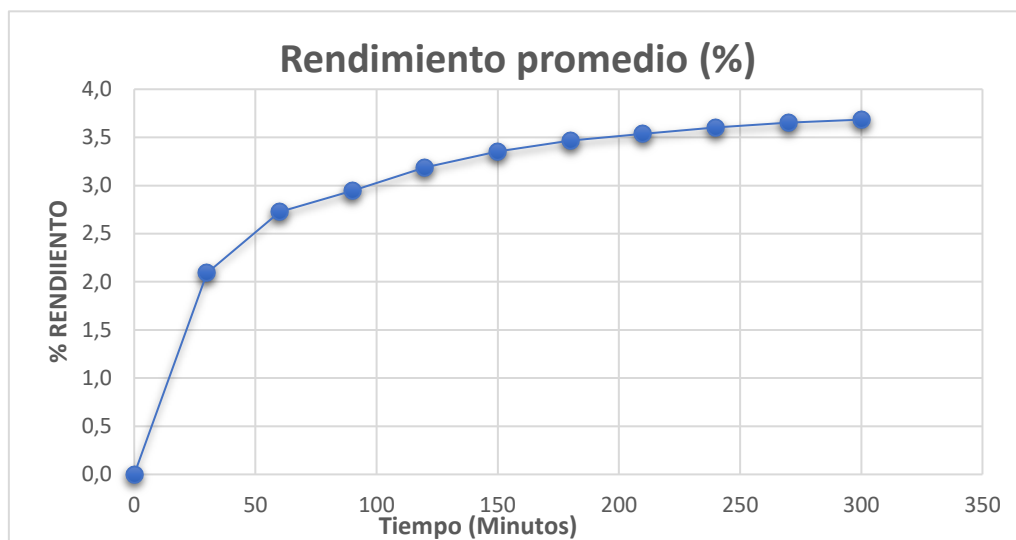


Figura 9: Curva de cinética de extracción de aceite esencial de cúrcuma liofilizada mediante FSC a 3260 psi y 35°C, durante 300 minutos de extracción.

Fuente: Elaboración propia.

Curva cinética de extracción para el jengibre

Se realizaron corridas de 300 minutos para obtener el tiempo de procesamiento óptimo mediante una curva cinética de extracción, cuantificando los gramos de extracto cada 30 minutos, según el cuadro 7. Al minuto 60 del proceso, ya se había alcanzado un 58,7% de aceites extraídos y para alcanzar el 43,2% restante se debió operar el equipo por 240 minutos adicionales.

Cuadro 7: Cantidad de extracto y rendimientos promedios absolutos y marginales de aceite esencial de jengibre liofilizado mediante FSC a 3550 psi y 40°C.

Fuente: Elaboración propia.

Tiempo (min)	Extracto promedio (g)	Extracto marginal promedio (g)	Rendimiento promedio (%)	Rendimiento marginal promedio (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
30	0,3678	0,3678	1,2688	1,2688
60	0,6146	0,2468	2,1596	0,8908
90	0,7322	0,1176	2,5512	0,3916
120	0,8416	0,1093	2,9093	0,3582
150	0,9107	0,0691	3,1421	0,2328
180	0,9548	0,0441	3,2935	0,1514
210	1,0034	0,0487	3,4634	0,1698
240	1,0294	0,0260	3,5484	0,0850
270	1,0531	0,0237	3,6134	0,0650
300	1,0679	0,0148	3,6738	0,0604

Con los datos de rendimiento promedio del cuadro anterior se construyó la curva cinética de extracción para el jengibre (figura 10) mostrando claramente un comportamiento exponencial.

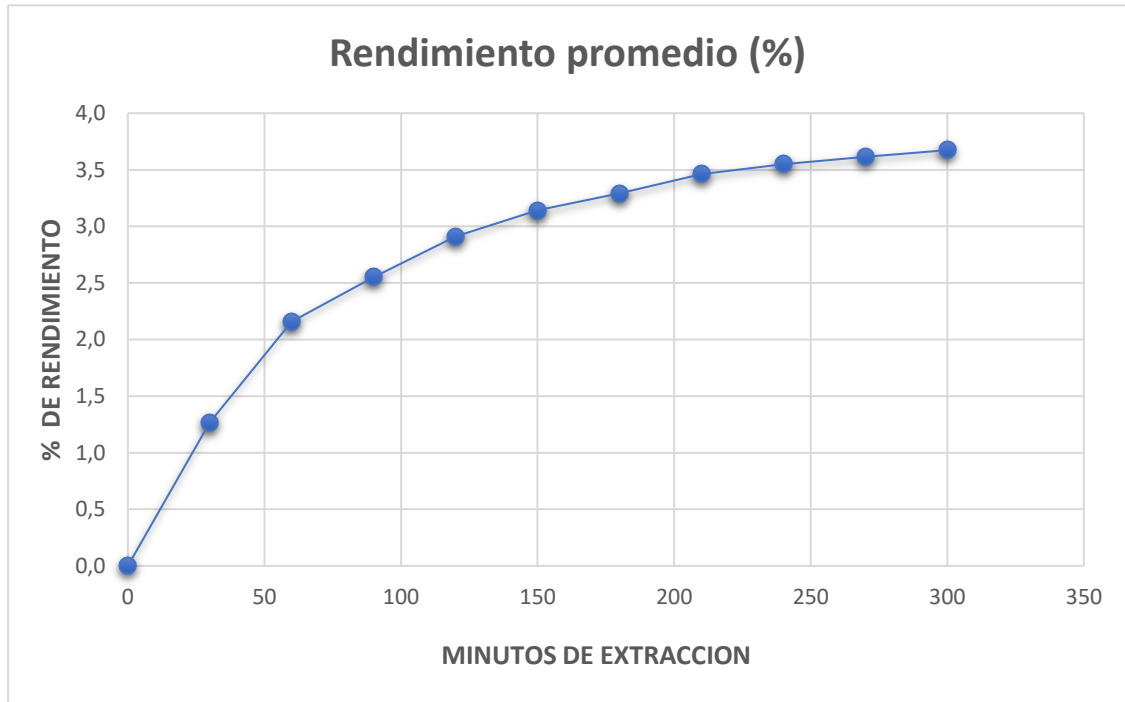


Figura 10: Curva cinética de extracción de aceite esencial de jengibre liofilizado mediante FSC a 3550 psi y 40°C.

Fuente: Elaboración propia.

Proyección matemática de la curva cinética de extracción para calcular el máximo rendimiento teórico

Proyección matemática para el rendimiento teórico de la cúrcuma

Con esta proyección matemática se obtuvo para la cúrcuma un rendimiento de 4.02% con una desviación estándar de 0.20 y 95% de confianza, es decir como límite inferior se alcanzaría un rendimiento de 3.82 y 4.22 como límite superior, ver figura 11. Del mismo modelo también se dedujo que para alcanzar este rendimiento se requeriría procesar la cúrcuma por una total de 557,72 minutos.

Modelo hiperbólico de regresión no lineal para la cúrcuma

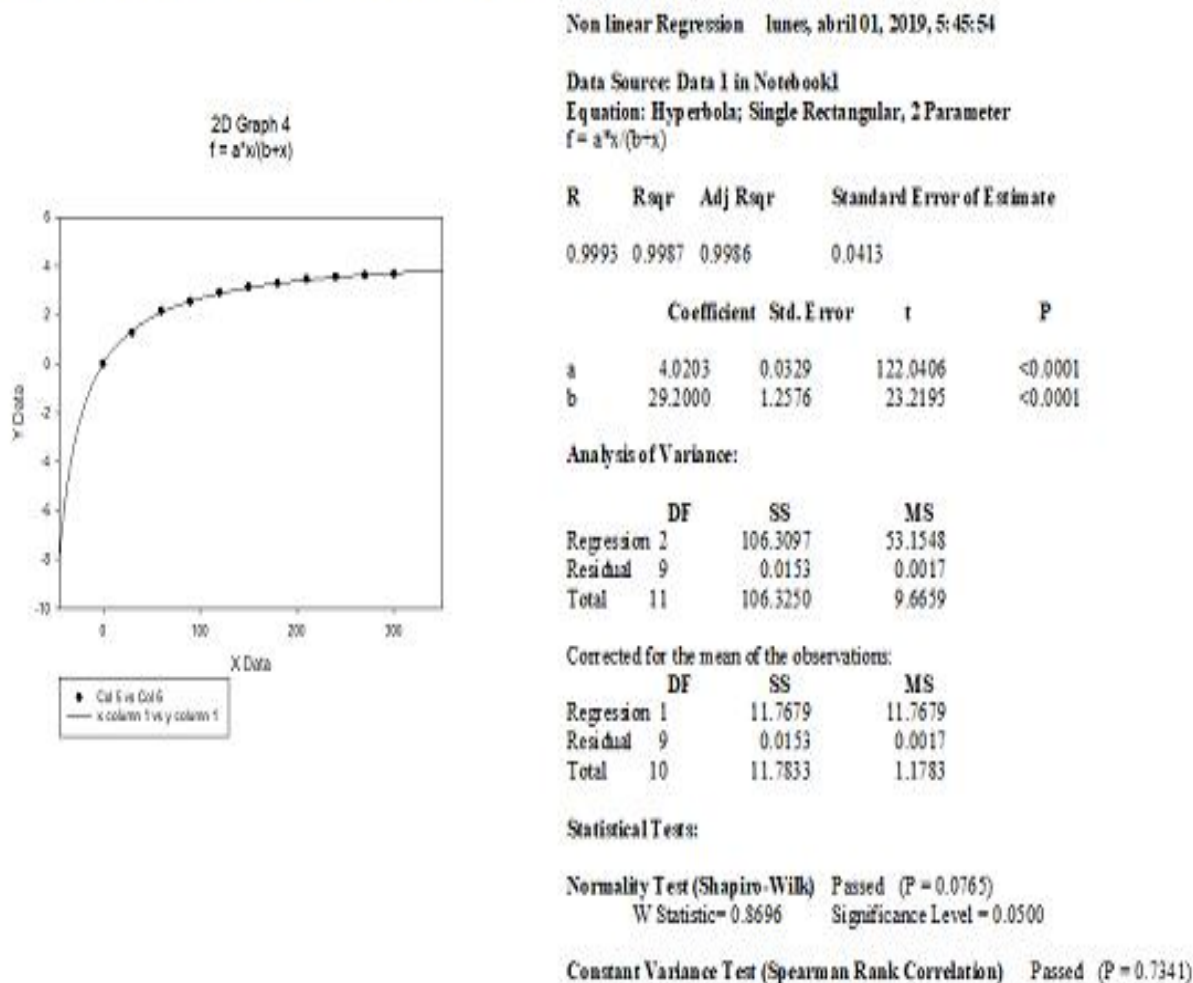


Figura 11: Modelo hiperbólico de regresión no lineal aplicado a la cúrcuma para establecer el máximo rendimiento posible por el método de fluido supercrítico.

Fuente: Elaboración propia.

Proyección matemática para el rendimiento teórico del jengibre

Similar procedimiento estadístico se aplicó al jengibre, dando un rango de rendimiento entre 4,24 y 4,94 con 0.35 de desviación estándar y 95% de confianza, según la figura 12. En cuanto al tiempo de procesamiento, se tendría que aplicar un total de extracción de 840 minutos.

Modelo hiperbólico de regresión no lineal para el jengibre

Nonlinear Regression lunes, abril 01, 2019, 5:49:02

Data Source: Data 1 in Notebook1
Equation: Hyperbola; Single Rectangular, 2 Parameter
 $f = a \cdot x / (b + x)$

R Rsqr Adj Rsqr Standard Error of Estimate
0.9994 0.9987 0.9986 0.0432

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	4.5984	0.0590	77.9550	<0.0001
b	71.3522	2.9354	24.3073	<0.0001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS
Regression	2	93.0893	46.5446
Residual	9	0.0168	0.0019
Total	11	93.1061	8.4642

Corrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS
Regression	1	13.3119	13.3119
Residual	9	0.0168	0.0019
Total	10	13.3286	1.3329

Statistical Tests:

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.6204)
W Statistic = 0.9481 Significance Level = 0.0500

Constant Variance Test (Spearman Rank Correlation) Passed (P = 0.9676)

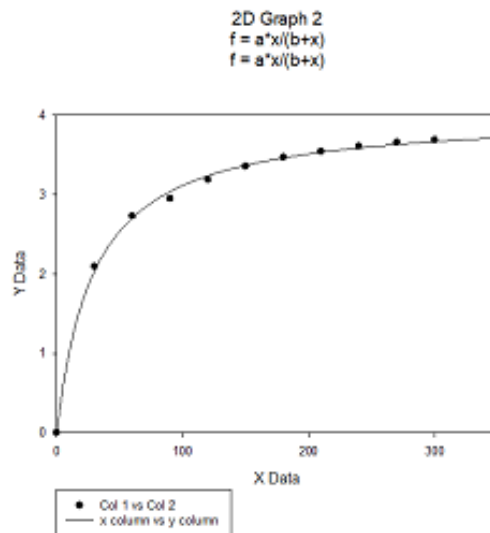


Figura 12: Modelo hiperbólico de regresión no lineal aplicado al jengibre para establecer el máximo rendimiento posible por el método de fluido supercrítico.

Fuente: Elaboración propia.

Obtención de extractos por el método de arrastre con vapor

Extractos de cúrcuma por el método de arrastre con vapor

El rendimiento promedio de extracto de aceites esenciales y oleorresinas para la cúrcuma, obtenido por arrastre con vapor en un tiempo de operación de 300 minutos fue de 1.837% (cuadro 8).

Cuadro 8: Rendimiento del extracto de aceite esencial de cúrcuma liofilizada por el método de Arrastre con Vapor por espacio de 300 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

Corrida #	%R Arrastre con Vapor
1	1,8624
2	1,5866
3	2,062
Promedio	1,837

Extractos de jengibre por el método de arrastre con vapor

El rendimiento promedio de extracto obtenido para el jengibre por el método de arrastre con vapor en un tiempo de operación de 300 minutos fue de 0,6002%. En el cuadro 9 se muestran las tres corridas realizadas, cuyos rendimientos oscilan entre un 0,4069% en la corrida 2 hasta 0.8324% en la 1.

Cuadro 9: Rendimiento del extracto de aceite esencial de jengibre liofilizado por Arrastre con Vapor durante 300 minutos. **Fuente:** Elaboración propia.

Corrida #	%R Arrastre con Vapor
1	0,8324
2	0,4069
3	0,5613
Promedio	0,6002

Características fisicoquímicas de los extractos por FSC y Arrastre con vapor

Eficiencia de extracción para la cúrcuma - Porcentaje de rendimiento

Para valorar la eficiencia de la extracción se utilizó como indicador el porcentaje de rendimiento. El rendimiento por FSC fue 3,6846% contra 1,837% para el Arrastre.

Indicadores de pureza y calidad para el extracto de cúrcuma

Para valorar la pureza y calidad del extracto de cúrcuma se utilizó como indicadores, el contenido porcentual relativo de ar-turmerona y el porcentaje de curcuminoides totales.

Contenido de Ar-turmerona

La figura 13 muestra la razón porcentual de ar-turmerona para los dos métodos de extracción utilizados. Se obtuvo un 40,47% de ar-turmerona para el extracto por FSC contra un 57,43% por arrastre con vapor.

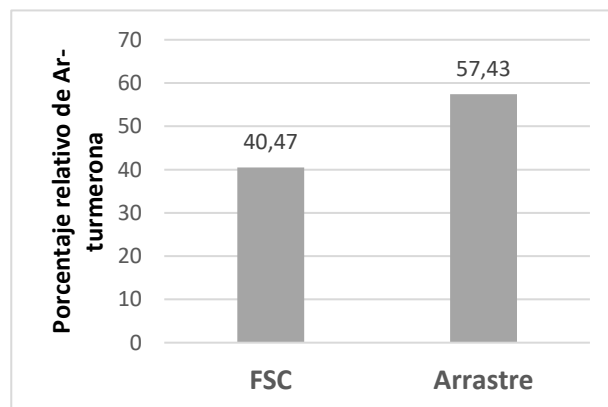


Figura 13: Contenido relativo Ar-turmerona en los extractos de aceite esencial de cúrcuma por los métodos de Fluido Súper crítico y Arrastre con Vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Contenido de curcuminoides totales

Respecto a los curcuminoides se obtuvo 4.8 g de curcuminoides por 100 g de extracto por fluido supercrítico y por el método de arrastre se logró una cantidad 0.00232 g por cada 100 g de extracto (cuadro 10).

Cuadro 10: Contenido de Curcuminoides totales en los extractos de aceite esencial de cúrcuma por los métodos de Fluido Súper crítico y Arrastre por Vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Método de extracción	CT(%m/m)
Fluido Supercrítico	4,8
Arrastre con vapor	0.00232

Eficiencia de extracción para el jengibre - Porcentaje de rendimiento

El indicador utilizado para valorar la eficiencia de extracción del jengibre fue el rendimiento, según el cuadro 11.

Cuadro 11: Rendimiento comparativo del extracto de aceite esencial de jengibre por los métodos de Fluido Súper crítico y Arrastre por Vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Método de extracción	%R
Fluido Supercrítico	3,6738
Arrastre con vapor	0,6002

Indicadores de pureza y calidad para el extracto de jengibre

La pureza y calidad de los extractos de jengibre se cuantificó a través del contenido de shogaoles y gingeroles que le dan el carácter pungente al jengibre y su gran poder antioxidante y mediante la concentración del sesquiterpeno ar-turmerona de gran importancia medicinal como neuroregenerador.

Se obtuvo para el fluido supercrítico 16,45% de shogaoles y 13,91% de gingeroles y por arrastre no se detectaron estos metabolitos. Por arrastre se obtuvo 27,98% de ar-turmerona y ningún contenido de ésta para el fluido supercrítico (Figura 14).

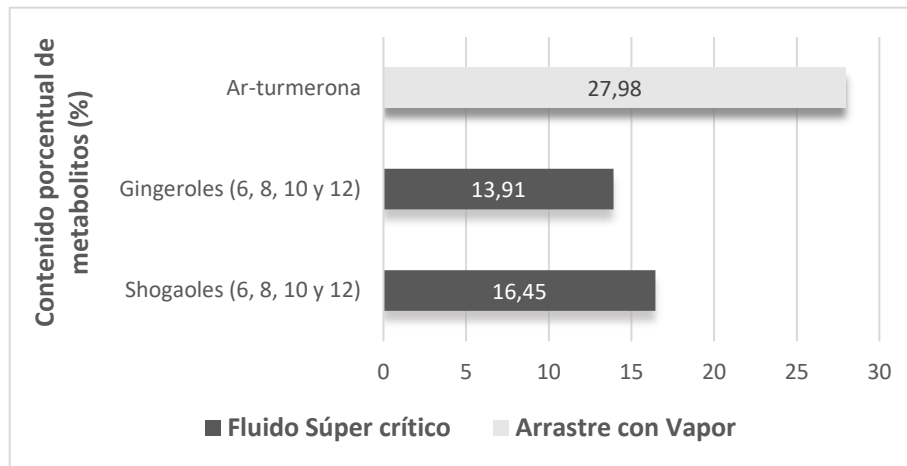


Figura 14: Contenido porcentual de importancia en los extractos de aceite esencial de jengibre por los métodos de FSC y Arrastre con Vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Matriz comparativa de eficiencia, pureza, costos y aspectos ambientales para los extractos obtenidos FSC y Arrastre con vapor

En el cuadro 12, se muestra la matriz comparativa de los dos métodos extractivos principales a escala de laboratorio, suministrando datos de eficiencia, pureza, costos, beneficios y aspectos ambientales, sin pretender un análisis exhaustivo.

Cuadro 12: Matriz comparativa de eficiencia, pureza, costos a escala de laboratorio, y aspectos ambientales para los métodos de FSC y Arrastre.

Fuente: Elaboración propia.

EFICIENCIA Y PUREZA			Observaciones	
Rubro	FSC	Arrastre		
Eficiencia (% Rendimiento)	3,3528	1,837		FSC: rendimiento 50 minutos de proceso extractivo. Arrastre: a 300 min Ar-turmerona presente en mayor proporción por ambos métodos FSC: alto contenido. Arrastre: bajo contenido
Eficiencia (% Ar-turmerona)	40,47	57,43		
Eficiencia (% m/m curcuminoides totales)	4,8	0.00232		
COSTOS (¢/corrida)			Observaciones	
Rubro	FSC	Arrastre		
Cúrcuma liofilizada	618	1030		FSC: 30g de cúrcuma liofilizada por corrida (20,6¢/g*30g=618 ¢). Arrastre: 50g por corrida (20,6¢/g*50g=1030¢) Cúrcuma fresca 5320 ¢/Kg (Laurel Tienda Orgánica, Ciudad Colón, Mora, San José. Costo por gramo liofilizado = 20,6 ¢/g. FSC: extractor consumió 0.9KW/hr Arrastre: manta eléctrica consumió 0,410KW/hr. Consumos menores o iguales a 3000 kWh pagan 127.14¢ y mayores ¢ 76.08¢. FSC: 0,9 KW/hr*127,14¢/KW*2,5hr=286 ¢). Arrastre: 0,410KW/hr*127,14* 5hr=261 ¢)
Energía eléctrica	286	261		

Gas CO ₂	2425	NA
Hexano	NA	120
TOTAL DE COSTOS (¢)	3329	1411

FSC: 970 ¢/hr*2,5 hr=2425 ¢. 970¢ de gas CO₂. /hr de operación
 Arrastre: no consumió CO₂
 Arrastre: 100 ml/corrida a un costo de 1200 ¢/litro de hexano de alta calidad. <https://www.nazza.es/img/cms/FT-Hexanux-Nazza.pdf>.
 Los costos no incluyen la mano de obra ni el componente energético consumido por el equipo de liofilización. No obstante, son costos comunes para ambos métodos.

BENEFICIOS (¢/corrida)		
Rubro	FSC	Arrastre
Ingreso	1216	304

Observaciones

Beneficio: Ingreso por venta del aceite esencial. Precio de mercado del aceite esencial de cúrcuma 1600 ¢/g (www.doterra.com)
 FSC: se obtuvo 0,76 g de aceite esencial por corrida.
 Arrastre: 0,19g.
 FSC: 0.76g*1600¢/g =1216 ¢
 Arrastre: 0.19 g*1600¢/g =304 ¢

INDICE NETO DE RENTABILIDAD		
Rubro	FSC	Arrastre
Índice neto de rentabilidad	0,37	0,24

Observaciones

Índice de costos/beneficio: cociente entre los ingresos y los costos.
 FSC: 1216/3329=0.37
 Arrastre: 304/1411=0.24

ASPECTOS AMBIENTALES		
Rubro	FSC	Arrastre
Pureza del extracto	100%	Posibles trazas de solvente
Olores	Inoloro	Olor característico a disolvente
Contaminación en aire	-CO ₂ -Polvo de cúrcuma	-Hexano --Polvo de cúrcuma
Contaminación en agua	-Coloración amarilla	-Trazas de hexano -Coloración amarilla
Riesgo de explosión	Cilindro contendedor de CO ₂	Hexano es inflamable
Reuso de solvente	Posibilidad alta de reutilizar el CO ₂	Posibilidad alta de reutilizar el hexano
Obtención de subproductos de alto valor agregado	Extracción de curcuminoides del material residual	Obtención de alcohol del material residual

Observaciones

FSC: el extracto se obtiene libre de CO₂. Arrastre: podría contener trazas de hexano.
 FSC: solvente CO₂
 Arrastre: solvente hexano
 FSC: el CO₂ se volatiliza a presión y temperatura ambiente TPN. El hexano a 68°C. Tamaño de partícula de la cúrcuma = 0,5 micras
 En ambos casos las aguas residuales tendrán contaminación por color de la cúrcuma
 FSC: CO₂ inflamabilidad grado 0. Arrastre: líquidos y vapores de hexano son inflamables, grado 3.
 De reciclar los disolventes, se obtendría a escala industrial un ahorro de costos altamente significativo
 FSC: el material residual es sólido fino con contenido de curcuminoides.
 Arrastre: el material residual es una mezcla de sólidos con agua, aprovechable para obtención de alcohol vía fermentación con levaduras.

Enfoque de Producción más Limpia (P+L)

Desde la perspectiva de P+L, una vez obtenido el extracto de aceites esenciales y oleorresinas como producto principal, se analizó la viabilidad de utilizar los materiales residuales.

Entradas y salidas en el diagrama de proceso

En el diagrama de flujo simplificado de la figura 15, se muestran las entradas y salidas al proceso de extracción por FSC.

Los materiales e insumos que entran al proceso son:

- a) Cúrcuma liofilizada virgen
- b) Dióxido de carbono (CO₂) con una pureza del 99,999% en estado gaseoso.

Los materiales e insumos que sales del proceso son:

- a) Dióxido de carbono (CO₂) con una pureza desconocida pero menor a 99,999% en estado gaseoso.
- b) Aceite esencial y oleorresinas (AE)
- c) Cúrcuma residual post extracción.

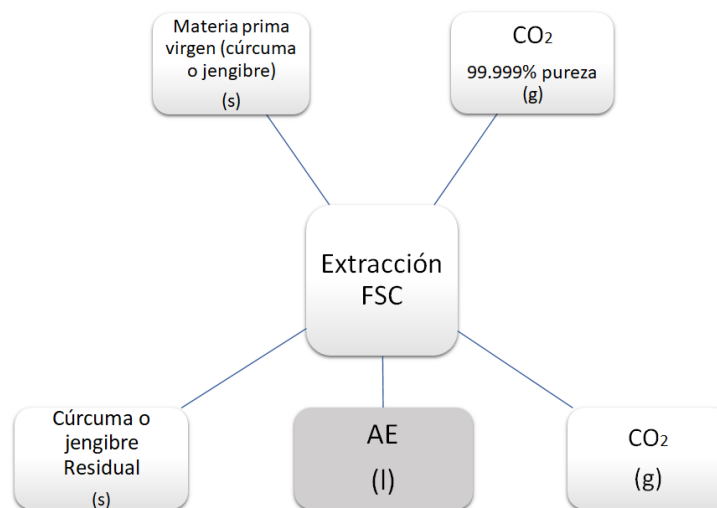


Figura 15: Diagrama simplificado del proceso de extracción por fluido supercrítico.
Fuente: Elaboración propia.

Potenciales subproductos de alto valor agregado

En el cuadro 13 se dan los contenidos porcentuales de curcuminoides totales y ar-turmerona, mostrando el potencial de la cúrcuma residual como posible subproducto.

Cuadro 13: Curcuminoides totales y Ar-turmerona para la cúrcuma liofilizada virgen, el extracto (AE) y la cúrcuma residual post extracción.

Fuente: Ciprona

Muestra	CT (%m/m)	Ar-turmerona %
Cúrcuma liofilizada virgen	(6.2 ± 0.3)	37,40
Extracto de aceites esenciales (AE)	(4.8 ± 0.3)	40,47
Cúrcuma residual post extracción	(5.9 ± 0.3)	47,48

Extracción alcohólica del residuo de cúrcuma post extracción

Se mezcló la cúrcuma residual post-extracción con etanol sumergiendo la mezcla en un baño ultrasónico y por filtrado y evaporación se obtuvo un material sólido pastoso de intenso color naranja, consistencia resinosa y en apariencia sin rastros del disolvente, con un rendimiento de 19% y (2.27 ± 0.01) %m/m de curcuminoides totales. Paralelamente se corrió un blanco como referencia, utilizando cúrcuma virgen en vez de la cúrcuma residual post-extracción. El rendimiento del blanco fue 22% y con un contenido de curcuminoides totales de $(2,08 \pm 0.01)$ %m/m (cuadro 14).

Cuadro 14: Curcuminoides totales para el subproducto obtenido de la cúrcuma residual post extracción y su respectivo blanco. **Fuente:** Ciprona

Muestra	CT (%m/m)
Extracto alcohólico de la Cúrcuma residual post-extracción	$(2,27 \pm 0.01)$
Extracto alcohólico de la Cúrcuma virgen (Blanco)	$(2,08 \pm 0.01)$

Potenciales subproductos de alto valor agregado para el jengibre

En el cuadro 15 se aprecia la potencialidad del residuo de jengibre post-extracción como subproducto dado su contenido de gingeroles y shogaoles; 0,72 y 11,26 respectivamente.

Cuadro 15: Shogaoles y Gingeroles para el jengibre liofilizado virgen, el extracto y el jengibre residual post extracción fluido supercrítico. **Fuente:** Ciprona

Muestra	Gingeroles % relativo	Shogaoles % relativo
Jengibre liofilizado virgen	11,68	6,46
Extracto de aceites esenciales y oleorresinas (AE)	13.91	16.45
Jengibre residual post-extracción	0,72	11,26

Formulación de productos comercializables a base de los extractos

Enjuague bucal

Se obtienen dos enjuagues bucales de coloración levemente amarillo-verdoso homogéneo y traslúcido.

Bebida instantánea

Se desarrollaron dos variantes de bebidas en polvo, de granulometría similar y color homogéneo que cumplieran con el objetivo de poder usarse para realizar bebidas con

insumos naturales mediante la adición de agua. Fueron dos variantes diferentes: una de sabor neutro y otra picante.

Análisis fisicoquímicos de ambas formulaciones comerciales

Enjuague bucal

Se determinó un pH neutro de $7.06 \pm 0,10$ y un promedio de contenido de alcohol de $10.05 \pm 0,13$.

Bebida instantánea

El resumen de los datos analizados se presenta en el cuadro 16.

Cuadro 16: Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos de la bebida instantánea. **Fuente:** Elaboración propia.

Versión	Parámetro	Promedio	Desviación estándar
Neutra	Brix	9,00	2,18
	%Humedad	1,28	0,54
	pH	3,95	0,01
Picante	Brix	7,67	0,58
	%Humedad	0,81	0,31
	pH	3,95	0,01

Discusión y conclusiones

Características fisicoquímicas de las materias primas cúrcuma y jengibre

La caracterización de la cúrcuma se aproxima a los valores que reportan otros autores [47] [38], con pequeñas variaciones atribuibles posiblemente a las condiciones de cultivo y cosecha; variaciones en el secado del material vegetal; diferencias en el tamaño de partícula, mostrando un menor porcentaje de humedad (6,47%) en comparación con los datos de referencia (8-13 g/100g).

Los carbohidratos totales, calculados por diferencia más el almidón total, corresponden a un total de 59.53 gramos en 100 gramos, lo que concuerda con los autores anteriormente mencionados que presentan valores aproximados a los 60 gramos.

Para el jengibre, la humedad se aproxima al 6%, lo que concuerda con lo reportado por [48] para el menor tamaño de partícula utilizado (6.78%).

Las proteínas y grasas obtenidas en la materia prima del presente proyecto se encuentran levemente por debajo de lo reportado por los autores mencionados que corresponde entre 12-13% de proteínas y aproximadamente 6% de grasas, diferencias que se pueden deber a las características del cultivo y cosecha del rizoma.

Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre para FSC y Arrastre con vapor

Pruebas preliminares para establecer los parámetros del diseño experimental para FSC

Método de secado para la cúrcuma (sustrato)

Los resultados mostraron un mayor rendimiento de extracción (3.1132%) para la cúrcuma liofilizada (C), contra 2.9550% para el secado en horno de bandejas (B), esto indica que el mejor procedimiento de secado fue la liofilización lo que se respalda en literatura por cuánto la liofilización es un método utilizado en industrias para procesos de secado que buscan conservar características físicas y físico-químicas que son indicadores de la calidad así como conservar la vida útil del material [49].

El pretratamiento “tipo A”, rayado fino y secado en horno de bandejas presentó los valores más bajos en curcuminoides y rendimiento, pues se genera mayor superficie expuesta, favoreciendo la oxidación de los curcuminoides y aceites esenciales, tanto por la luz, como por generación de radicales libres y especies reactivas del oxígeno. En los pretratamientos (B) y (C), se evidencia una menor degradación de los curcuminoides, pues al ser troceados, la superficie expuesta fue menor. El pretratamiento de la cúrcuma que presentó mayor contenido de curcuminoides y rendimiento de aceites esenciales fue el (C) consistente en rodajeado, liofilizado y molido. En este pretratamiento la cúrcuma se liofilizó en contraste con los otros pretratamientos en los que se utilizó horno de bandejas, dando mayor estabilidad a estos compuestos.

Desde el punto de vista técnico, el pretratamiento (C) fue el que generó los mayores rendimientos de curcuminoides y aceites esenciales, por lo que se considera que la técnica de liofilizado es el mejor método de secado. Sin embargo, cuando se piensa el proceso a escala industrial, el método de B es una opción muy asequible por los altos costos del equipo de liofilización en contraste con secadores convencionales, siendo de vital importancia rodajear los rizomas en vez de rayarlos, ya que con este procedimiento se aumenta la oxidación y degradación de los metabolitos.

Parámetros seleccionados para el diseño experimental de la cúrcuma

Entre las presiones sometidas a análisis para la extracción de aceites esenciales por el método FSC, la que presentó un mayor porcentaje de rendimiento fue la realizada a una presión de 3260 psi, situación que concuerda con la presión óptima de 22.5 MPa determinada por [46]. Hay que tener en consideración que la selectividad del extracto respecto de los metabolitos a obtener depende directamente de los parámetros de proceso que se definan. Los parámetros de proceso para la extracción de la cúrcuma fueron: como pretratamiento del sustrato se utilizó cúrcuma troceada, liofilizada y molida; la presión de operación del equipo 3260 psi; la temperatura de la cámara de extracción 35°C y flujo de CO₂ de 5 ml/min.

Parámetros seleccionados para el diseño experimental para el jengibre

Para el jengibre existen suficientes referencias en la literatura respecto de los parámetros de presión y temperatura, por lo cual se estableció 3550 psi y 40°C que fue reportada como óptima por [44], además, como técnica de secado se utilizó el pretratamiento tipo C aplicado a la cúrcuma por sus notables beneficios a la conservación de compuestos volátiles. Los parámetros de trabajo para el jengibre fueron: como pretratamiento del sustrato se utilizó jengibre troceada, liofilizada y molida; 3550 psi y 40°C y un flujo de CO₂ de 5 ml/min.

Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre por el método de FSC

Curva cinética de extracción para la cúrcuma y el jengibre

En la curva cinética de extracción, tanto para la cúrcuma como para el jengibre se observa un comportamiento exponencial en la extracción de aceites esenciales y oleorresinas. Como es de esperar, conforme se avanza en la extracción, se evidencia que la cantidad de extracto obtenido disminuye con el tiempo. Mediante un artificio estadístico-matemático se quiso proyectar la cantidad máxima de extracto en caso de continuar “indefinidamente” con la extracción.

Proyección matemática para el rendimiento teórico de la cúrcuma y el jengibre

El modelo hiperbólico de regresión no lineal mostró que de continuar con el proceso extractivo más allá de los 300 minutos, sería posible conseguir mejores rendimientos: para la cúrcuma se lograría un 4,22% en 557 minutos y para el jengibre 4,94% en 840 minutos. Sin embargo, desde el punto de vista económico, los costos marginales aumentan por cada gramo adicional de aceite extraído. De manera que cobra importancia definir el tiempo óptimo de procesamiento, que está en función del costo-beneficio y del tiempo que una empresa esté dispuesta a invertir para extraer una cantidad porcentual marginal. Por tanto, se consideró pertinente definir mediante la Regla de Pareto el tiempo óptimo de extracción.

Cuadro 17: Aplicación de la Regla de Pareto para seleccionar el tiempo óptimo de extracción para la cúrcuma. **Fuente:** Elaboración propia.

Minuto	%R promedio	Fracción promedio (%R)	Fracción de tiempo (%)	%R acumulado	% R en los dos tramos de 150 min
0	0	0	0	0	
30	2,0900	57	10	57	50% del tiempo
60	2,7257	17	20	74	91% del extracto
90	2,9453	6	30	80	
120	3,1869	7	40	87	
150	3,3528	5	50	91	
180	3,4664	3	60	94	50% del tiempo
210	3,5385	2	70	96	9% del extracto
240	3,6049	2	80	98	
270	3,6533	1	90	99	
300	3,6846	1	100	100	

Regla de Pareto para seleccionar el tiempo óptimo de extracción

Tiempo óptimo de extracción para la cúrcuma

Para seleccionar el tiempo óptimo de extracción se aplicó la Regla de Pareto. Según se muestra en el cuadro 17 se contó con los siguientes datos:

- a) En los primeros 30 minutos se obtuvo el 57% de extracto.
- b) A los 90 minutos (30% del tiempo) se obtuvo el 80% de extracto.
- c) Al minuto 150 (50% del tiempo) se generó el 91% de extracto.
- d) Al minuto 300 (100% del tiempo) se obtuvo el 9% del extracto restante.

Tiempo óptimo de extracción para el jengibre

Para el jengibre se contó con los siguientes datos (cuadro 18):

- a) A los 120 minutos (40% del tiempo) se obtuvo el 79% del extracto.
- b) Al minuto 150 (50% del tiempo) se alcanzó el 86% del extracto
- c) Al minuto 300 (100% del tiempo) se obtuvo el 14% del extracto restante.

Cuadro 18: Aplicación de la Regla de Pareto para seleccionar el tiempo óptimo de extracción para el jengibre. Fuente: Elaboración propia.

Tiempo (min)	Rendimiento promedio (%)	Fracción promedio (%R)	Fracción de tiempo (%)	%R acumulado	% R en los dos tramos de 150 min
0	0	0	0	0	50% del tiempo 86% del extracto
30	1,2688	35	10	35	
60	2,1596	24	20	59	
90	2,5512	11	30	69	
120	2,9093	10	40	79	
150	3,1421	6	50	86	
180	3,2935	4	60	90	50% del tiempo 14% del extracto
210	3,4634	5	70	94	
240	3,5484	2	80	97	
270	3,6134	2	90	98	
300	3,6738	2	100	100	

Es claro que, de continuar la extracción durante el segundo tramo, la cantidad de extracto correspondió a una pequeña fracción marginal.

Utilizando el criterio de experto y la Regla de Pareto, el tiempo óptimo recomendado para la extracción por FSC fue de 150 minutos tanto para la cúrcuma como para el jengibre.

Obtención de extractos de cúrcuma y jengibre por el método de Arrastre con vapor

Tanto para la cúrcuma como para el jengibre, el método de arrastre con vapor mostró rendimientos apreciablemente diferentes entre corridas, ya que la única variable controlada fue el tiempo de extracción, quedando así el proceso dependiendo de condiciones no controladas como la homogeneización de la muestra, ya que el equipo de destilación tradicional no cuenta con un agitador. Asimismo, el equipo de destilación tampoco permite realizar un control preciso de la temperatura.

El porcentaje de rendimiento de los extractos por Arrastre para la cúrcuma, fueron muy bajos en comparación con los obtenidos por FSC, resultado esperable dada la ya conocida superioridad del CO₂ en su condición supercrítica, en la cual se incrementa la solubilidad, viscosidad y difusividad, mejorando las propiedades como disolvente y aumentando la superficie de contacto con la materia prima. Dichos rendimientos por Arrastre se encontraron dentro del promedio según lo reportado por otros autores en donde se reportan datos inferiores, aproximado al 1% [50], así como datos superiores sobre el 2% [51]. Podrían realizarse mejoras en el sistema en busca de un aumento del rendimiento en extracción por hidrodestilación, donde se podría utilizar un equipo más estandarizado como

el equipo Clavenger, así como asistir el procedimiento con microondas situación que ha mostrado aumentar los rendimientos [51].

El porcentaje de curcuminoides en el extracto de cúrcuma por Arrastre fue extremadamente reducido, posiblemente se deba a la baja volatilidad de las curcuminas respecto del resto de metabolitos ante una técnica que presupone el arrastre de las sustancias más volátiles. Así, se concluye que para la extracción de curcuminoides es más recomendable la extracción por FSC.

Para el jengibre, la variabilidad entre corridas osciló entre un 0,4069% en la corrida 2 hasta 0.8324% en la 1, manteniendo similares condiciones de operación entre corridas. El rendimiento promedio correspondió a 0,6%, lo cual es comparable con el rendimiento obtenido por otros investigadores (0.8%) [52] mostrando una pequeña variación que se puede deber al tiempo de procesamiento de la muestra.

Características fisicoquímicas de los extractos por FSC y Arrastre con vapor

El extracto por Arrastre para la cúrcuma extrajo mayor proporción de Ar-turmerona respecto del método de fluido supercrítico, lo que concuerda con otros autores quienes indican cantidades aproximadas al 40% de abundancia de este compuesto para ambos tipos de extracción [53], por lo que se concluye que ambos métodos permiten una alta extracción de este metabolito y posibilita que sea utilizado como un indicador de la calidad.

En relación con el contenido de curcuminoides totales para la cúrcuma, se alcanzó un porcentaje mucho más elevado mediante FSC en relación con el Arrastre con vapor. Por FSC se alcanzó 4,8%*m/m* en comparación con lo obtenido por otros investigadores se puede decir que aún se debe buscar una mayor extracción de estos compuestos (5.9 %) [9].

Con relación a la eficiencia de extracción para la cúrcuma por fluido supercrítico se obtiene un 50% más de aceites esenciales y oleorresinas que por el método de arrastre, lo que muestra la superioridad del fluido supercrítico en la extracción de una mayor cantidad de metabolitos presentes en los rizomas.

Respecto de la calidad del extracto de jengibre se obtuvo por FSC un alto contenido de gingeroles y shogaoles, pero sin presencia de ar-turmerona y un comportamiento contrario para el arrastre, en el que se obtuvo principalmente Ar-turmerona y ningún gingerol o shogaol. Otros autores [54] han reportado resultados similares con respecto a los metabolitos extraídos para el jengibre por FSC.

Estas diferencias en la obtención de metabolitos según el método extractivo muestran la selectividad de cada técnica. Por tanto, lejos de determinar contundentemente el método con mejor calidad de extractos, más bien esta selectividad debe entenderse como

estratégica para escoger el método que mejor se adapte a los metabolitos de interés según sean las características de los productos comerciales deseables.

En términos generales, dada la facilidad con que se pueden variar los parámetros de operación, el método de FSC es propicio para una mayor selectividad de los metabolitos en los extractos de aceites esenciales, lo cual no se puede efectuar con el método por Arrastre.

Matriz comparativa eficiencia, pureza, costos y aspectos ambientales para los extractos obtenidos por Fluido supercrítico (FSC) y Arrastre con vapor

En cuanto al rendimiento del jengibre por Arrastre y FSC, evidentemente la mayor eficiencia fue alcanzada en el extracto supercrítico, generando un 83,7% más de extracto.

Los costos de las corridas a escala de laboratorio claramente no son representativos de los costos a escala industrial o semi-industrial. Evidentemente la rentabilidad a escala de laboratorio es muy baja especialmente por la reducida capacidad de carga de los equipos tanto en FSC como de Arrastre. A escala industrial, existe la posibilidad de recircular el CO₂, que reduciría significativamente los costos de operación, puesto que es el rubro de mayor costo del proceso. También debe considerarse que es posible obtener subproductos con potencial comercial a partir del residuo post-extracto.

A escala de laboratorio, el método de FSC aventajó en todo momento al de Arrastre en cuanto al rendimiento se refiere, por lo que el beneficio económico siempre fue mayor. Asimismo, las cantidades de materia prima de partida fueron menores para FSC, lo que incidió directamente en los costos de operación. El consumo de energía eléctrica fue similar para ambos métodos. Todo lo anterior contribuyó a que el FSC contara con un índice de rentabilidad mayor que el arrastre. Cabe resaltar que, con dichos índices, los procesos a escala de laboratorio no son rentables, la importancia de estas valoraciones fue contar con un acercamiento preliminar a los factores a tomar en cuenta para una eventual escalada del proceso.

Se obtuvo un índice de rentabilidad mayor para el extracto FSC a pesar de sus mayores costos de operación, lo que se explica por los rendimientos más altos obtenidos por FSC.

El método por arrastre, al requerir una purificación del extracto final, está en clara desventaja respecto del FSC, el cual genera un producto libre de contaminantes con un 100% de pureza. En relación con otros aspectos ambientales el FSC presenta menos impacto por olores y en virtud de que maneja en todo el proceso materiales secos, reduce la contaminación de las aguas residuales, en contraste con el Arrastre, del cual surge durante el proceso sólidos mezclados con agua lo que dificulta un poco más las acciones tendientes a tratamiento de aguas residuales.

Enfoque de Producción más Limpia (P+L)

Producción más limpia como eje transversal

Se aplicó P+L como eje transversal durante toda la investigación. Atendiendo al ciclo de vida “desde la cuna hasta la tumba”, se trabajó con materia prima cúrcuma y jengibre orgánicos, provenientes de la finca Verdenergía Pacífica especializada en permacultura. El diseño experimental, se planeó con métodos extractivos amigables, sin el uso de solventes orgánicos para la extracción (si bien se utilizó hexano para separar el extracto final de aceite del agua en la técnica de arrastre con vapor). Se investigó acerca de la mejor manera de pre-tratar y deshidratar la materia prima, para conservar los metabolitos sin alteraciones, mostrando que lo mejor es trocear la materia prima en vez de rayarla. Durante el proceso de extracción de fluido supercrítico, se ensayó con diversas presiones, y tiempos de proceso buscando el máximo rendimiento, con el fin de producir menos desechos.

La cúrcuma residual post extracción con un contenido de curcuminoides totales de 5,9 %m/m, reveló el potencial de extracción con el que aún cuenta este residuo de cúrcuma y considerando que la biomasa después de extracción no está contaminada, pues el CO₂ se libera por completo, podría ser utilizado como materia prima prácticamente de uso directo como condimento u otro subproducto o bien someter el residuo a una extracción secundaria.

Respecto del jengibre, el material residual post-extracción aún contenía 11,26 % shogaoles. De igual manera, bajo las consideraciones de producción más limpia, podría practicarse una segunda extracción al material residual con CO₂ a una presión y temperatura seleccionada para que de manera selectiva se extraigan estos metabolitos de alto interés nutracéutico y culinario, antes de considerar el material sólido como un desecho.

Subproducto de alto valor agregado a partir de cúrcuma post-extracción

Respecto de la prueba preliminar realizada para el aprovechamiento de la cúrcuma residual post-extracción, se obtuvo un rendimiento muy elevado y un contenido de curcuminoides más bien modesto. Para valorar en toda su magnitud estos resultados, se requiere caracterizar con mayor detalle dicho subproducto. No obstante, destacó el hecho de que la cúrcuma post-extracción contiene mayor contenido de curcuminoides que el extracto (AE), lo que pone de manifiesto el gran potencial comercial que aún posee este residuo y considerando que la biomasa después de extracción no quedó contaminada, pues el CO₂ se liberó por completo, lo que podría haber sido un desecho, es más bien considerado una materia prima.

El material residual de jengibre post-extracción, presentó un alto contenido de shogaoles, lo cual tiene potencial para usos nutracéuticos y por el sabor dulce que imparten también en la industria de confitería y repostería.

Formulación de productos comercializables a base de los extractos

Enjuague bucal

El enjuague bucal es una fórmula bioactiva que ayuda a mantener los dientes y encías limpios y sanos, incluye únicamente ingredientes naturales. Previene la formación de placa, tiene capacidad antiinflamatoria y antibacteriana, sus ingredientes permiten reducir el índice de formación de placa (PI), el índice gingival (GI) y el conteo bacteriano, en ese sentido funciona sin necesidad de usar sustancias artificiales

El principal reto técnico en este desarrollo fue encontrar el emulsificante adecuado para que la fase aceitosa de la formulación no generara una turbidez blanquecina en el producto final. En ese sentido el emulsificante de aceite de ricino en un 2 % resulta suficiente para resolver dicha turbidez y obtener una emulsión estable, por lo que utilizar una mayor cantidad de dicho insumo resultaría en un aumento de costos innecesario.

Para mantener un contenido intermedio de alcohol se utilizó un 10 % de alcohol, cantidad suficiente para mantener una suficiente vida de anaquel y que no resulte tan irritante como otros disponibles en el mercado.

Bebida instantánea

Mezcla en polvo preparada para bebida instantánea 100% natural, presenta una base de azúcar y arroz orgánico, ácido cítrico, incluye calcio. Se le dio color con resina de cúrcuma y sabor con esencias de jengibre. La bebida en polvo es una mezcla lista para dispersar en agua, una propuesta práctica para el consumidor que facilita en pocos minutos un producto 100% natural que aporta varios ingredientes funcionales, sustancias antioxidantes y antiinflamatorias, sus bioactivos se consideran nutraceuticos que también aportan características organolépticas sin el requerimiento de otros insumos artificiales

Recomendaciones

Para el método de FSC, se recomienda correlacionar de una forma más precisa cómo variaciones en los parámetros de operación (presión, temperatura y flujo de CO₂) inciden en la selectividad de los metabolitos obtenidos.

Por ser el arrastre con vapor una técnica muy utilizada en el campo industrial se recomienda continuar con investigaciones propiciando un mayor control de las variables como la temperatura y agitación y/o eventualmente realizar modificaciones en el equipo tradicional de destilación.

Para elevar el contenido de curcuminoides totales en los extractos de cúrcuma por FSC, se sugiere el uso de cosolventes de naturaleza polar como coadyuvante del CO₂ el cual es no polar, con la finalidad de aumentar la polaridad total y con esto arrastrar más sustancias

polares como los curcuminoides. El uso de cosolventes incrementará también el rendimiento de la extracción.

Se recomienda la recuperación del CO₂ y su posterior tratamiento que permita recircular éste solvente para hacer más eficiente el proceso, bajar los costos de producción y mejorar el desempeño ambiental.

Desde la perspectiva de producción más limpia, es necesario continuar investigando los materiales residuales post-extracción, dado el potencial como subproductos de alto valor agregado.

Agradecimientos

Se reconoce la valiosa colaboración del estudiante asistente Denis Oviedo Hernández, a la pasante española Edurne Mendaza por su colaboración en la formulación de productos, a Javier Montero del Ceqiatec, a los compañeros de la Escuela de Química Andrés Sánchez, Ricardo Coy, Ricardo Starbird, Johnny Valverde por su valiosa asesoría y a Eric Romero por la asesoría en el tratamiento estadístico de los datos, a Freddy Angulo jefe de planta del Cipa por su gran disposición y acompañamiento en todos los procesos especialmente el liofilizado, a la Coordinadora del Ceqiatec Noemy Quirós y al Coordinador del Cipa Luis Guillermo Romero por facilitar los recursos de los centros de investigación, al señor Carlos Olivares de la Escuela de Ingeniería Forestal y a todo el personal de la Planta Piloto de la Escuela de Agronegocios por poner a disposición equipos de planta y laboratorio, al Ciprona de la Universidad de Costa Rica por los análisis químicos realizados, a la finca Verdenergía Pacífica proveedora de la cúrcuma orgánica.

Referencias

- [1] I. Varela-Rojas, «Sistema nacional de incentivos a la producción más limpia en Costa Rica,» *Tecnología en Marcha*, vol. 22, nº 2, p. 51, 2009.
- [2] J. Flórez Flórez, C. Góngora, I. D. Pacheco y L. Ortegón, «Análisis de consumo de los alimentos funcionales. Exploración de percepción de producto, marca y hábitos de consumo a partir de los cereales light,» *Libre Empresa*, vol. 11, nº 1, pp. 119-136, 2014.
- [3] C. O. Pascual, «ALIMENTOS SALUDABLES. TENDENCIAS DE CONSUMO Y OPORTUNIDADES DE MERCADO,» de *Foro Healthy Food Rioja*, La Rioja, 2017.
- [4] J. Ziegler, «GLOBAL FOOD & DRINK TRENDS 2018,» MINTEL, 2018.

- [5] M. Nagpal y S. Sood, «Role of curcumin in systemic and oral health: An overview,» *Journal of natural science, biology, and medicine*, vol. 4, nº 1, pp. 3-7, 2013.
- [6] M. U. Akbar, K. Rehman, K. M. Zia, ., M. I. Qadir, M. S. Hamid Akash y M. Ibrahim, «Critical Review on Curcumin as a Therapeutic Agent: From Traditional Herbal Medicine to an Ideal Therapeutic Agent,» *Eukaryotic Gene Expression*, vol. 28, nº 1, pp. 17-24, 2018.
- [7] A. Bagchi, «Extraction of curcumin,» *Journal of environmental science, toxicology and food technology*, vol. 1, nº 3, pp. 1-13, 2012.
- [8] H. Koo, E. McDowell, X. Ma, K. Greer, J. Kapteyn, Z. Xie, A. Descour, H. Kim, Y. Yu, D. Kudrna, R. Wing, C. Soderlund y D. Gang, «Ginger and turmeric expressed sequence tags identify signature genes for rhizome identity and development and the biosynthesis of curcuminoids, gingerols and terpenoids,» *BMC plant biology*, vol. 13, nº 27, 2013.
- [9] R. Freire-González y M. Vistel-Vigo, «Caracterización fitoquímica de la *Curcuma longa* L.,» *Revista Cubana de Química*, vol. 27, nº 1, 2015.
- [10] M. S. Falconi Cedillo, «Elaboración y control de calidad de comprimidos fitofarmacéuticos a base de extractos de manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.), Ajo (*Allium sativum*) y Jengibre (*Zingiber officinale*),» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2011.
- [11] Priyanka y S. Khanam, «Influence of operating parameters on supercritical fluid extraction of essential oil from turmeric root,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 188, pp. 816-824, 2018.
- [12] A. Popuri y B. Pagala, «Extraction of curcumin from turmeric roots,» *International Journal of Innovative Research & Studies*, vol. 2, nº 5, pp. 289-299, 2013.
- [13] D. Mulyana Syafitri, J. Levita, M. Mutakin y A. Diantini, «A review: Is Ginger (*Zingiber officinale* var. Roscoe) Potential For Future Phytomedicine?,» *Indonesian Journal of Applied Sciences*, vol. 8, 2018.
- [14] A. Chassagnez-Méndez, N. Machado, M. Araujo, J. Maia y M. Meireles, «Supercritical CO₂ extraction of curcumins and essential oil from the rhizomes of turmeric (*curcuma longa* L.),» *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 39, nº 12, pp. 4729-4733, 2000.
- [15] S. Zhan, S. Li, Q. Zhao, W. Wang y J. Wang, «Measurement and correlation of curcumin solubility in supercritical carbon dioxide,» *Journal of Chemical & Engineering data*, 2017.
- [16] I. Chao, C. Wang, S. Li, W. Ye y Q. Zhang, «Simultaneous quantification of three curcuminoids and three volatile components of *curcuma longa* using pressurized liquid extraction and high performance liquid chromatography,» *Molecules*, vol. 23, nº 7, 2018.
- [17] C. Araújo y L. Leon, «Biological activities of *Curcuma longa* L.,» *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, vol. 95, nº 5, 2001.
- [18] J. González-Albadejo, D. Sanz, R. M. Claramunt, J. L. Lavandera, I. Alkorta y J. Elguero, «Curcumin and curcuminoids: chemistry, structural studies and biological properties.,» *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, vol. 81, nº 4, pp. 278-310, 2015.

- [19] M. Barrero y R. Carreño, «Evaluación de los aceites esenciales de cúrcuma cultivada en Venezuela,» *Agronomía Tropical*, vol. 50, nº 1, pp. 67-81, 2000.
- [20] A. Capuzzo, M. Maffei y A. Occhipinti, «Supercritical fluid extraction of plant flavors and fragrances,» *Molecules*, vol. 18, nº 6, 2013.
- [21] J. Kuwatada, M. Raja y P. Sood, «Turmeric: A Boon to Oral Health,» *INTERNATIONAL JOURNAL OF ORAL CARE & RESEARCH*, vol. 5, nº 3, pp. 338-341, 2017.
- [22] R. Sudarshan y R. S. Vijayabala, «Role of Ginger in Medicine and Dentistry- An Interesting Review Article,» *The Southeast Asian Journal of Case Report and Review (SEAJCRR)*, vol. 1, nº 3, pp. 66-72, 2012.
- [23] Organización Mundial de la Salud (OMS), «Salud Bucodental,» 2012.
- [24] P. F. Waghmare, A. U. Chaudhari, V. M. Karhadkar y A. S. Jamkhande, «Comparative evaluation of turmeric and chlorhexidine gluconate mouthwash in prevention of plaque formation and gingivitis: a clinical and microbiological study,» *J Contemp Dent Pract*, vol. 12, nº 4, pp. 221-4, 2011.
- [25] K. H. Lee, B. S. Kim, K. S. Keum, H. H. Yu, Y. H. Kim, B. S. Chang, J. Y. M. H. D. Ra, B. R. Seo, N. Y. Choi y Y. O. You, «Essential oil of *Curcuma longa* inhibits *Streptococcus mutans* biofilm formation,» *J Food Sci*, vol. 76, nº 9, pp. H226-30, 2011.
- [26] N. S. Mashhadi, R. Ghiasvand, G. Askari, M. Hariri, L. Darvishi y M. R. Mofid, «Anti-Oxidative and Anti-Inflammatory Effects of Ginger in Health and Physical Activity: Review of current evidence,» *International Journal of Preventive Medicine*, vol. 4, nº 1, pp. S36-S42, 2013.
- [27] N. Bhatt, M. I. Waly, M. M. Essa y A. Ali, «Ginger: A functional herb,» pp. 51-71, 2013.
- [28] B. Mekibib y W. Mekuriya, «Review on the medicinal value of ginger for human and animal ailments,» *Journal of Veterinary Science & Technology*, vol. 9, nº 2, 2018.
- [29] S. P. Malu, G. O. Obochi, E. N. Tawo y B. E. Nyong, «Antibacterial activity and medicinal properties of Ginger (*Zingiber officinale*),» *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 15, nº 3, pp. 365-368, 2009.
- [30] M. Aghazadeh, A. Z. Bialvaei, M. Aghazadeh, F. Kabiri, N. Saliyani, M. Yousefi, H. Eslami y H. S. Kafil, «Survey of the anitbiofilm and antimicrobial effects of *Zingiber officinale* (in vitro study),» *Jundishapur Journal of Microbiology*, vol. 9, nº 2, 2016.
- [31] C. Ficker, M. L. Smith, K. Akpagana, M. Gbeassor, J. Zhang, T. Durst, R. Assabgui y J. T. Arnason, «Bioassay-guided isolation and identification of antifungal compounds from ginger,» *Phytother Res*, vol. 17, nº 8, pp. 897-902, 2003.
- [32] M. Park, J. Bae y D. S. Lee, «Antibacterial activity of [10]-gingerol and [12]-gingerol isolated from ginger rhizome against periodontal bacteria,» *Phytother Res*, vol. 22, nº 11, pp. 1446-9, 2008.
- [33] B. A. Ezzat y A. E. Fares, «THE EFFECT OF ORALLY ADMINISTERED CURCUMIN AND /OR GINGER ON ESCHERICHIA COLI INDUCED PERIODONTITIS IN RATS

(HISTOPATHOLOGICAL, IMMUNOHISTOCHEMICAL, AND STEREOMICROSCOPIC STUDY),» *E.D.J.*, vol. 60, nº 2, pp. 1465-1477, 2014.

- [34] T., Morgan H. W., «Ginger (Zingiber Officinale),» *School of Chemistry, University of Bristol*, nº Septiembre, 2016.
- [35] M. Mesa, M. Ramírez-Tortosa, C. Aguilera, A. Ramírez-Boscá y A. Gil, «Efectos farmacológicos y nutricionales de los extractos de Curcuma longa L. y de los curcuminoides.,» *Ars pharmaceutica*, vol. 41, nº 3, pp. 307-321, 2000.
- [36] H. A. Peredo-Luna, E. Palou-García y A. López-Malo, «Aceites esenciales: Métodos de extracción,» *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, vol. 3, nº 1, pp. 24-32, 2009.
- [37] L. M. Chassagnez, N. C. F. Correa y A. A. Meirelles, «EXTRAÇÃO DE OLEORESINA DE CÚRCUMA (Curcuma longa L) COM CO₂ SUPERCRÍTICO,» *Food Science and Technology*, vol. 17, nº 4, 1997.
- [38] P. Saiz de Cos, «Cúrcuma I (Curcuma longa L.),» *Reduca (Biología). Serie Botánica.*, vol. 7, nº 2, pp. 84-99, 2014.
- [39] E. Uquiche y F. Garcés, «Recovery and antioxidant activity of extracts from leptocarpha rivularis by supercritical carbon dioxide extraction,» *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 110, pp. 257-264, 2016.
- [40] M. Herrero, A. Cifuentes y E. Ibañez, «Sub and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: plants, food by products, algae and microalgae,» *Food Chemistry*, vol. 98, pp. 136-148, 2006.
- [41] N. Rozzy y R. Singh, «Supercritical Fluids and the Food Industry,» *Food Science and Food Safety*, 2006.
- [42] R. V. P. Azuola, «Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA),» *Tecnología en Marcha*, Vols. %1 de %220-4, 2007.
- [43] M. G. A. K. T. H. G. Began, «Response surfaces of total yield of turmeric (Curcuma longa) in supercritical carbon dioxide,» *Food Research International*, vol. 33, pp. 341-345, 2000.
- [44] C. R. Bhupesh, G. Motonobu y H. Tsutomu, «Extraction of ginger oil with supercritical carbon dioxide: experiments and modeling,» *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 35, pp. 607-612, 1996.
- [45] Y. y. O. Hajime, «Extraction of Ginger Flavor with Liquid or Supercritical Carbon Dioxide,» *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 8, pp. 156-161, 1995.
- [46] G. Began, M. Coto, A. Kodama y T. Hirose, «Response surfaces of total oil yield of turmeric (Curcuma longa) in supercritical carbon dioxide.,» *Food Research Internacional*, vol. 33, pp. 341-345, 2000.

- [47] D. Kuttigounder, J. Lingamallu y S. Bhattacharya, «Turmeric Powder and Starch: Selected Physical, Physicochemical, and Microstructural Properties,» *Journal of Food Science*, vol. 76, nº 9, pp. 1284-1291, 2011.
- [48] X. Zhao, Q. Ao, F. Du, J. Zhu y J. Liu, «Surface characterization of ginger powder examined by X-ray photoelectron,» *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 79, pp. 494-500, 2010.
- [49] A. Ayala, L. Serna y E. Mosquera, «Liofilización de Pitahata Amarilla (*Selenicereus megalanthus*),» *VITAE de la Facultad de Química Farmacéutica*, vol. 17, nº 2, pp. 121-127, 2010.
- [50] E. Torres, R. Moreno, Y. Tamayo, R. Hermosilla y Z. Guillén, «Estudio de la actividad antibacteriana del aceite esencial de los rizomas de *Curcuma longa* L.,» *Revista Química Viva*, vol. 13, nº 2, pp. 123-129, 2014.
- [51] E. Ríos, G. Giraldo, D. León y A. Moreno, «Estudio del perfil de compuestos volátiles de los rizomas de *Curcuma longa* L. Cultivada en el departamento del Quindío - Colombia.,» *Revista Investigaciones de la Universidad de Quindío*, vol. 18, pp. 32-37, 2008.
- [52] O. Vásquez Ribeiro, A. Alva y J. Marreros Valles, «Extracción y caracterización del aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinale*),» *Revista Amazónica de Investigación*, vol. 1, nº 1, pp. 38-42, 2001.
- [53] B. Gopalan, M. Goto, A. Kodama y T. Hirose, «Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Turmeric (*Curcuma longa*),» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48, nº 6, pp. 2189-2192, 2000.
- [54] S. Sonale y U. Sankar, «Characterization of gingerol analogues in supercritical carbon dioxide (SC CO₂) extract of ginger (*Zingiber officinale*, R.),» *Journal of Food Science and Technology*, vol. 51, nº 11, pp. 3383-3389, 2014.
- [55] F. e. Osorio, «Extraction of curcuminoids from deflavored turmeric (*Curcuma longa* L.) using pressurized liquids: Process integration and economic evaluation,» *University of Campinas, Brazil*, 2014.
- [56] A. e. a. Oyemitan, «Neuropharmacological profile and chemical analysis of fresh rhizomeessential oil of *Curcuma longa* (turmeric) cultivated in Southwest Nigeria,» *Elsevier, Toxicology Reports*, nº 4, pp. 391-398, 2017.
- [57] «Alimentos funcionales, nutricosmética y nutraceuticos,» *Enfoque Alimentos*, vol. 30, pp. 34-37, 2018.