



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

**DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES Y CURCUMINOIDES Y SU
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS RESIDUOS DE DESTILACIÓN DEL
ACEITE ESENCIAL DE *Curcuma longa L.* (CÚRCUMA) EN LOS
LABORATORIOS CIENCIAS DE LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA

AUTOR: DANGERLYN DAYANA GUTIÉRREZ MEDINA

CAMILA ABIGAIL TELLO AYALA

TUTOR: PACO FERNANDO NORIEGA

Quito-Ecuador

2023

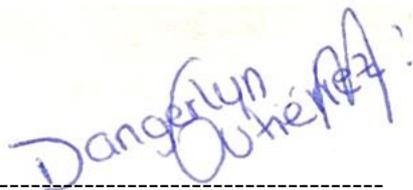
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Dangerlyn Dayana Gutiérrez Medina con documento de identificación N°1723600357 y Camila Abigail Tello Ayala con documento de identificación N°1721293783; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 22 de febrero del año 2023

Atentamente,



Dangerlyn Dayana Gutiérrez Medina

1723600357



Camila Abigail Tello Ayala

1721293783

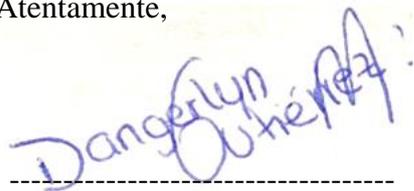
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Dangerlyn Dayana Gutiérrez Medina con documento de identificación No. 1723600357 y Camila Abigail Tello Ayala con documento de identificación No.1721293783, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “determinación de polifenoles y curcuminoides y su actividad antioxidante de los residuos de destilación del aceite esencial de *Curcuma longa L.* (cúrcuma) en los laboratorios ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniería en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de febrero del año 2023

Atentamente,



Dangerlyn Dayana Gutiérrez Medina

1723600357



Camila Abigail Tello Ayala

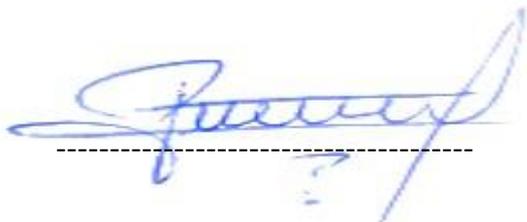
1721293783

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paco Fernando Noriega Rivera con documento de identificación N° 0602421323, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES Y CURCUMINOIDES Y SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS RESIDUOS DE DESTILACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE *Curcuma longa* L. (CÚRCUMA) EN LOS LABORATORIOS CIENCIAS DE LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.”, realizado por Dangerlyn Dayana Gutiérrez Medina con documento de identificación N° 1723600357 y por Camila Abigail Tello Ayala con documento de identificación N° 1721293783, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de febrero del año 2023

Atentamente,



Paco Fernando Noriega Rivera

0602421323

DEDICATORIA

A Dios, por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de mi carrera.

A mis padres Jairo y Cinthya, por haberme forjado como la persona que soy ahora, todos mis logros se los debo a ustedes, por su apoyo incondicional, por enseñarme a ser perseverante y por todo el esfuerzo que hacen por mí. ¡Que nunca me falten!

A mi esposo Darío por su apoyo incondicional durante toda esta travesía. Al regalo más grande y hermoso que Dios me entregó, mi hija Isabel, la persona más importante de mi vida y la que me dio más fuerzas y motivos para salir adelante.

A mi familia, en especial a Jessy, Joa, Yoli y Deya por estar siempre pendientes de mí y celebrar mis logros como suyos. A mi Nachita, porque, aunque tu partida siempre dolerá, sé que desde el cielo me cuidas y me guías para que todo salga bien. ¡Las amo!

Att. Dangerlyn

Yo Camila Tello dedico este trabajo en primer lugar a Dios que me dio la fuerza y las herramientas para que logre culminar mi carrera, porque nunca nos dejó solas, siempre encontrábamos una salida por más difícil que sea la situación, pero le agradezco por haberme otorgado unos padres maravillosos Walter y Alcira que gracias a ellos estoy aquí ahora, por todas las bendiciones que día a día me las dan, porque siempre creyeron en mí, por apoyarme y dándome ejemplo de sacrificio, formación como persona a mi hermano y a mí, infinitas gracias por el esfuerzo que han hecho por mi les quiero mucho. A mi esposo Juan y a mi hijo Emilio que son los pilares fundamentales en mi vida, que día a día me dan amor, fuerza, confianza, felicidad y aliento para no rendirme, y así podemos lograr una meta más juntos los amo.

¡Gracias por confiar y amarme tanto que nunca me falten!

AGRADECIMIENTO

A nuestro tutor PhD. Paco Noriega, por guiarnos durante todo este proceso y transmitirnos sus conocimientos, por su paciencia y por todo el tiempo que empleo en ayudarnos a finalizar nuestra tesis.

A la Ing. Erika Paredes, por ayudarnos durante toda la parte práctica de nuestra tesis, por los consejos y anécdotas y por prestarnos su cuaderno de apuntes.

A los laboratorios ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana, por prestarnos sus instalaciones durante tanto tiempo y porque en el adquirimos muchos conocimientos que son de mucho valor.

A Cami y Dianita por escuchar nuestra defenza mil veces y por todo el apoyo a lo largo de este proceso, por los consejos y las críticas constructivas.

¡Gracias!

RESUMEN

El aumento frecuente de desechos agroindustriales ha generado problemas ambientales, sociales y económicos, por lo que el propósito del presente trabajo de titulación es evaluar la concentración de metabolitos secundarios (polifenoles y curcuminoides), además de determinar la actividad antioxidante presentes en los residuos generados en la destilación del aceite esencial de *Curcuma longa*. La investigación se desarrolló en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, lugar donde se destiló el aceite esencial de *C. longa* con la ayuda de un destilador Clevenger obteniéndose el hidrolato y el pastel residual en el cual se ejecutó la determinación de metabolitos y la evaluación de actividad biológica. La concentración de curcuminoides en el residuo fue de $51,750 \pm 0,06$ mg/g, en el caso de los polifenoles está fue de $0,669 \pm 0,042$ mg/g. La evaluación de la actividad antioxidante por los métodos espectrofotométricos del DPPH y ABTS mostraron valores de CI_{50} de, 13,3 μ g/ml y de 7,0 μ g/ml respectivamente, empleando como solvente extracción etanol al 90%. Los resultados resaltan que en el caso de los curcuminoides la pérdida de estos en el residuo fue muy baja, lo contrario sucede con los polifenoles. En el caso de actividad antioxidante podemos apreciar que la misma se mantiene alta. La investigación nos entrega un residuo que mantiene aún altas cantidades de curcuminoides que pueden ser empleadas posteriormente en varias actividades industriales.

Palabras clave: Residuo agroindustrial, *Curcuma longa*, curcuminoides, actividad antioxidante.

ABSTRAT

The frequent increase of agro-industrial waste has generated environmental, social and economic problems, so the purpose of this titration work is to evaluate the concentration of secondary metabolites (polyphenols and curcuminoids), as well as to determine the antioxidant activity present in the waste generated in the distillation of the essential oil of *Curcuma longa*. The research was carried out at the Life Sciences Laboratories of the Salesian Polytechnic University, where the essential oil of *C. longa* was distilled with the help of a Clevenger distiller, obtaining the hydrolate and the residual cake in which the determination of metabolites and the evaluation of biological activity were carried out. The concentration of curcuminoids in the residue was 51.750 ± 0.06 mg/gram, in the case of polyphenols it was 0.669 ± 0.042 mg/gram. The evaluation of the antioxidant activity by DPPH and ABTS spectrophotometric methods showed IC_{50} values of $13.3 \mu\text{g/ml}$ and $7.0 \mu\text{g/ml}$, respectively, using 90% ethanol as extraction solvent. The results highlight that in the case of curcuminoids the loss of these in the residue was very low, the opposite happens with polyphenols. In the case of antioxidant activity, we can see that it remains high. The research gives us a residue that still maintains high amounts of curcuminoids that can be used later in various industrial activities.

Key words: Agro-industrial residue, *Curcuma longa*, curcuminoids, antioxidant activity.

Índice de contenidos

Introducción.....	1
1 Marco teórico.....	3
1.1 Generalidades, taxonomía y morfología de la <i>Curcuma longa</i> L.	3
1.2 Componentes químicos de la <i>Curcuma longa</i>	4
1.2.1 Polifenoles	5
1.2.2 Curcuminoides.....	7
1.2.3 Actividad antioxidante.....	8
1.3 Aceite esencial	9
1.3.1 Clasificación de aceites esenciales	9
1.3.2 Tipos de destilación de aceites esenciales	10
1.3.3 Efectos ambientales de los residuos	10
1.4 Técnicas de evaluación de metabolitos en <i>C. longa</i>	11
1.4.1 Ensayo Folin- Ciocalteu	11
1.4.2 Espectrofotometría.....	11
1.5 Evaluación de actividad antioxidante	12
1.5.1 Método DPPH.....	12
1.5.2 Método ABTS.....	12
2 Materiales y métodos.....	12
2.1 Localización.....	12
2.2 Material Vegetal.....	12

2.3	Destilación del aceite esencial de <i>Curcuma longa L.</i>	13
2.4	Cuantificación y procesamiento de la biomasa.....	15
2.5	Cuantificación de curcumina total	15
2.5.1	Preparación de la curva de calibración	15
2.5.2	Preparación de la muestra.....	15
2.6	Cuantificación de polifenoles totales	16
2.6.1	Preparación del reactivo de Folin-Ciocalteu	16
2.6.2	Preparación de la curva de calibración	16
2.6.3	Preparación de la muestra.....	17
2.7	Evaluación de la actividad Antioxidante	17
2.7.1	Método DPPH.....	17
2.7.2	Método ABTS.....	20
3	Resultados y discusión.....	24
3.1	Cantidad de residuos recuperados de la destilación.....	24
3.2	Contenido de curcuminoides.....	25
3.3	Contenido de Polifenoles	27
3.4	Actividad Antioxidante.....	27
3.4.1	Método DPPH.....	28
3.4.2	Método ABTS.....	29
4	Conclusiones y Recomendaciones.....	31
5	Bibliografía.....	32
6	Anexos.....	39

Índice de figuras

Figura 1 Estructura química de los polifenoles en <i>Curcuma longa</i> L.	7
Figura 2 Estructura química de los polifenoles en <i>Curcuma longa</i> L.	8
Figura 3 Análisis estadístico de la actividad antioxidante por el método DPPH	28
Figura 4 Análisis estadístico de la actividad antioxidante por el método ABTS+	30

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación Botánica de <i>C. longa</i>	3
Tabla 2 Principales componentes polifenólicos presentes en la <i>Curcuma longa</i> L.	6
Tabla 3 Preparación de las soluciones para determinación de polifenoles totales	16
Tabla 4 Curva de calibración - control positivo DPPH	18
Tabla 5 Preparación de los extractos de DPPH	19
Tabla 6 Curva de calibración - control Positivo ABTS	21
Tabla 7 Preparación de extractos de ABTS	21
Tabla 8 Cantidad recuperada de Biomasa y AE	24
Tabla 9 Peso seco y % de humedad	24
Tabla 10 Curcuminoides presentes en el polvo de cúrcuma fresca	25
Tabla 11 Cantidad de curcuminoides en los residuos provenientes de la destilación	26
Tabla 12 Contenido de polifenoles totales	27
Tabla 13 Valores CI_{50} DPPH y ABTS+	27

Índice de anexo

Anexo 1 Proceso de destilación de la Curcuma longa L.	39
Anexo 2 Procesamiento de los residuos.	40
Anexo 3 Reactivo Folin-Ciocalteu	41
Anexo 4 Cálculos cuantificación de curcuminoides.....	42
Anexo 5 Cálculos cuantificación de polifenoles	43
Anexo 6 Cálculos DPPH	44
Anexo 7 Cálculos ABTS	45

Introducción

El aceite esencial de este rizoma posee propiedades farmacológicas entre ellas: antidiabéticas, antiinflamatorios, antidiarreicas, diuréticas, antirreumáticas, antioxidantes, antimicrobianas, antivirales, insecticidas, entre otras (Arévalo & Sanaguano, 2021). Dichas propiedades se atribuyen a la bioactividad de los compuestos producto de las rutas metabólicas secundarias de la *Curcuma longa*. Generalmente a la fracción no volátil de la especie, contiene principios activos de naturaleza fenólica, destacando a los curcuminoides, colorantes polifenólicos, que han demostrado tener propiedades medicinales muy importantes (Pérez & Carril, 2014).

Estudios sobre el aceite de la cúrcuma condujeron a la identificación de monoterpenos y sesquiterpenos, siendo α -felandreno, sabineno, cineol, borneol, zingibereno y Ar-, α - y β -turmerona los más destacables(Andrés, 2018).

Usar los residuos agroindustriales genera beneficios para el ambiente y la sociedad, debido a que, al reciclarse ayudan con la prevención de la contaminación y la recuperación de ecosistemas alterados, además estos pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de nuevos productos con valor comercial (Mendoza & Martínez, 2018; Vargas & Pérez, 2018). Con las nuevas tecnologías se puede rescatar y dar sustentabilidad a la elaboración de elementos de alto valor agregado, los cuales pueden ser utilizados a nivel industrial. Los residuos agroindustriales presentan un gran potencial para ser utilizados en procesos de transformación química, microbiología o extracción directa, pertenecientes a los procesos de la rama de la Biotecnología que por su factibilidad de adquisición, su composición nutricional y su bajo precio, son fuentes de nitrógeno, carbono y minerales, pudiendo ser utilizados para obtener nuevos

ingredientes alimenticios, biocombustibles, alimentos para animales, antibióticos, enzimas y producción de composta (Mendoza & Martínez, 2018).

Además, sirve utilizar este material como solución a problemáticas medioambientales como la contaminación del suelo y de fuentes hídricas por vertimiento de hidrocarburos y efluentes textiles contaminados con metales pesados que contienen compuestos emergentes o de difícil remoción, en general la utilización de residuos agroindustriales es una alternativa de tratamiento innovador, eficiente y de bajo costo, además que se emplea materiales de amplia disponibilidad y poco aprovechados (Vargas & Pérez, 2018).

De manera específica en Ecuador, la fundación Chankuap, se dedica a la extracción de aceites esenciales de *Curcuma longa* también conocida como yuquilla a través de destilación por arrastre de vapor, generando varios kilogramos de residuo por cada proceso de extracción.

En los residuos recuperados luego de la destilación fueron evaluados la concentración de curcuminoides, polifenoles totales y se determinó la actividad antioxidante por los métodos espectrofotométricos DPPH y ABTS. La finalidad es la de poder reutilizar los residuos como una materia prima medicinal e industrial.

1 Marco teórico

1.1 Generalidades, taxonomía y morfología de la *Curcuma longa* L.

La cúrcuma es una especie vegetal aromática originaria en el sudeste de Asia sin embargo se cultiva en grandes extensiones en zonas subtropicales y tropicales de Australia y América del Sur (Dosoky & Setzer, 2018), a nivel mundial es reconocida por mejorar la coloración de las comidas. El ciclo de cultivo de esta especie depende de la aportación de nutrientes o cuidados que a la misma se le otorgue, alcanzando alturas que varían entre 55 cm a 1 m, las hojas son alargadas de forma acerrada oblonga, conectadas por un peciolo de 20 a 70 cm y el ancho de la hoja es de 10 a 18 cm, las inflorescencias son de color blanco en la base y rosa claro en el restante estas logran una anchura de 5,5 cm y una longitud de 20 cm, los frutos tienen forma de capsula y el interior con 3 divisiones, finalmente los rizomas con un cuerpo principal bulbo o cúrcuma redonda del cual surgen varias ramificaciones secundarias denominadas dedos (Omonte, 2022) la parte interior es de color rojo- anaranjado- amarilla y mientras que la epidermis de color café claro (Cruz, 2022).

En la siguiente tabla (Tabla 1) se describe la clasificación botánica de la *Curcuma longa* L.

Tabla 1 Clasificación Botánica de *C. longa*

Clasificación botánica de <i>Curcuma longa</i> L	
Filo	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Commelinidae</i>

Orden	<i>Zingiberales</i>
Familia	<i>Zingiberaceae</i>
Genero	Cúrcuma
Especie	<i>Curcuma longa</i>

Fuente: (Montaño, 2004)

Normalmente estas se desarrollan a temperaturas que varían entre 20 a 30°C durante el día y la noche, requieren de 12 a 13 horas luz en campos abiertos, con suelo franco, fértil, sin pedregosidad, con materia orgánica, pH de 5-6 y buen drenaje.

Según Soleimani et al., (2018) los beneficios de la cúrcuma son:

- Eliminación de nematodos
- Disminuye el contagio de enfermedades parasitarias
- Mejora la circulación sanguínea
- Libera gases intestinales
- Ayuda a la expulsión de secreciones nasales,
- Estimula el cuerpo,
- Reductor de inflamación muscular
- Alivia los dolores estomacales,
- Mejora la apariencia de la piel.

1.2 Componentes químicos de la *Curcuma longa*

Zhang et al., (2017) alude que hasta el 2017 se han identificado 235 compuestos en *Curcuma longa* como una oleorresina que consta de dos partes, una ligera que contiene aceites esenciales y una pesada de color café que contiene curcuminoides. En el AE

extraído del rizoma prevalecen los monoterpenos y sesquiterpenos especialmente zingibereno, artumerona, α -turmerona, β -turmerona y germacrona.

Según Omonte, (2022) *C. longa* posee un conjunto de compuestos fenólicos denominados curcuminoides, donde el principal y más estudiado compuesto fenólico es la curcumina, este junto con demetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina también compuestos polifenólicos constituyen el complejo azafrán indio 5 con las siguientes características:

- Sustancia de bajo peso molecular ($369,37 \text{ g/mol}$)
- pH en color: amarillo de 2,5 a 7 (medio ácido) mientras que en color rojo >7 (medio básico)
- punto de fusión a 183°C
- soluble en solventes orgánicos como: acetona, etanol, dimetilsulfoxido, metanol, hexano.

El rizoma de *C. longa* está compuesta por 3,5% de minerales (manganeso, selenio, calcio, cobalto, cromo, boro, cobre), 5,1% en grasas, 6,3% en proteínas y 69,4% en carbohidratos; poseen también ácido fenólico y flavonoides siendo promotoras en aplicaciones médicas, además la curcumina posee acción antimicrobiana y antiviral (Dosoky & Setzer, 2018; Perez & Carril, 2014).

1.2.1 Polifenoles

Son compuestos que se originan principalmente en las plantas debido a que se sintetizan en gran cantidad, estas moléculas presentan uno o varios anillos fenólicos en su estructura molecular; existen varias clases y subclases, sin embargo, los grupos principales son: ácidos fenólicos que son derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido

hidroxicinámico, estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (Quiñonez et al., 2012).

Polifenoles presentes en la *Curcuma longa* L.:

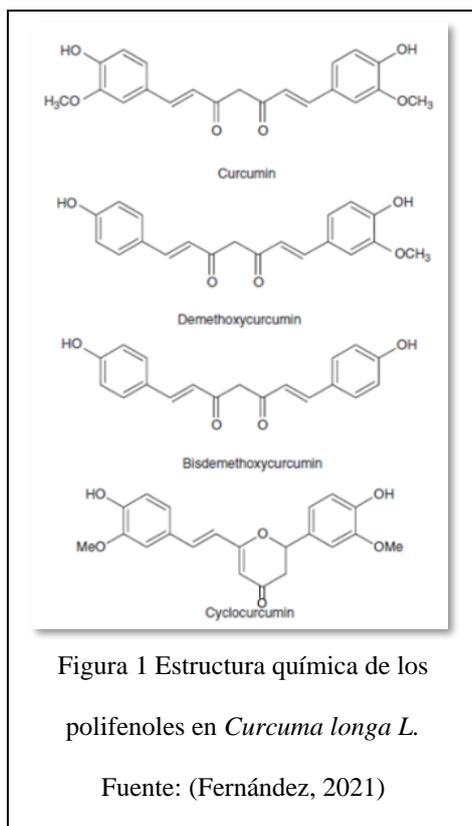
En la tabla 2 se puede observar los componentes polifenólicos de la *Curcuma longa* L. que fito-químicamente se consideran como principales:

Tabla 2 Principales componentes polifenólicos presentes en la *Curcuma longa* L.

Componente	Porcentaje
Curcumina	50-60%
Demetoxicurcumina	20-30%
Bisdemetoxicurcumina	7-20%
Ciclocurcumina	<3%

Fuente: (Quiñonez et al., 2012)

En la figura 1 se podemos observar la estructura química de los compuestos polifenólicos presentes en la *Curcuma longa*.

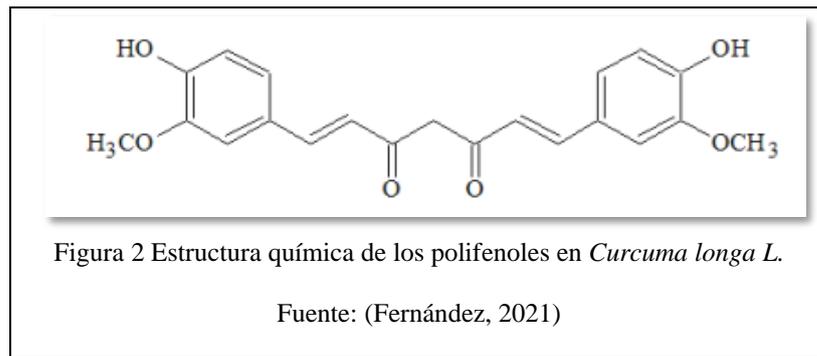


Siendo la curcumina la cual presenta actividad antioxidante (Cosquillo et al., 2020; Fernández, 2021; Perko, 2022)

1.2.2 Curcuminoides

La curcumina es considerada el principio activo de la cúrcuma, sin embargo, existen 5 tipos más que se encuentran en medianas cantidades como lo son diferuloimetano, bis-desmetoxicurcumina, curlona, dihidroxiturmerona, dihidroxicurcumina.

La curcumina es el principal componente del rizoma de la cúrcuma, es considerado un compuesto fenólico y se utiliza especialmente como especia o colorante en la medicina china (Machado et al., 2019).



(Dosoky & Setzer, 2018) menciona que ha logrado identificar en el aceite esencial de la cúrcuma varios de sus constituyentes como:

- ar-turmerona, α -turmerona y β -turmerona en grandes cantidades,
- α -zingiberene, curlone, ar-curcumene, α -santalene, santalene, β -sesquiphellandrene, (Z)- β -ocimeno, β -bisaboleno, β -cariofileno, α -felandreno, (Z)- β -farneseno, óxido de humuleno, β -selineno, óxido de cariofileno, (E)- γ -atlantona, 1,8-cineol y terpinoleno, en cantidades considerables

1.2.3 Actividad antioxidante

La curcumina tiene propiedades antioxidantes que favorece la eliminación de los radicales libres e inhibe la peroxidación lipídica, protegiendo así a la célula de macromoléculas incluyendo al ADN de procesos de daño oxidativo (Biaison, 2021), también tienen la capacidad de quelar metales como el zinc, cobre y el hierro, los cuales son los principales elementos en generar radicales libres, esta propiedad se debe a la estructura fenólica que presenta la curcumina, así como la posición y el número de grupos hidroxilos (Fernández, 2021).

1.3 Aceite esencial

Los aceites esenciales son sustancias líquidas aceitosas extraídas de partes de especies vegetales presentes en tejidos y órganos de frutos, flores, hojas, tallo, raíz, semilla, corteza, poseen características aromáticas, volátiles y no grasos, son conocidas principalmente por su capacidad antimicrobiana y antioxidante y por su diversa actividad biológica, utilizadas con frecuencia en industria farmacéutica y alimenticia (Medina, 2022).

Los aceites esenciales son conocidos por las diversas actividades biológicas que poseen, incluidas las propiedades antimicrobianas y antioxidantes, y se han utilizado durante mucho tiempo en productos farmacéuticos y cosméticos.

1.3.1 Clasificación de aceites esenciales

Según el libro de procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas (Rodríguez et al., 2012), se clasifican por consistencia:

- Esencias fluidas que son líquidos fluidos a temperatura ambiente.
- Bálsamos son poco volátiles y espesas con tendencia a sufrir polimerización.
- Oleorresinas son líquidos muy viscosos, con aroma concentrado a planta

Por origen:

- Naturales: son obtenidas directamente del órgano o tejido de la planta y no sufren posteriores alteraciones físicas ni químicas, debido a su rendimiento son muy costosas.
- Artificiales: se logran tras un proceso de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes.
- Sintéticos: se obtienen mediante procesos de síntesis químicas.

1.3.2 Tipos de destilación de aceites esenciales

- Extracción con fluidos supercríticos: se utiliza dióxido de carbono a condiciones controladas que permite una rápida inmersión dentro del material vegetal y por resultado se logra remover el solvente y el producto deseado (Medina, 2022).
- Extracción por prensado: se somete al fragmento vegetal a una fuerza mecánica que exprime el aceite esencial, que finalmente se filtra y purifica (Palacios & Zúñiga, 2022).
- Enfleurage: se utiliza grasas naturales para suavizar la fracción vegetal a una temperatura constante, se agrega gran cantidad de partes vegetales y alcohol hasta obtener el producto, se logra obtener un 80% de rendimiento (Medina, 2022).
- Extracción por arrastre con vapor: se utiliza vapor en condiciones específicas de sobrecalentamiento, así el material vegetal y agua se encuentran en contacto directo generando el vapor que por condensación se separa el aceite del agua (Medina, 2022; Palacios & Zúñiga, 2022).

1.3.3 Efectos ambientales de los residuos

Según la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) estima que a nivel mundial se desecha la tercera parte de residuos agroindustriales aproximadamente, razón por la que en los últimos años se ha visto el interés de varios investigadores desarrollar estudios y a su vez productos en base a estos rechazos a bajo costo minimizando el impacto ambiental, y promocionando cultura de cuidado medio ambiental (Cabascango et al., 2021).

En Ecuador se considera que uno de los líderes de la economía es el sector agrícola, a pesar de todo, no exime la generación de consecuencias ambientales. Los residuos agroindustriales son de naturaleza orgánica generalmente semisólida, pequeñas porciones

son utilizadas para la elaboración de alimentos para animales, obtención de energía por procesos de combustión, preparación de compost, entre otros productos, sin embargo, la mayor parte de estos residuos son quemados a campo abierto ocasionando daños severos a medios abióticos, bióticos, además de ocasionar problemas socioeconómicos (Silva et al., 2021).

1.4 Técnicas de evaluación de metabolitos en *C. longa*

1.4.1 Ensayo Folin- Ciocalteu

Según Lugo et al., (2014) & Omonte, (2022) este método es utilizado para cuantificar el contenido de polifenoles totales, para el mismo se prepara soluciones de diferentes concentraciones de ácido tánico (20, 30, 40, 60, 80) μg , los resultados se expresan en:

$$\text{mg } C_{76}H_{52}O_{46} / \text{g de peso fresco}$$

1.4.2 Espectrofotometría

Según Moya, (2021) la espectroscopia UV-Visible se fundamenta en la radiación electromagnética que una muestra puede absorber o transmitir en rango UV-Vis. El rango de longitudes de onda que corresponden a esta región está establecido de entre 195-450 nm, en este rango se pueden identificar grupos funcionales con estructuras de almenas un doble enlace, dobles enlaces aislados, triples enlaces, grupos carbonilos entre otros. En la región visible nos arroja como resultado la onda del color de la muestra que se está transmitido mas no que absorbe. La curcumina es responsable del color amarillo característico de la cúrcuma por ende es considerado un compuesto cromóforo, el rango para la absorción de luz se establece entre 400-550 nm.

1.5 Evaluación de actividad antioxidante

1.5.1 Método DPPH

Método con el que se manifiesta la presencia de antioxidantes por cambio de coloración, se basa en la reducción de la absorbancia medida a 515 nm del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) (Lugo et al., 2014).

1.5.2 Método ABTS

Con este método se evalúa la actividad antioxidante que posee los residuos de Aceite esencial de *C. longa*, se basa en la reducción de la coloración (verde/azul) producida por la reacción del radical ácido 2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolona-6-sulfónico (ABTS) con el antioxidante presente en la muestra (Lugo et al., 2014).

2 Materiales y métodos

2.1 Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana campus el Girón, ubicado en Av. Isabel la Católica N.23-52 y Madrid, Quito - Ecuador.

2.2 Material Vegetal

Los rizomas de *Curcuma longa L.* fueron adquiridos en el mercado de Puenbo, ubicado en el cantón Quito, parroquia Puenbo.

2.3 Destilación del aceite esencial de *Curcuma longa L.*

A escala de laboratorio se utiliza el método de extracción de aceites esencial por arrastre de vapor mediante el aparato tipo Clevenger ilustrado en la figura 3, que consiste en un sistema cerrado, donde se coloca el material vegetal troceado y agua hasta los $\frac{3}{4}$ de capacidad del recipiente, a este se le somete a calentamiento durante el tiempo que dura el proceso de la extracción. El agua al ebulir genera vapor que al entrar en contacto con el material vegetal extrae los componentes volátiles, así este complejo fluye hasta el condensador, se condensa y se enfría hasta temperatura ambiental, y al salir forma una emulsión líquida inestable la cual se separa con la trampa Clevenger que desplaza el agua y favorece la acumulación del aceite (González, 2019).

Los productos obtenidos tras la extracción del aceite esencial son: el Aceite esencial de cúrcuma, el hidrolato y el pastel agroindustrial, donde la materia prima para esta investigación es el último, debido a que varias industrias desechan este material, generando daño ambiental.

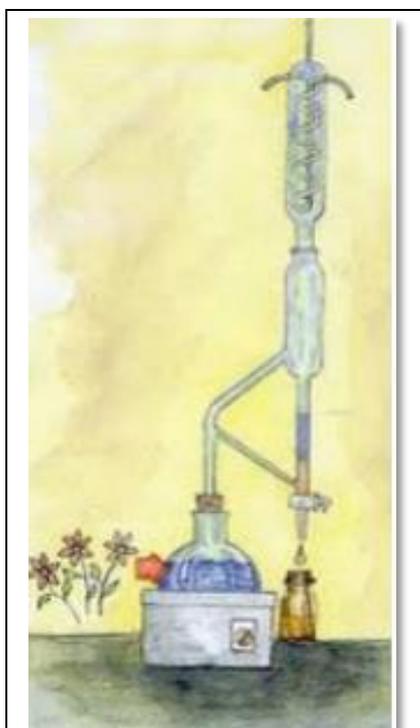


Figura 3 Destilador Clevenger
Fuente: (Gonzalez et al., 2015)

Se realizó una replicación a baja escala del proceso de destilación de aceite esencial de *Curcuma longa L.* de la fundación “Chankuap Recursos para el futuro”, se llevó a cabo una destilación por arrastre de vapor con ayuda de un destilador Clevenger utilizando 80 g del rizoma finamente picado, 200 mL de agua destilada, el proceso se realiza durante 8 horas seguidas.

2.4 Cuantificación y procesamiento de la biomasa

Una vez finalizado el proceso de destilación por arrastre de vapor se obtuvo la biomasa y el aceite esencial. Para la presente investigación se utilizó la biomasa en la que se observó el hidrolato y el pastel residual, se procedió a separar ambos residuos con ayuda de un colador para facilitar el proceso de secado, proceso que se realizará en una estufa marca ESCO_OFA-54-8 a 60 °C durante 12 horas a 60 °C.

2.5 Cuantificación de curcumina total

La curcumina es la responsable de la coloración naranja del rizoma de cúrcuma, (Castillo, 2021) es soluble en solventes orgánicos tales como alcohol metílico y acetona, según Goel, (2008) por espectrofotometría la absorbancia máxima para cuantificar curcuminoides es de 430 nm.

2.5.1 Preparación de la curva de calibración

Para la curva de calibración se preparó una solución madre de 1000 ppm, con 10 mg de cúrcuma y se aforó a 10 mL con metanol, se realizaron soluciones de (0; 0,5; 1; 2,5; y 5) mL de la solución madre y aforó a 10 mL con alcohol metílico.

Se midió la absorbancia de la curva patrón a 425 nm en el espectrofotómetro UV-vis marca JASCO_V-730, tomando en cuenta que las diluciones más bajas se miden primero.

2.5.2 Preparación de la muestra

Para la muestra se disolvió 0,1 g del residuo en 25 mL de metanol, se llevó a reflujo durante 60 minutos, se filtró y aforó a 25 mL con alcohol metílico.

Se cuantificó curcuminoides totales con el espectrofotómetro UV-VIS marca JASCO_V-730, a 425 nm, utilizando como blanco metanol.

2.6 Cuantificación de polifenoles totales

2.6.1 Preparación del reactivo de Folin-Ciocalteu

El ensayo de Folin-Ciocalteu es usado para cuantificar fenoles totales en especies/productos vegetales, los compuestos fenólicos reaccionan dando una coloración azulada que puede ser medida a 765 nm en un espectrofotómetro UV-VIS (García et al., 2015). Se preparó el reactivo de Folin-Ciocalteu pesando 10 g de tungstato de sodio, 0,2 g de ácido fosfomolibdico, 5 mL de ácido fosfórico al 85% y 75 mL de agua destilada; Se disolvió todos los materiales en el agua destilada, se llevó a reflujo durante 2 horas dentro de una Sorbona marca Casarúa Areditecnici-BREVETTATO, pasado este tiempo se aforó a 100 mL con agua destilada, se filtró y reservó en refrigeración en un frasco ámbar.

2.6.2 Preparación de la curva de calibración

Se preparó la curva de calibración con 5 soluciones de ácido gálico 0,1 mg/mL: (0,1; 0,2; 0,5; 1 y 2) mg más 10 mL de etanol absoluto, se realizaron las soluciones patrón agregando 0,05 mL de las soluciones en frascos ámbar para evitar la degradación junto con 3,95 mL de agua destilada y 0,25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, también se realizó un blanco con 4 mL de agua destilada y 0,25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu.

Se dejó reposar durante 2 minutos y se agregó 0,75 mL de Na_2CO_3 al 20% tibio, se dejó reposar durante 2 horas en completa oscuridad, y se procedió a medir la absorbancia en el espectrofotómetro UV-VIS marca JASCO_V-730 a 764 nm en celdas de plástico. Las cantidades serán descritas en la tabla 3.

Tabla 3 Preparación de las soluciones para determinación de polifenoles totales

Muestra	Sn de Ácido gálico (mL)	Reactivo de Folin-Ciocalteu (mL)	Agua destilada (mL)	Na ₂ CO ₃ (mL)
Blanco	-	0,25	4,00	-
Estándar 1	0,05	0,25	3,95	0,75
Estándar 2	0,05	0,25	3,95	0,75
Estándar 3	0,05	0,25	3,95	0,75
Estándar 4	0,05	0,25	3,95	0,75
Estándar 5	0,05	0,25	3,95	0,75

Elaborado por: Las autoras, 202

2.6.3 Preparación de la muestra

Se prepararon los extractos de *Curcuma longa L.* utilizando 100 mg de la especie vegetal con 10 mL de etanol en diferentes concentraciones: 20%, 50%, 90%. Se sometieron los extractos a ultrasonido durante 20 minutos y se realizó un filtrado con jeringa para eliminar impurezas.

Preparamos 3 soluciones con 0,05 del extracto, 3,95 mL de agua destilada, 0,25 del reactivo de Folin-Ciocalteu, se esperaron 2 minutos y se agregaron 0,75 mL de Na₂CO₃ al 20% tibio, inmediatamente se procedió a medir la absorbancia en el espectrofotómetro UV-VIS marca JASCO_V-730 a 764nm en celdas plásticas.

2.7 Evaluación de la actividad Antioxidante

2.7.1 Método DPPH

Para la determinación de la actividad antioxidante por el método del DPPH, se elaboró de la solución de 1×10^{-4} M de DPPH para lo que se pesó 9,86 mg de DPPH en una balanza

analítica marca Mettler Toledo-MEZ04T/00 y se procedió a aforar a 250 mL con etanol absoluto.

Preparación de la muestra

Se prepararon soluciones de 100 mg de la especie vegetal con 10 mL de etanol a diferentes concentraciones (20%, 50% y 90%) colocamos en frascos ámbar cubiertos con papel aluminio para evitar la degradación, se llevó al ultrasonido durante 20 minutos y se realizó un filtrado con jeringa para eliminar impurezas.

Se toma como blanco etanol absoluto, para la preparación de la curva de calibración se realizó una solución madre de 200 ppm de ácido ascórbico (2 mg del reactivo en 10 mL de etanol), se realizaron 7 soluciones, tomando las cantidades descritas en la tabla 4.

Tabla 4 Curva de calibración - control positivo DPPH

Solución	Ác. ascórbico (μL)	Etanol 96% (μL)	DPPH (mL)
A	-	200	1,8
B	5	195	1,8
C	10	190	1,8
D	20	180	1,8
E	50	150	1,8
F	100	100	1,8
G	200	-	1,8

Elaborado por: las autoras, 2022

Para la lectura de los extractos se realizaron 7 soluciones de las muestras antes realizadas, las cantidades utilizadas para la preparación de las mismas se describen a continuación en la tabla 5.

Tabla 5 Preparación de los extractos de DPPH

Solución	Ext. vegetal (μL)	Etanol 96%(μL)	DPPH (mL)
A	-	200	1,8
B	5	195	1,8
C	10	190	1,8
D	20	180	1,8
E	50	150	1,8
F	100	100	1,8
G	200	-	1,8

Elaborado por: las autoras, 2022

Los extractos preparados se colocaron en frascos ámbar, para luego llevarlos a agitación durante 30 minutos a 1200 rpm en el Shaker orbital Thermo Scientific-4310. Los estándares y las muestras se midieron en el espectrofotómetro UV-vis JASCO_V-730 a 517nm (López, 2004).

Se calculó el porcentaje de inhibición de la oxidación por medio de la ecuación tomada de Correa, (2012)

$$\%INH = \left(\frac{AB - AM}{AB} \right) \times 100$$

Donde:

% INA = % de inhibición del radical ABTS

AB = absorbancia del blanco

AB = absorbancia de las muestras

2.7.2 Método ABTS

Preparación de la muestra

En balones de aforo de 10 mL cubierto con papel aluminio, se prepararon 3 soluciones de 100 mg de la especie vegetal con 5 mL de etanol en diferentes concentraciones: 20%, 50%, 90%, se llevó al ultrasonido por un tiempo de 20 minutos y se realizó un filtrado con jeringa para eliminar impurezas.

Preparación de la solución madre

Se preparó una solución madre de ABTS 2 mM, para lo que se pesó 27,5 g de ABTS en una balanza analítica Mettler Toledo-MEZ04T/00 y se aforó a 25 mL con agua destilada. La solución obtenida logró un color azulado y se mantuvo estable por 48 horas.

Preparación de la solución de $K_2S_2O_8$

Se preparó una solución de $K_2S_2O_8$ (persulfato de potasio) 70 mM, para lo que se pesó 188.2 mg de $K_2S_2O_8$ en una balanza analítica Mettler Toledo-MEZ04T/00 y se aforó a 10 mL con agua bidestilada.

Preparación del ABTS radicalizado

Para radicalizar el ABTS se partió de la solución madre de ABTS y se añadió 250 μ L de $K_2S_2O_8$, se agitó en el vórtex y se guardó en obscuridad durante 6 horas para que se radicalice.

Pasado este tiempo se tomó 2 mL del ABTS radicalizado y se agregó etanol absoluto (aproximadamente 80 mL) hasta obtener una absorbancia de $0,70 \pm 2$ a en 734 nm de longitud de onda (López, 2004).

Para la preparación del blanco se tomó 2,7 mL de la solución preparada ABTS y se añade 0,3 mL de etanol absoluto, se procedió agitar.

La curva de calibración se obtuvo a partir de una solución madre de 200 ppm de ácido ascórbico, se realizaron 7 soluciones, tomando las cantidades descritas en la tabla 6.

Tabla 6 Curva de calibración - control Positivo ABTS

Solución	Ác. ascórbico (μL)	Etanol 96% (μL)	ABTS (mL)
A	-	200	1,8
B	5	195	1,8
C	10	190	1,8
D	20	180	1,8
E	50	150	1,8
F	100	100	1,8
G	200	-	1,8

Elaborado por: Las autoras, 2022

Para la preparación de los extractos se realizaron 7 soluciones de cada muestra, las cantidades utilizadas para la preparación de las soluciones de ABTS se describen en la tabla 7

Tabla 7 Preparación de extractos de ABTS

Solución	Ext. vegetal (μL)	Etanol 96%(μL)	ABTS (mL)
A	-	200	1,8
B	5	195	1,8
C	10	190	1,8
D	20	180	1,8
E	50	150	1,8
F	100	100	1,8
G	200	-	1,8

Elaborado por: las autoras, 2022

La absorbancia para el blanco, la curva de calibración y los extractos se midió en el espectrofotómetro UV-vis JASCO_V-730, a 734 nm.

Se calculó el porcentaje de inhibición de la oxidación por medio de la ecuación descrita por Omari et al., (2019)

$$\%INH = \left(\frac{AB - AM}{AB} \right) \times 100$$

Donde:

% INA = % de inhibición del radical ABTS

AB = absorbancia del blanco

AB = absorbancia de las muestras

3 Resultados y discusión

3.1 Cantidad de residuos recuperados de la destilación

La fundación “Chankuap recursos para el futuro” procesa en cada destilación 400 Kg de *Curcuma longa L.* para elaborar aceite esencial de la misma, Al ser un proceso a baja escala se realizó la destilación con 80 g de *Curcuma longa L.*, luego del proceso de destilación se obtuvo el aceite esencial y la biomasa (Pastel residual e hidrolato), en la tabla 8 se describen las cantidades recuperadas de cada muestra.

Tabla 8 Cantidad recuperada de Biomasa y AE

Muestra	Aceite esencial (mL)	Pastel residual (g)	Hidrolato (mL)
Destilación 1	0,60	76,08	196,00
Destilación 2	0,45	77,10	194,00
Destilación 3	0,49	76,90	193,00
Destilación 4	0,57	76,94	196,00

Elaborado por: Las autoras, 2022

Se determinó el peso seco y el porcentaje de humedad obtenido de cada muestra de pastel residual, los valores obtenidos se indica en la tabla 9.

Tabla 9 Peso seco y % de humedad

Muestra	Pastel residual (g)	Peso seco (g)	% Humedad (MC)
Destilación 1	76,08	8,93	4,32%
Destilación 2	77,10	9,46	5,51%
Destilación 3	76,90	8,96	6,64%
Destilación 4	76,94	9,24	4,71%

Elaborado por: Las autoras, 2022

3.2 Contenido de curcuminoides

La curcumina es el principal componente de la cúrcuma estando presente en la planta en un 77%, es soluble en etanol, metanol y ácido acético y es insoluble en agua (Sánchez et al., 2022). Al analizar los residuos de cúrcuma provenientes del proceso de destilación por arrastre de vapor con cúrcuma fresca, se observó que la cantidad de curcuminoides presentes no se ve disminuida luego del proceso de destilación. La cantidad de curcuminoides presentes en el rizoma fresco es de $\bar{x}=52,550 \pm 0,263$ mg/g (tabla 10) mientras que en los residuos tuvimos una media de $\bar{x}= 51,750 \pm 0,065$ mg/g (tabla 11).

Tabla 10 Curcuminoides presentes en el polvo de cúrcuma fresca

Muestra	Porcentaje (%)	Cantidad curcuminoides (mg/g)	\bar{x} (mg/g)
1	5,330	53,300	52,550 \pm 0,263
2	5,250	52,500	
3	5,210	52,100	
4	5,230	52,300	

Elaborado por: las autoras, 2022

Tabla 11 Cantidad de curcuminoides en los residuos provenientes de la destilación

Muestra	Porcentaje (%)	Cantidad curcuminoides (mg/g)	\bar{x} (mg/g)
1	5,170	51,700	51,750 \pm 0,065
2	5,190	51,900	
3	5,180	51,800	
4	5,160	51,600	

Elaborado por: las autoras, 2022

En una investigación realizada por Freire & Vistel (2015) se obtuvo una concentración de curcumina de 62,330 mg/g en cúrcuma fresca, no existe una degradación significativa de este componente en relación con nuestros datos debido a que según García (2018), la curcumina es estable a temperaturas moderadas, entre los 170-180 °C, al estar a altas temperaturas se degrada un 10% de la curcumina inicial en otros compuestos tales como vainillina, guayacol y el isoeugenol.

3.3 Contenido de Polifenoles

En la tabla 12, se observan los valores obtenidos en las muestras, considerando que al 90% se obtuvo la concentración de fenoles totales más alta, ya que a medida que se aumenta el grado alcohólico, los compuestos fenólicos son extraídos en una mayor concentración (Alvis et al., 2012).

Según Correa, (2015) en muestras frescas de cúrcuma obtuvieron 53950 $\mu\text{g/g}$, por lo que la pérdida de polifenoles fue alta, ya que este compuesto es termosensible y según Luna et al., (2016) luego de 10 minutos a temperaturas superiores 70°C existe una degradación acelerada de los fenoles totales (Sepúlveda et al., 2019).

Tabla 12 Contenido de polifenoles totales

	Muestra al 20%	Muestra al 50%	Muestra al 90%
Concentración ($\mu\text{g/g}$)	107,356 \pm 20,454	435,422 \pm 50,901	659,178 \pm 42,463

Elaborado por: las autoras, 2022

3.4 Actividad Antioxidante

Según Omonte (2022) la actividad antioxidante de la cúrcuma es dada gracias a los, polifenoles presentes en la composición química del rizoma, especialmente por la curcumina. El método DPPH es el más preciso para evaluar la oxidación de las muestras (Canelo, et al., 2017).

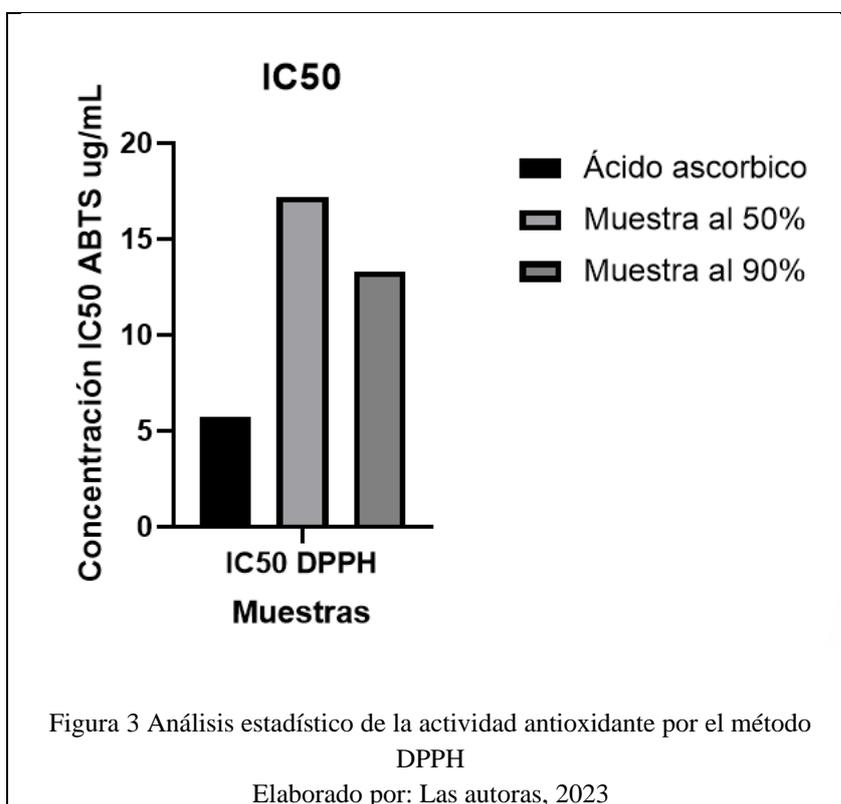
Tabla 13 Valores CI_{50} DPPH y ABTS+

CI_{50} $\mu\text{g/mL}$		
MUESTRA	DPPH	ABTS

ÁCIDO ASCORBICO	5,7	3,0
MUESTRA AL 50%	17,2	12,0
MUESTRA AL 90%	13,3	7,0

Elaborado por: Las autoras, 2023

3.4.1 Método DPPH



Este método consiste en la aceptación de un átomo de hidrógeno por la molécula 1,1 - difenil -2-picrilhidrazina (DPPH) (Ruíz, 2020). Por el método DPPH los resultados se expresan como CI_{50} , los valores más bajos de CI_{50} serán los que tengan la capacidad antioxidante mayor (Omonte, 2022).

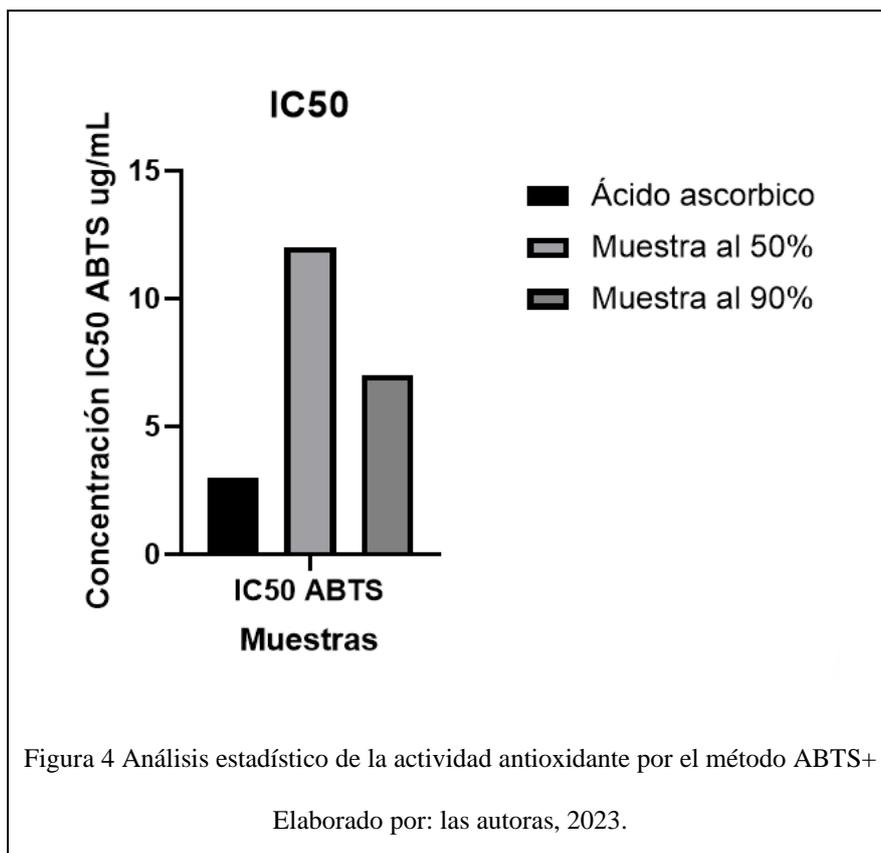
Los valores de CI_{50} obtenidos en el ácido ascórbico fue de $5,7 \pm 0,0 \mu\text{g/mL}$, mientras que en las muestras al 50% se obtuvo un CI_{50} de $17,2 \pm 2,0 \mu\text{g/mL}$ y en la muestra al 90% $13,3 \pm 1,0 \mu\text{g/mL}$ (tabla 13), La muestra al 90% presentan una mayor actividad antioxidante frente a las muestras al 50%, esto debido a que, al estar en presencia de etanol, existe una mayor actividad antioxidante, ya que el DPPH es insoluble en agua (Torres 2017).

Según Borra et al., (2013) la capacidad antioxidante del ácido ascórbico por el método DPPH es de $CI_{50}=1,3 \pm 0,2 \mu\text{g/mL}$, mientras que, el extracto metílico de cúrcuma tuvo un CI_{50} de $1,1 \pm 0,1 \mu\text{g/mL}$.

Otros estudios confirman que la actividad antioxidante por el método DPPH de un extracto de cúrcuma al 96% presentan un CI_{50} de $1,2 \pm 0,1 \mu\text{g/mL}$, mientras que un extracto al 70% presenta un CI_{50} de $1,7 \pm 0,2 \mu\text{g/mL}$ Omonte (2022).

3.4.2 Método ABTS

Como se indica en la tabla 13, los valores de CI_{50} obtenidos en el control fueron de $3,0 \pm 0,0 \mu\text{g/mL}$, mientras que en las muestras al 50% y 90% fueron de $12,0 \pm 1,0 \mu\text{g/mL}$ y $7,0 \pm 1,0 \mu\text{g/mL}$ respectivamente, como se indicó anteriormente, los valores más pequeños de CI_{50} indican mayor capacidad antioxidante.



Según Srividya et al., (2012) por el método ABTS+ el CI_{50} obtenido del extracto etanólico de *Curcuma longa L.* fue de $0,2 \pm 0,01 \mu\text{g/mL}$.

Huamaní (2018), indica que la capacidad antioxidante por el método ABTS tuvo un $CI_{50}=1,5 \pm 0,1 \mu\text{g/mL}$ para extractos etanólicos. Por este método podemos deducir que los componentes que dan la capacidad antioxidante al rizoma son de naturaleza lipofílica e hidrofílica, y que la capacidad antioxidante no se ve afectada gracias a la alta presencia de curcuminoides.

La actividad antioxidante por ambos métodos DPPH y ABTS+, muestran una alta tasa de inhibición de la oxidación, especialmente en las muestras con etanol al 90%.

4 Conclusiones y Recomendaciones

Se aprecia que el proceso de destilación de aceites esenciales, para el caso de particular de *Curcuma longa*, no afecta mayormente a la concentración de curcuminoides presentes en el residuo que esta actividad genera. Esto se debe con seguridad a que los curcuminoides no son moléculas que se degradan a altas temperaturas (cerca de 100 °C), lo que hace posible que permanezcan inalterados en el pastel (residuo).

Los polifenoles (fenólicos simples, flavonoides y otros), si se ven afectados por el aumento de temperatura, esto explica que en el residuo hayan sido detectados a bajas concentraciones, diferentes a las que están indicadas en la literatura científica en la especie *Curcuma longa*.

La actividad antioxidante arroja buenos resultados como CI_{50} , comparados con el patrón sintético, esto con toda seguridad se debe a la alta concentración que aún mantienen los curcuminoides, que como es conocido son moléculas antioxidantes.

Los residuos que deja el proceso de destilación del aceite esencial en la planta *Curcuma longa*, en función de la presencia de curcuminoides, podrían tener un destino medicinal que aproveche sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, un uso industrial en función del potencial colorante de la curcumina y alimentario como condimento.

5 Bibliografía

- Alvis, A., Arrazola, G., & Martínez, W. (2012). Evaluación de la actividad y el potencial antioxidante de extractos hidro-alcohólicos de Cúrcuma (*Cúrcuma longa*). *Informacion Tecnologica*, 23(2), 11–18. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200003>
- Andrés, H. A. I. (2018). *Últimos avances en las aplicaciones terapéuticas de Curcuma longa L. y sus componentes aislados*.
- Arévalo, D., & Sanaguano, H. (2021). *OBTENCIÓN DE COLORANTE NATURAL A PARTIR DE CÚRCUMA (Cúrcuma longa linn) PARA LA INDUSTRIA TEXTIL*”.
- Biason, M. (2021). *CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE MORTADELA DESENVOLVIDA COM MICROCRISTAIS DE CURCUMINA E CARMIM DE COCHONILHA Physical-chemical*.
- Borra, S. K., Gurumurthy, P., Mahendra, J., Jayamathi, K. M., Cherian, C. N., & Chand, R. (2013). *Journal of Medicinal Plants Research Antioxidant and free radical scavenging activity of curcumin determined by using different in vitro and ex vivo models*. 7(36), 2680–2690. <https://doi.org/10.5897/JMPR2013.5094>
- Cabascango, E., Arteaga, K., Sánchez, A., Navarro, B., & Jácome, C. (2021). Técnicas de extracción de celulosa en residuos agroindustriales. *Revista Pertinencia Académica*, 5, 1–12.
- Canelo Piero; Gardini, Y. J. V. J. G. G. (2017). Análisis fitoquímico, actividad antioxidante y hepatoprotectora del extracto acuoso liofilizado de *Curcuma longa* en lesiones hepáticas inducidas con tetraclorometano en ratas albinas. *REVISTA PERUANA DE MEDICINA INTEGRATIVA*.

- Castillo. (2021). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*.
- Correa, D. (2015). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS*.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2869/2/CD000006-TRABAJO%20COMPLETO-pdf>
- Correa, J. O. D. L. J. E. ; S. M. M. H. (2012). Actividad antioxidante en guanábana (*Annona muricata* L.): una revisión bibliográfica. *Boletín Latinoamericano Y Del Caribe de Plantas Medicinales Y Aromáticas. Plantas Medicinales y Aromáticas*, *11*(2), 111–126. <https://doi.org/https://doi.org/0717-7917>
- Cosquillo, M., Placencia, M., Miranda, T., Moreno, M., & Retuerto, M. (2020). Efecto citotóxico y genotóxico in vitro del extracto crudo y etanólico del rizoma de *Curcuma longa* L. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, *37*(3), 454–461.
- Cruz, A. (2022). *Universidad Estatal Península De Santa Elena Facultad De Ciencias Administrativas*. 20.
- Dosoky, N., & Setzer, W. (2018). Chemical composition and biological activities of essential oils of curcuma species. *Nutrients*, *10*(9), 10–17.
<https://doi.org/10.3390/nu10091196>
- Fernández, E. (2021). *Curcuma longa* L., de la cocina al botiquín. 1–38.
- Freire, R., & Vistel, M. (2015). Caracterización Fitoquímica De La Curcuma. *Revista Cubana Química*, *27*(1), 9–18.

- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin- Ciocalteu. *Etsiamn*, 9.
- García, M. (2018). *Aportación al comportamiento de curcumina en la bicapa de liposomas mediante un estudio calorimétrico: influencia sobre parámetros de estabilidad*.
- Goel, A. K. A. B. B. (2008). Curcumin as “Curecumin”: From kitchen to clinic. *Biochemical Pharmacology*, 75(4), 787–809.
- González, M. (2019). *CONTROL DE CALIDAD DE UNA SOLUCIÓN ORAL ANTIBACTERIANA ELABORADA A PARTIR DEL ACEITE ESENCIAL DE Salvia macrophylla Benth (Salvia)*. <https://doi.org/10.37700/0033-2909.I26.1.78>
- Gonzalez-Albadalejo, J., Sanz, D., Claramunt, R. M., Lavandera, J. L., Alkorta, I., & Elguero, J. (2015). Curcumin and curcuminoids: Chemistry, structural studies and biological properties | Curcuminay curcuminoides: Química, estudios estructurales y propiedades biológicas. *Anales de La Real Academia Nacional de Farmacia*, 81(4).
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true%5C&profile=ehost%5C&scope=site%5C&authtype=crawler%5C&jrnl=09767126%5C&AN=144984858%5C&h=QAqQvHezAEUEL9ZvD%2FuFS5sVr4iOQ9vhMIAZZq0ecmvKVKBIHtW3QFaTZ3Fypkg2SdiuWwdD1s6lBIQE26WrJg%3D%3D%5C&crl=c>
- Huamaní, J. (2018). Capacidad antioxidante de extractos del rizoma de *Curcuma longa* L. *REVISTA PERUANA DE MEDICINA INTEGRATIVA*.
<https://doi.org/10.26722/rpmi.2018.34.97>

- José Carlos, S.-A., López Lilia, T., Meza María Guadalupe, G., Erik, O.-S., & Biotecnológica mayo -agosto, F. (2022). *Compuestos curcuminoídes una posible solución natural para tratar el Cáncer*. <https://www.elsevier.com/elsevier>.
- López, M. (2004). Los aceites esenciales Aplicaciones farmacológicas, cosméticas y alimentarias. *Elsevier*, 23(7), 88–91. https://es.lab-hevea.com/downloads/HE_es.pdf%0Ahttps://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-los-aceites-esenciales-13064296
- Lugo, N., Colinas, M., Bautista, C., Vazquez, T., Lozoya, H., & Martinez, M. (2014). Fenoles totales y capacidad antioxidante estimada con los ensayos DPPH / ABTS en rosas en soluciones preservantes * Total phenols and antioxidant capacity estimated with DPPH / ABTS assays in roses on preservative solutions Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 1029–1039.
- Luna, J. C., Juan, R. 1 ;, Barreto, A., Zaira, T. ;, & Marín, A. 3. (2016). DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE PERMITA PREDECIR EL CAMBIO DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES EN UNA MATRIZ ALIMENTARIA SOMETIDA A TRATAMIENTOS TÉRMICOS CON DIFERENTES CONDICIONES FACULTAD DE CIENCIAS AGROINDUSTRIALES PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias y Tecnología de Alimentos*, 24(39).
- Machado, C., Pinto, I., Ferreira, N., Tassoni, J., Dejato, S., Marinello, C., Ehara, M., Pavanelli, W., & Conchon, I. (2019). *Seção artigos de revisões/review paper*. 1, 48–56.
- Medina, C. (2022). *Actividad repelente e insecticida de aceites esenciales de plantas medicinales*. Trabajo (Issue 8.5.2017).

- Mendoza, E., & Martínez, M. (2018). Producción de alfa amilasa por fermentación en estado sólido de residuos agroindustriales (cáscaras de banano) utilizando bacillus subtilis. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Issue 9).
<http://jurnal.unmer.ac.id/jbm/article/download/70/11>[http://repository.unpas.ac.id/5617/6/BAB III nita - revisi.pdf](http://repository.unpas.ac.id/5617/6/BAB%20III%20nita%20revisi.pdf)<http://repository.unpas.ac.id/id/eprint/5617><http://repository.unpas.ac.id/4408/2/SKOM4101-M1.pdf>
- Montaño, C. M. L. (2004). *EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LAS POTENCIALIDADES EMPRESARIALES A PARTIR DE LA CÚRCUMA LONGA EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS*.
- Moya, E. (2021). *Incremento de la solubilidad de la curcumina extraída de la Cúrcuma longa L con mecanismos físicos y mecánicos*.
- Omari, N. el, Sayah, K., Fettach, S., Blidi, O. el, Bouyahya, A., Faouzi, M. E. A., Kamal, R., & Barkiyou, M. (2019). Evaluation of in vitro antioxidant and antidiabetic activities of Aristolochia longa extracts. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019.
<https://doi.org/10.1155/2019/7384735>
- Omonte. (2022a). Actividad Antioxidante, Antibacteriana y Citostática de Extractos de Cúrcuma (Curcuma Longa). *Gaceta Médica Boliviana*, 45(1), 12–16.
<https://doi.org/10.47993/gmb.v45i1.323>
- Omonte, L. (2022b). Actividad Antioxidante, Antibacteriana y Citostática de Extractos de Cúrcuma (Curcuma Longa). *Gaceta Médica Boliviana*, 45(1), 12–16.
<https://doi.org/10.47993/gmb.v45i1.323>

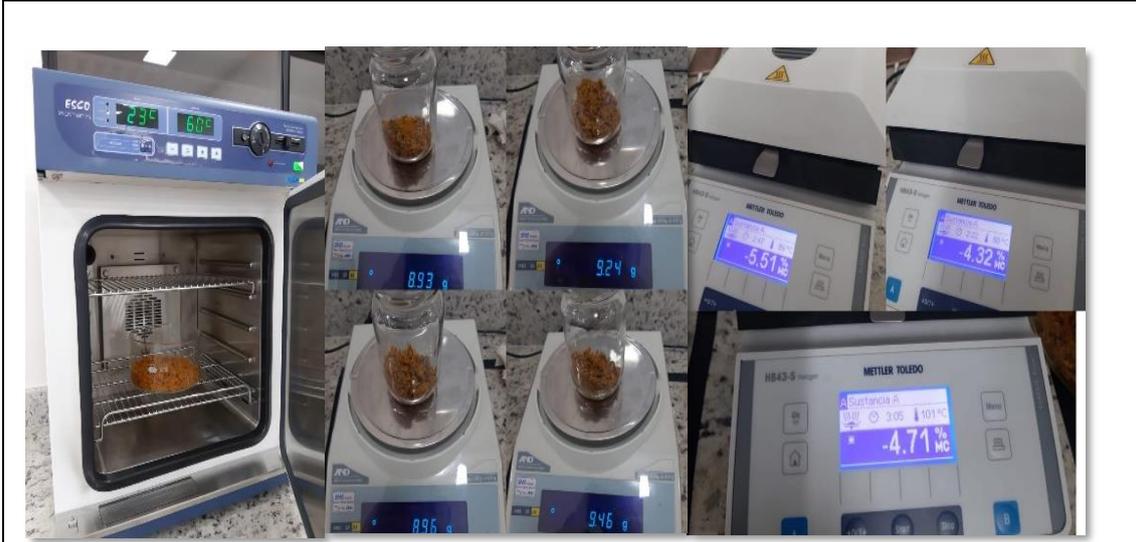
- Palacios, O., & Zúñiga, L. (2022). *Extracción de aceite esencial de lavanda mediante la metodología de arrastre de vapor.*
- Perez, E., & Carril, U. (2014). Cúrcuma I (*Curcuma longa* L.). *REDUCA (Biología)*, 7(2), 84–99.
- Perko, T. (2022). *Isolation, characterization, and antimicrobial activity of curcuminoids from Curcuma longa L.* 347–356.
- Quiñonez, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Vibrations in Physical Systems*, 25(1), 329–334. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418>
- Rodriguez, M., Alcaraz, L., & Real, S. (2012). Procedimientos para la extracción de aceite en plantas aromáticas. *Centro de Investigaciones Biologicas Del Noroeste, S.C.*, 12–17.
- Ruíz, M. (2020, August). Guía de Determinación de la actividad antioxidante. *Universidad Simón Bolívar.*
- Sepúlveda, C. T., & Zapata, J. E. (2019). Effect of Temperature, pH and Solids Content on Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of *Bixa orellana* L. Extract. *Informacion Tecnologica*, 30(5), 57–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500057>
- Silva, J., Peralta, W., & Medina, C. (2021). Agroindustrial Waste As Potential Source for Obtaining Nanocellulose. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(2), 1033–1043. <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i2.9529>

- Soleimani, V., Sahebkar, A., & Hosseinzadeh, H. (2018). Turmeric (*Curcuma longa*) and its major constituent (curcumin) as nontoxic and safe substances: Review. *Phytotherapy Research*, 32(6), 985–995. <https://doi.org/10.1002/ptr.6054>
- Srividya, A. R., Dhanabal, P., Bavadia, P., Vishnuvarthan, J., Natarajan, M., Kumar, S., & Srividya, A. R. (2012). ANTIOXIDANT AND ANTIDIABETIC ACTIVITY OF CURCUMA AROMATICA *Corresponding author. In *IJRAP* (Vol. 3, Issue 3). www.ijrap.net
- Torres Iglesias, R. (2017). *Estudio de un nuevo sensor de compuestos antioxidantes a base de nanopartículas conversoras de luz* [Eu-repo/semantics/masterThesis, Universitat Jaume I]. <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/170106>
- Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, V(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Zhang, L., Yang, Z., Chen, F., Su, P., Chen, D., Pan, W., Fang, Y., Dong, C., Zheng, X., & Du, Z. (2017). Composition and bioactivity assessment of essential oils of *Curcuma longa* L. collected in China. *Industrial Crops and Products*, 109(August), 60–73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.009>

6 Anexos



Anexo 1 Proceso de destilación de la *Curcuma longa L.*
Elaborado por: Las autoras, 2022.



Anexo 2 Procesamiento de los residuos.
Elaborado por: Las autoras, 2022



Anexo 3 Reactivo Folin-Ciocalteu
Elaborado por: las autoras, 2022

RESIUIOS DE CURCUMA			
CURVA DE CALIBRACIÓN			
ppm	ABS		
0	0		
50	0,188		
100	0,4244		
250	1,4820		
500	2,7557		
MUESTRA	ABS	%	mg de curcuminoides /g de residuo
1	3,0033	5,170%	51,700
2	3,0154	5,190%	51,900
3	3,0072	5,180%	51,800
4	2,9976	5,160%	51,600
		PROMEDIO	51,750
		DESV. ESTAD.	0,129
			0,065
			51,750 ± 0,065

CURCUMA FRESCA			
CURVA DE CALIBRACIÓN			
PPM	ABS		
0	0		
50	0,8083		
100	1,4300		
250	2,1868		
500	2,9520		
MUESTRA	ABS	%	mg de curcuminoides /g de residuo
REP 1	3,0969	5,330%	53,300
REP 2	3,0464	5,250%	52,500
REP 3	3,0257	5,210%	52,100
REP 4	3,0373	5,230%	52,300
		X	52,550
		DESV. ESTAD	0,526
			0,263
			52,550 ± 0,263

Anexo 4 Cálculos cuantificación de curcuminoides
Elaborado por: las autoras, 2022.

POLIFENOLOS			
CURVA DE CALIBRACION ÁCIDO GÁLICO			
	mg Ác. galico	Abs	Concentración (ppm)
BLANCO	0	0	0
EST 1	0,1	0,1089	1
EST 3	0,5	0,2793	5
EST 4	1	0,4989	10
EST 5	2	0,9293	20

ABSORBANCIA DE LAS MUESTRAS			
MUESTRA	20%	50%	90%
BLANCO	0	0	0
MUESTRA 1	0,1095	0,4045	0,6800
MUESTRA 2	0,2072	0,5208	0,8019
MUESTRA 3	0,1340	0,5097	0,9033
MUESTRA 4	0,1900	0,6820	0,7387

MUESTRA (µg/g)			
	20%	50%	90%
MUESTRA 1	62,31	324,53	569,42
MUESTRA 2	149,16	427,91	677,78
MUESTRA 3	84,09	418,04	767,91
MUESTRA 4	133,87	571,20	621,60
PROMEDIO	107,356	435,422	659,178
DESVIACIÓN ESTANDAR	40,908	101,801	84,926
	20,454	50,901	42,463
	107,356 ± 20,454	435,422 ± 50,901	659,178 ± 42,463

Anexo 5 Cálculos cuantificación de polifenoles
Elaborado por: las autoras, 2022

VITAMINA C				
Conc mg/mL	Control	Muestra	% Inh Ox	IC50
0	0	0	0	0,0058
0,0005	0,6298	0,5340	15,21	
0,001	0,6298	0,5209	17,29	
0,002	0,6298	0,4039	35,87	
0,005	0,6298	0,1108	82,41	
0,01	0,6298	0,0309	95,09	
0,02	0,6298	0,0294	95,33	

MUESTRAS		
	50%	90%
MUESTRA 1	0,0117	0,0095
MUESTRA 2	0,0184	0,0130
MUESTRA 3	0,0233	0,0137
MUESTRA 4	0,0153	0,0168
PROMEDIO	0,0172	0,0133
DESV. ESTAND.	0,0049	0,003
	0,002	0,001
	0,0172 ± 0,002	0,0133 ± 0,001

MUESTRA	IC50 (mg/mL)	IC50 (µg/mL)
Ácido ascorbico	0,0057 ± 0,000	5,7 ± 0,0
Muestra al 50%	0,0172 ± 0,002	17,2 ± 2,0
Muestra al 90%	0,0133 ± 0,001	13,3 ± 1,0

Anexo 6 Cálculos DPPH
Elaborado por: Las autoras, 2023

VITAMINA C				
Conc mg/mL	Control	Muestra	% Inh Ox	IC50
	0	0		0,003
0,0005	0,6227	0,5890	5,41	
0,001	0,6227	0,5558	10,74	
0,002	0,6227	0,4225	32,15	
0,005	0,6227	0,2408	61,33	
0,01	0,6227	0,1031	83,44	
0,02	0,6227	0,0072	98,84	

MUESTRAS		
	50%	90%
MUESTRA 1	0,0150	0,0093
MUESTRA 2	0,0140	0,0075
MUESTRA 3	0,0108	0,0062
MUESTRA 4	0,0087	0,0060
PROMEDIO	0,012	0,007
DESV. ESTAND.	0,003	0,002
	0,001	0,001
	0,012 ± 0,001	0,007 ± 0,001

MUESTRA	IC50 (mg/mL)	IC50 (µg/mL)
Ácido ascorbico	0,003 ± 0,000	3,0 ± 0,0
Muestra al 50%	0,012 ± 0,001	12,0 ± 1,0
Muestra al 90%	0,007 ± 0,001	7,0 ± 1,0

Anexo 7 Cálculos ABTS
Elaborado por: Las autoras, 2023