



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

**“EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE ENCAPSULACIÓN,
TEMPERATURA Y FLUJO DE ALIMENTACION DE SECADO POR
ATOMIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN CAFÉ
ARÁBIGO *Coffea arábica L.* VARIEDAD CASTILLO”.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

AUTORA: LILIAN JANETH VALENZUELA CORNEJO

DIRECTOR: Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, MSc.

Ibarra-Ecuador

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

EFFECTO DE LOS PARÁMETROS DE ENCAPSULACIÓN,
TEMPERATURA Y FLUJO DE ALIMENTACION DE SECADO
POR ATOMIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE
EN CAFÉ ARÁBIGO *Coffea arábica L.* VARIEDAD CASTILLO

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su

presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA

Ing. Luis Manosalvas, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

FIRMA

Ing. Holguer Pineda Flores, MBA.

OPOSITOR

FIRMA

Ing. Lucia Vásquez, PhD.

OPOSITOR

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100379760-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Valenzuela Cornejo Lilian Janeth		
DIRECCIÓN:	Daniel Benalcázar y Francisco Suarez Veintimilla "san juan"		
EMAIL:	ljvalenzuelac@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06-2524978	CELULAR:	0958956646

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Efecto de los parámetros de encapsulación, temperatura y flujo de alimentación de secado por atomización sobre la actividad antioxidante en café arábigo <i>coffea arábica l.</i> variedad castillo.
AUTOR:	Valenzuela Cornejo Lilian Janeth
FECHA:	11/11/2022
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO () POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial
ASESOR/DIRECTOR:	Ing. Luis Manosalvas, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros. Ibarra, a los once días del mes de noviembre de 2022.

EL AUTORA:



Valenzuela Cornejo Lilian Janeth

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado por la Srta. Valenzuela Cornejo Lilian Janeth, con cédula de ciudadanía 100379760-0, bajo mi supervisión.



Ing. Luis Manosaivas, MSc.
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

A Dios, a mi familia, Papá Segundo y a Jordán

Porque los amo

JANETH. V

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis amados padres Jorge Valenzuela y Carmen Cornejo por su incondicional cariño, comprensión, apoyo moral y económico. Son la gran bendición que Dios me dio.

A mis hermanos, Estefanía, Diana y Bryan, por ser la mano amiga en momentos difíciles, mi inspiración y aliento, mis compañeros de vida.

A mis docentes de la carrera de ingeniería agroindustrial por su sabiduría que permitieron formarme como ser humano y gran profesional, especialmente al Ing. Pedro Sandoval, Ing. Edilma Jurado e Ing. Cecilia Cadena por ser mis guías durante el desarrollo de mi fase experimental. A mi tribunal asesor, Ing. Armando Manosalvas, Ing. Lucia Vásquez e Ing. Holguer Pineda por su valioso asesoramiento en el desarrollo de la tesis.

A mamá Dilma Martínez por su amor, ejemplo y apoyo incondicional, quien bajo la bendición de Dios me permitieron alcanzar esta meta tan anhelada, por ser mi motor fundamental en mi vida.

A la memoria de Papá Segundo, que desde el cielo me da su bendición y protección, su deseo era ver a su hija culminar su formación académica.

A mi novio Jordán quien ha sido uno de los pilares fundamentales en todo este proceso, gracias por su ayuda, paciencia e inmenso amor.

A mi gran amigo Diego Valenzuela por estar siempre a mi lado por su apoyo moral, cariño y por siempre cuidarme.

Gracias a la vida porque a pesar de las diversas dificultades me enseñó a ser perseverante. Por mis amigos que me brindaron todo su apoyo, cariño y creer en mí.

Janeth Valenzuela

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
CAPÍTULO INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 HIPÓTESIS	3
1.4.1 HIPÓTESIS NULA.....	3
1.4.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 CAFÉ.....	4
2.1.1 GENERALIDADES DEL CAFÉ	4
2.1.2 ORIGEN DEL CAFÉ.....	5
2.1.3 PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN EL ECUADOR.....	5
2.1.4 TAXONOMÍA DEL CAFÉ	6
2.1.5 ZONAS CAFETERAS EN ECUADOR.....	6
2.1.6 VARIEDADES DE CAFÉ.....	7
2.1.7 BENEFICIADO DE LOS GRANOS DE CAFÉ	8

2.1.8	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ.....	13
2.2	COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL CAFÉ	14
2.2.1	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	14
2.2.2	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL CAFÉ TOSTADO.....	14
2.2.3	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL CAFÉ SOLUBLE	15
2.2.4	FLAVONOIDES EN EL CAFÉ	15
2.2.5	POLIFENOLES EN EL CAFÉ.....	16
2.2.6	CONTENIDO DE FENOLES EN EL CAFÉ	16
2.2.7	ÁCIDOS CLOROGÉNICOS EN EL CAFÉ	17
2.2.8	ÁCIDO CAFEICO	18
2.2.9	ÁCIDO FERÚLICO	18
2.2.10	ÁCIDO CUMARICO	18
2.2.11	MELANOIDINAS EN EL CAFÉ.....	18
2.2.12	PRODUCTOS DE LA REACCIÓN DE MAILLARD (MPR)	19
2.2.13	Métodos para evaluar la capacidad antioxidante	20
2.3	MICROENCAPSULACIÓN.....	21
2.3.1	MÉTODOS DE ENCAPSULACIÓN.....	21
2.3.2	TÉCNICAS DE ENCAPSULACIÓN	22
2.3.3	MATERIAL ENCAPSULANTE (AGENTES ENCAPSULANTES)	22
2.3.4	ENCAPSULANTE DE ANTIOXIDANTE.....	24
2.3.5	MICROENCAPSULACIÓN DE CAFÉ.....	25
2.4	SECADO	26
2.4.1	FUNDAMENTOS DE LA ELIMINACIÓN DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS.....	27

2.4.2	SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	27
2.4.3	PSICROMETRÍA	34
2.4.4	DIAGRAMA PSICROMÉTRICO.....	38
2.4.5	PARÁMETROS DEL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN QUE INFLUYEN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN LOS POLVOS PULVERIZADOS.	39
2.5	EVALUACIÓN SENSORIAL.....	42
2.5.1	PRUEBAS SENSORIAL EN BEBIDA DE CAFÉ.....	42
2.5.2	MÉTODOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL	43
2.5.3	PRUEBAS HEDÓNICAS.....	43
CAPÍTULO III.....		44
MATERIALES Y MÉTODOS		44
3.1	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	44
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS	45
3.2.1	ESPECIFICACIONES DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN ...	45
3.3	METODOLOGÍA	47
3.3.1	FACTORES EN ESTUDIO.....	47
3.3.2	DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN GRANOS DE CAFÉ ARÁBIGO VARIEDAD CASTILLO TOSTADO....	47
3.3.3	EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MÉTODO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, COMPUESTOS ANTIOXIDANTES Y SENSORIALES DEL PRODUCTO FINAL.....	47
3.4	PROCESO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE CAFÉ EN POLVO ATOMIZADO	49

3.4.1	DISEÑO EXPERIMENTAL	49
3.4.2	MANEJO ESPECIFICO DEL EXPERIMENTO	51
CAPÍTULO IV.....		58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		58
4.1	CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LA MATERIA PRIMA.....	58
4.1.1	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	59
4.1.2	POLIFENOLES TOTALES.....	59
4.1.3	FLAVONOIDES TOTALES	60
4.1.4	ÁCIDOS FENÓLICOS	60
4.2	EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SECADO POR ATOMIZACIÓN	61
4.2.1	ANÁLISIS FÍSICOS.....	61
4.2.2	ANÁLISIS DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES	65
4.2.3	RENDIMIENTO	74
4.2.4	ANÁLISIS DE ACEPTACIÓN SENSORIAL.....	76
4.3	RESULTADO DE BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	82
4.3.1	EVAPORADOR	82
4.3.2	ATOMIZACIÓN	84
CAPÍTULO V		87
CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES		87
5.1	CONCLUSIONES.....	87
5.2	RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFÍA		89
ANEXOS		99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Área de producción y superficie de Café Arábico y Café Robusta en las principales provincias productoras del país	5
Tabla 2. Taxonómica del café	6
Tabla 3. Café Promedios de composición química del grano de café verde, según la especie, porcentaje en base seca.....	13
Tabla 4. Compuestos fenólicos contenidos en diferentes tipos de café variedad arábica, expresado en 100g en base seca.	17
Tabla 5. Método de encapsulación.....	22
Tabla 6. Microencapsulación de Compuestos Bioactivos del Café y Derivados. 25	
Tabla 7. Condiciones climatológicas de las áreas de investigación.....	44
Tabla 8. Materiales y Equipos empleados en la investigación.....	46
Tabla 9. Métodos para la Evaluación de las Características Funcionales de Café Tostado.....	47
Tabla 10. Variables Físicas Evaluadas en el Producto Final	48
Tabla 11. Variables Funcionales Evaluadas en el Producto Final	48
Tabla 12. Factores de estudio de la investigación.....	50
Tabla 13. Variables tratamientos Estadísticos.....	50
Tabla 14. Características del experimento	50
Tabla 15. Esquema ADEVA para un diseño de bloques completamente al azar Ax BxC	51
Tabla 16. Caracterización Funcional del café tostado.....	59
Tabla 17. Análisis de las Propiedades Funcionales Evaluadas en el Producto Final	65
Tabla 18. Contenido de Compuestos Polifenoles Totales (TPC), Flavonoides Totales (TFC) y Actividad Antioxidante (ABTS) de todos los Tratamientos	73
Tabla 19. Prueba Tukey Rendimiento del Café en Polvo	75
Tabla 20. Resumen de Resultados Balance de Masa y Energía en Evaporador ..	83
Tabla 21. Resumen de Resultados Balance de Masa y Energía en Atomizador..	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Café Arábica Variedad Castillo Hoffmann (2018).....	4
Figura 2. Etapas Principales Zonas Cafeteras del Ecuador.....	7
Figura 3. Rasgos Morfológicos de los Granos de café	8
Figura 4. Procesamiento Primario.....	9
Figura 5. Procesamiento Secundario del Café	11
Figura 6. Esquema Aproximado de una Microcápsula	21
Figura 7. Formula Estructural de Maltodextrina.....	23
Figura 8. Perfil del Secado de una Gota Durante el Secado	26
Figura 9. Atomización Spray Dryer	27
Figura 10. Etapas del Proceso de Secado por Atomización.....	29
Figura 11. Curva de Velocidad de Secado	30
Figura 12. Sistema de Secado por Atomización	32
Figura 13. Diagrama Psicrométrico	38
Figura 14. Diagrama de Proceso para la Obtención de Café en Polvo	52
Figura 15. Recepción de Granos Verdes de Café Castillo	53
Figura 16. Tostado de los Granos de Café	53
Figura 17. Bolsas Desgasificadoras de Café.....	54
Figura 18. Molienda de Café Tostado.....	54
Figura 19. Extracción en Frío	55
Figura 20. Concentración a Vacío	55
Figura 21. Proceso de Encapsulación	56
Figura 22. Secado de Café por Atomización	57
Figura 23. Empacado de las Muestras de Café	57
Figura 24. Actividad Antioxidante y Compuestos Fenólicos del Café Tostado..	58
Figura 25. Contenido de Humedad (%)	62
Figura 26. Influencia de los Factores de Estudio sobre el Contenido de Humedad	63
Figura 27. Diagrama de Pareto con Respecto al Contenido de Humedad	64
Figura 28. Contenido de Polifenoles Totales	66
Figura 29. Efectos principales A(Temperatura), B(Concentración) y C (Flujo de	

alimentación) sobre el contenido de polifenoles	67
Figura 30. Influencia de los Factores de Estudio sobre el Contenido de Polifenoles Totales	68
Figura 31. Contenido de Flavonoides Totales	69
Figura 32. Influencia de los Factores de Estudio sobre el Contenido de Flavonoides Totales	70
Figura 33. Contenido de Actividad Antioxidante ABTS+.....	71
Figura 34. Influencia de los Factores de Estudio sobre el Contenido de Actividad Antioxidante	73
Figura 35. Rendimiento del Café en Polvo	74
Figura 36. Grafica de Efectos Principales de Estudio en el Rendimiento de Café en Polvo	75
Figura 37. Evaluación Sensorial de Aceptabilidad de la Bebida de Café.....	76
Figura 38. Puntuaciones del Atributo Color de la Bebida de Café.....	77
Figura 39. Puntuaciones del Atributo Aroma de la Bebida de Café.....	78
Figura 40. Puntuación del Atributo Sabor del Café.....	80
Figura 41. Puntuaciones del Atributo Aceptación General de la Bebida de Café	81
Figura 42. Esquema de un Evaporador de Simple Efecto.....	82
Figura 43. Esquema del Secado por Atomización	85
Figura 43. Esquema del Secado por Atomización	85
Figura 43. Esquema del Secado por Atomización	85

RESUMEN

El café contiene un alto contenido de compuestos bioactivos con actividad antioxidante benéficos para la salud del consumidor, donde la microencapsulación permite proteger los compuestos termosensibles durante el secado. El objetivo del estudio fue evaluar los parámetros de secado por atomización como concentración de encapsulante, temperatura y flujo de alimentación sobre la actividad antioxidante (ABTS⁺), humedad, contenido de polifenoles, flavonoides y aceptabilidad sensorial en *coffea arábica L*, variedad castillo. Además. El estudio permitió determinar que ha mayor concentración de encapsulantes y menor flujo de alimentación obtener una alta retención de polifenoles y flavonoides totales, así como un menor contenido de humedad. Mientras, el incremento de la temperatura de aire de secado (180-90°C) afecto positivamente sobre la actividad antioxidante. Se concluye que los factores en estudio tuvieron un efecto significativo sobre las variables evaluadas. Por lo tanto, el secado por atomización con la ayuda de encapsulantes es una técnica efectiva en café arábigo para la conservación de compuestos bioactivos con buena aceptación sensorial.

Palabras clave: Actividad antioxidante, *coffea arábica*, microencapsulación, secado por atomización.

ABSTRACT

Coffee contains a high content of bioactive compounds with antioxidants that are beneficial for the health of the consumer, whereas microencapsulation protects thermosensitive compounds during drying. The study aimed to evaluate spray-drying parameters such as encapsulant concentration, temperature, and feed flow on antioxidant activity (ABTS+), moisture, polyphenol and flavonoid content, and sensory acceptability in *Coffea arabica* L, Castillo variety. Also. The study allowed us to determine that a higher concentration of encapsulants and a lower feed flow, obtain high retention of total polyphenols and flavonoids, as well as lower moisture content. Meanwhile, the increase in the drying air temperature (180-90°C) positively affected the antioxidant activity. In conclusion, the factors under study had a significant effect on the variables evaluated. Hence, spray drying with encapsulants is an effective technique in Arabica coffee to preserve bioactive compounds with good sensory acceptance.

Keywords: Antioxidant activity, *coffea arabica*, microencapsulation, spray drying.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

En la actualidad, la preferencia en alimentación a nivel mundial no sólo se basa en la composición nutricional de los alimentos, sino también en el disfrute de sus propiedades dados por la presencia de compuestos bioactivos, así surge el interés por los alimentos funcionales dando un beneficio particular en la salud de las personas.

El café es ingerido a nivel mundial, no sólo por su sabor sino también por el aprovechamiento nutricional que ofrece al consumidor, ya que cuenta con una cantidad significativa de compuestos funcionales, una preparación rápida de menor volumen y un mayor tiempo de vida útil, lo cual ha permitido la expansión de su consumo. El secado por atomización se usa ampliamente para obtener café en polvo de alta calidad con la ayuda de los encapsulantes (maltodextrina y goma arábica), es decir conserve sus componentes bioactivos y conserve su sabor. Por otro lado, en el Ecuador gracias a sus diferentes ecosistemas se puede cultivar las dos principales especies de café, *Coffea arábica* L. (café arábigo) y *Coffea canephora* (café robusto) de acuerdo a Santistevan Méndez et al. (2014), menciona que el 68% es cultivado de la especie de café arábica. Mientras, que el 32% representa al café robusta.

Además, los compuestos bioactivos son sensibles a condiciones adversas, incluyendo temperatura, humedad, luz y oxígeno, por lo tanto, estos compuestos son propensos a degradarse durante el procesamiento de secado por atomización conduciendo también a la generación de diversos cambios fisicoquímicos y a pérdidas desde el punto de vista nutracéutico, funcional y sensorial de los alimentos.

Sin embargo, diferentes factores que contribuyen a perjudicar los compuestos bioactivos es el uso de metodologías y parámetros inadecuados, mencionando así la aplicación de altas temperaturas de secado. Para la obtención de café soluble a nivel industrial se emplea elevadas temperaturas entre 230 – 300° C (Filková &

Mujumdar, 2020) ocasionando, pérdidas de los compuestos termosensibles y de las características organolépticas presentes en el café.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El café comparte con distintos frutos y vegetales un conjunto de compuestos bioactivos, además contiene un elevado contenido de antioxidantes en estado natural (Hii & Borém, 2019). Los antioxidantes permiten que no se produzca daños por los radicales libres, así con la presencia de los antioxidantes ocasiona reducir diversas enfermedades provocadas por el estrés oxidativo.

Teniendo en cuenta lo mencionado, surge la importancia de conservar los compuestos bioactivos presente en el café durante el procesamiento, empleando materiales encapsulantes que permiten proteger al producto de diversos factores como es el calor y la humedad, ocasionado así mantener su estabilidad, probióticos, vitaminas, antioxidantes. Además, ayuda a que el alimento pueda someter a diversos procesos resistan a altas temperaturas (Abrahão et al., 2019).

Gracias a la tecnología de microencapsulación por atomización, permite obtener mejores resultados a diferencia cuando no se trabaja con ello. Por lo cual, es un avance en la industria alimentaria, otorgando retener las moléculas bioactivas en el interior de un material de recubrimiento (Abrahão et al., 2019). El secado por atomización es una técnica muy utilizada por su fácil acceso, económico y conveniente para productos termosensibles. Por lo tanto, la utilización de la mezcla de encapsulantes (maltodextrina y goma arábiga) en el proceso de secado presenta mayor eficiencia conservando altas cantidades de diversos compuestos bioactivos (clorogénico, cafeico, ferúlico y cumárico) del café en polvo.

El secado por atomización es una técnica muy utilizada en el ámbito industrial para el procesamiento de alimentos, la tecnología del secado por atomización permite obtener productos en polvos a partir de un líquido concentrado, trabajando con temperaturas de 150°C a 300°C, una de las ventajas que presenta el secado por atomización es el tiempo de secado permitiendo que el diverso producto termosensibles no provoque daños severos en su composición (Abrahão et al., 2019).

Por tal motivo, la investigación pretende disminuir las pérdidas de los compuestos bioactivos del café, con el fin de obtener un producto con una alta actividad antioxidante, requerida por los consumidores y así, alcanzar una alimentación saludable.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de los parámetros de encapsulación, temperatura y flujo de alimentación de secado por atomización sobre la actividad antioxidante en café arábigo *coffea arábica* l. variedad castillo.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la actividad antioxidante y compuestos fenólicos y flavonoides totales de los granos de café arábigo tostado.
- Evaluar el efecto de los parámetros de temperatura, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación de secado por atomización sobre la actividad antioxidante del café soluble.
- Evaluar las características sensoriales (color, olor, sabor) del café soluble en la variedad castillo.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPÓTESIS NULA

Los parámetros de secado por atomización (temperatura, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación) no influyen sobre la capacidad antioxidante del polvo soluble de café.

1.4.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Los parámetros de secado por atomización (temperatura, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación) si influyen sobre la capacidad antioxidante del polvo soluble de café.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CAFÉ

2.1.1 GENERALIDADES DEL CAFÉ

El café es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial luego del petróleo, lo cual permite un papel importante en el área económica y desarrollo del país, otorgando fuentes de trabajo a millones de personas en todo el mundo (Canet Brenes et al., 2016).

Las dos especies más comerciales son *Coffea arábica* L. y *Coffea canephora*. Son originarias de los altos bosques lluviosos del suroeste de Etiopia, hoy día se cultivan en otras regiones del mundo debido a los esfuerzos de producción (Herrera & Lambot, 2017)



Figura 1. Café Arábica Variedad Castillo
Hoffmann (2018)

El café es un arbusto que se cultiva en las regiones tropicales. El cafeto presenta una altura de 6 a 10 metros, además, la recolección se realiza con una poda de tres metros, la coloración de sus hojas es verde oscuro brillante, las raíces son medias profundas, las flores son de color blanco rosa (Pan et al., 2019). El cafeto se describe con tres capas exocarpio, mesocarpio y endocarpio. El exocarpio tiene un color verde, rojo o amarillo dependiendo de su madurez.

Al interior se encuentra el exocarpio, donde una sustancia gelatinosa, conocida como mucilago o pulpa y en su interior retiene un par de semillas (Pan et al., 2019).

El desarrollo de cada una de estas etapas está relacionado con la calidad y el sabor del café en bebida.

2.1.2 ORIGEN DEL CAFÉ

El café en sus comienzos fue considerado como un alimento, el cual se le añadió manteca para el consumo, posteriormente como vino aromático o jugo fermentado y luego se utilizó como medicina y finalmente, los granos de café se hirvieron obteniendo la bebida que conocemos actualmente.

Así mismo, podemos decir que gracias a todas sus modificaciones podemos decir que tiene cualidades tonificantes y medicinales, debido a que la cafeína otorga una acción estimulante permitiendo aumentar la actividad cerebral (Pan et al., 2019).

2.1.3 PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN EL ECUADOR

La producción del café debido a su gran inconsistencia anualmente hay una gran cosecha y atrás de ella le sigue cosechas más pequeñas. En los últimos 50 años se ha observado un incremento en la producción nacional. Permitiendo que el Ecuador exporte todas las variedades de café que todo el año su producción esta activa con precios competitivos (Santistevan Méndez et al., 2014). El café es producido en 20 provincias del Ecuador.

Tabla 1. Área de producción y superficie de Café Arábigo y Café Robusta en las principales provincias productoras del país

Provincia	Café Arábigo		Café Robusta		Área cafetalera nacional	
	Superficie Total	Área de producción	Superficie Total	Área de producción	Superficie Total	Área de producción
Manabí	70 050	52 538	-	-	70 050	52 538
Loja	29 345	22 009	-	-	29 345	22 009
Orellana	-	-	20 000	15 000	20 000	15 000
Sucumbíos	-	-	17 320	12 990	17 320	12 900
Los Ríos	3 520	2 640	6 610	4 958	10 130	7 598
El Oro	9 730	7 298	-	-	9 730	7 298
Napo	-	-	4 800	3 600	4 800	3 600
TOTAL, ECUADOR	135 395	102 318	62 950	47 214	199 335	149 507

Fuente: Andrade (2018)

Ecuador presenta una producción mixta, es decir, cultiva las dos especies comerciales arábica (*Coffea arábica*) y robusta (*Coffea canephora*).

2.1.4 TAXONOMÍA DEL CAFÉ

El café es un producto agrícola muy importante a nivel mundial es una bebida a partir de los granos tostados. Su clasificación taxonómica del café arábigo se la puede apreciar es la tabla2, detallada a continuación:

Tabla 2. Taxonómica del café

Taxonomía	Nombre
Reino	Plantae
Reino unido	Angiosperma
Clase	Magnoliopsida
Sub clase	Asteridae
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Genero	Coffea L
Subgénero	Eucoffea
Especie	Coffea arabica L. Coffea benghalensis Heyne ex Schult Coffea canephora Pierre ex Froehner Coffea congensis Froehner Coffea liberica W. Bull ex Hiern. Coffea stenophylla G. Don

Fuente Andrade (2018)

2.1.5 ZONAS CAFETERAS EN ECUADOR

El café ecuatoriano se produce en 20 provincias de las 22 en el Ecuador tiene una importancia económica en el sector cafetero. Según Galindo Véliz (2011), menciona que la asociación Nacional de Exportadores de Café, ANECAFE, reporta que en la región costa se siembra 112,00 hectáreas (ha), en la sierra 62,000 hectáreas y la amazonia 55,000 ha, Galápagos 1.000 ha.

Gracias a él cultivo cafetero Ecuador presenta una distribución a 14 países presentando una producción mixta debido a que presenta un cultivo arábigo y robusta. El cultivo arábigo se encuentra a nivel del mar de 2.500 metros de altura, pero se produce mejor entre 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar.

La demanda de producción cafetera permite agradecer la mano de obra y fuentes de trabajo como es en la comercialización y transporte, prepara ración del grano para las exportaciones y su industrialización.



Figura 2. Etapas Principales Zonas Cafeteras del Ecuador
Mariluz et al. (2015)

2.1.6 VARIEDADES DE CAFÉ

2.1.6.1 Café robusto

Este tipo de café representa del 2 al 4 % de cafeína, su cultivo es por debajo los 1000 metros debajo del nivel del mar otorgándole diversas plagas y enfermedades. El café robusto presenta un fruto redondo y tarda hasta 11 meses en madurar sus hojas son largas su bebida es fuerte presenta un color oscuro y su sabor es amargo y presenta un mayor contenido de cafeína (Andrade, 2018).

2.1.6.2 Café arábico

Coffea arábica es un café cultivado antiguamente presentando un 75% de su producción gracias a propiedades otorgando un café fino y aromático (Galindo Véliz, 2011). En el Ecuador el cultivo del café se cultiva a temperaturas entre 18 a 23°C a una altitud de 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar. Hoy día, el café arábigo se cultiva en las zonas del sistema montañoso, como en los diferentes sectores de la provincia de Guayaquil y Manabí. De igual manera se obtiene un cultivo muy bien en las estribaciones occidentales y orientales de la cordillera de

los Andes, donde se destacan las zonas de Intag, en Imbabura, entre otros sectores de la provincia de Pichincha y Chimborazo (Franca, A. S., & Oliveira, L. S., 2019).



Figura 3. Rasgos Morfológicos de los Granos de café

Pan et al. (2019)

2.1.6.3 Variedad de café castillo

La variedad castillo es resistente al royales y enfermedades del fruto de café. La variedad castillo es una planta de nivel bajo con ramas largas a diferencia de la variedad caturra y con un índice de productividad alta, en un tueste medio otorga a la bebida de café amargor suave y un aroma intenso (Andrade, 2018).

Esta variedad nació del cruzamiento entre caturra y el híbrido de timor, obteniendo semilla y luego plantas de primera generación la producción depende de la altitud, distancia y temperatura dándole un beneficio obteniendo una producción limpia de café ya que no se aplica fungicidas su tamaño permite entrar a mercados internacionales permitiendo brindar un café de calidad.

2.1.7 BENEFICIADO DE LOS GRANOS DE CAFÉ

Los granos de café representan en las etapas de madurez una heterogeneidad, la recolección del fruto de café se da cuando la mayoría estén maduros cuando presentes una coloración rojo intenso, depende de la variedad, la recolección puede ser manual o mecánica, la recolección manual recolecta únicamente los maduros, la cosecha lleva mucho tiempo y requiere gran mano de obra por lo cual son costos elevados(Pan et al., 2019).

La cosecha mecánica se realiza sacudiendo las ramas de los árboles, todos los frutos del árbol caen independientemente de su estado de madurez, obteniendo varios defectos como es cascaras, ramas.

2.1.7.1 Procesamiento Primario

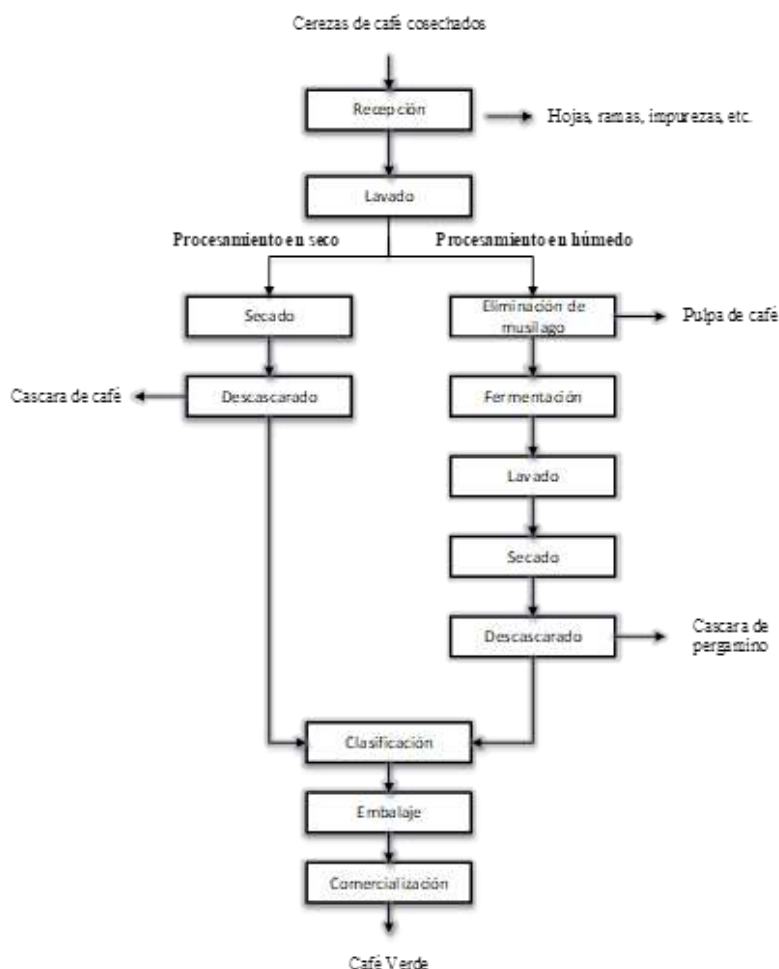


Figura 4. Procesamiento Primario

Pan et al. (2019).

Los frutos rojos de café después de ser cosechados pasan al proceso primario que abarca la separación de granos de café del resto de la fruta y se realiza mediante dos métodos, método seco y método húmedo.

2.1.7.2 Seco del café

Área donde los frutos recién cosechados con una humedad de 30% a 65% se colocan sobre una malla que realiza contacto directo con el sol. El café debe secarse a un 10%-11% tiene una duración de 15 a 20 días y en algunos casos hasta 30 días. Posteriormente del secado se procede a retirar la cascara y se embolsan para posteriores procesamientos y comercialización (Pan et al., 2019).

2.1.7.3 Húmedo del café

Las cerezas del café se clasifican por medio de la flotación, permiten que los frutos de calidad se hundan y los demás floten, después se retira el exocarpio y el mesocarpio de las frutas de café de calidad seleccionadas. El café es sometido a fermentación por 12 a 36 horas en contenedores, seguido se procede a retirar la piel plateada restante y se elimina, aumenta su acidez y baja su pH a 4,5. Pasa al área de lavado para su posterior secado (Farah & dos Santos, 2015).

2.1.7.4 Operaciones de curado

Las operaciones de curado que es sometido el café es el secado, descascarado o pillado y almacenamiento, también se debe tomar en cuenta la limpieza, clasificación por tamaño, densidad, color y almacenamiento en saco estándar de 60 kg. Finalmente, los granos de café están listos para su comercialización (Pan et al., 2019)

2.1.7.5 Procesamiento secundario: Café Soluble

Los granos ya listos para su comercialización pasan por varios procesos conocidos procesamiento secundario que permite generar los productos finales, como es el café tostado y molido y café en polvo o solubles (Pan et al., 2019).

2.1.7.6 Tostado

En el proceso de tostado el café es sometido a un tratamiento térmico, donde pasa por una serie de reacciones químicas, las cuales otorgan unos altos compuestos orgánicos encargados de darles el sabor y aroma característico (Farah & Donangelo, 2006; Huang & Zhang, 2013).

Los granos de café son sometidos a un tostado con temperaturas entre 190°C y 220°C en un tiempo que logre obtener el tostado deseado. Los granos de café al ser sometidos a altas temperaturas se realiza la reacción de Maillard y le otorgan cambios físicos, químicos, estructurales y sensoriales (Gibson, M., & Newsham, P., 2018).

2.1.7.7 Molienda

Los granos de café tostado para el proceso de molienda donde los granos se reducen entre 0,5 a 1,1 mm. Presentando mayor superficie, poros y aumento de

interface entre el agua y el café y así facilitando la transferencia de sustancias. Al momento de la molienda la ruptura de sus tejidos permite un rápido desprendimiento de gas dióxido de carbono y aroma al igual que la humedad, permitiendo así extraer su aroma (Folmer, 2017; Huang & Zhang, 2013).

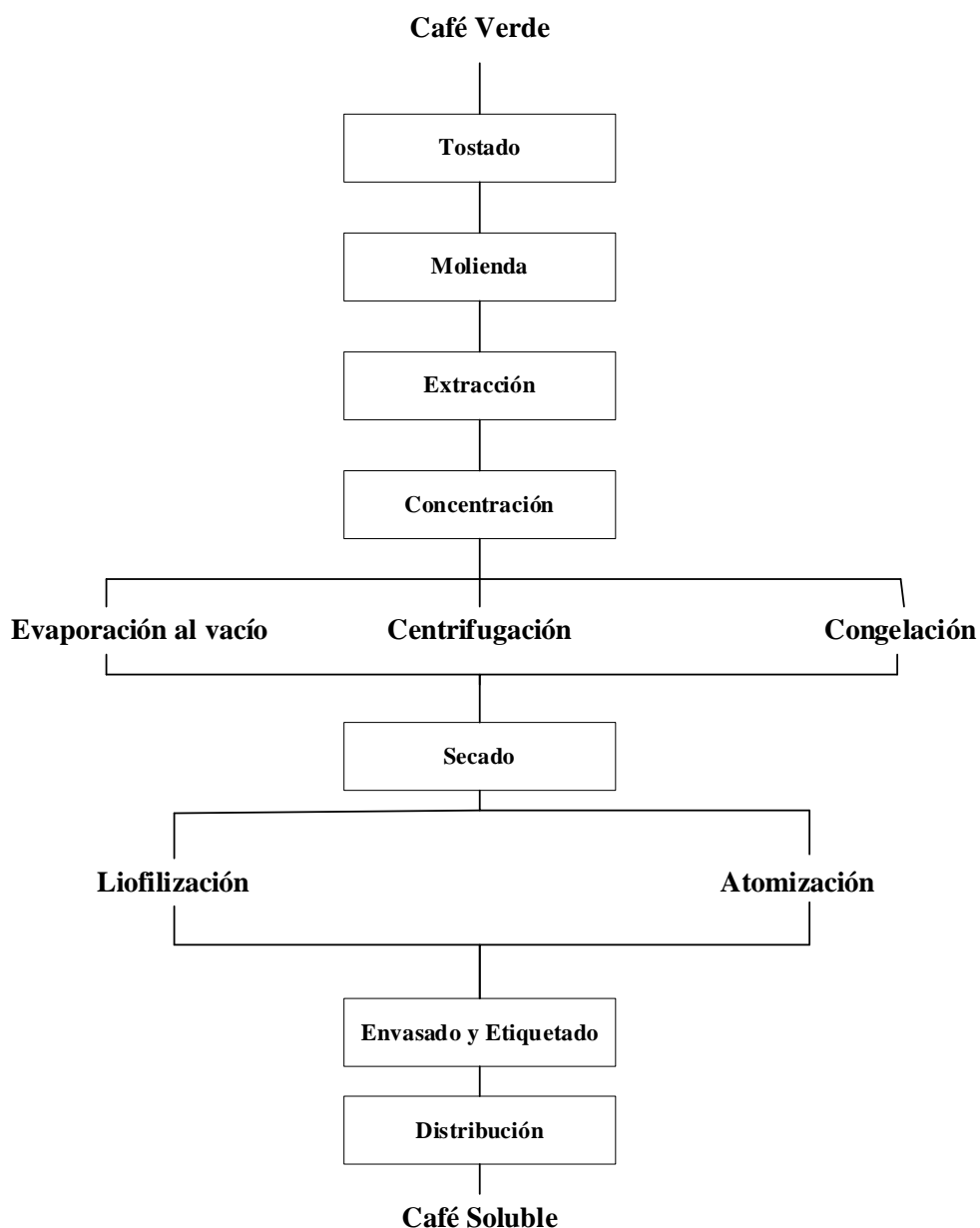


Figura 5. Procesamiento Secundario del Café

2.1.7.8 Extracción

En la extracción se realiza por medio de una serie de 5 a 8 columnas de un percolador y a bajas condiciones presurizadas. Se utiliza agua en temperaturas de

100°C hasta 175°C, permitiendo así obtener un extracto de café más concentrado de sólidos solubles entre 20-25% (Pan et al., 2019).

2.1.7.9 Concentración

Existe una gran gama de métodos de concentración, pero el más apreciado es el evaporador al vacío el cual permite vaporar a temperaturas inferiores de lo normal. La centrifugación permite separar el agua más liviana del café espeso. La concentración por congelación presenta un beneficio que es retener las sustancias volátiles, debido a que congela el agua y posteriormente separa los cristales del hielo del concentrado, obteniendo una concentración por los 38% de sólidos, debido a su viscosidad (Huang & Zhang, 2013).

2.1.7.10 Secado

El café ya extraído con una concentración del 40% de sólidos es pasado al proceso de secado, por aspersión o liofilización, obteniendo así el producto café en polvo o instantáneo.

- **Secado por atomización o aspersión.**

El extracto de café concentrado es secado por atomización, permitiendo eliminar el agua al entrar en contacto con el aire caliente secado por el equipo. Trabajando con temperaturas entre 250°C de entrada y de salida 80°C y 130°C.

Uno de los beneficios del secado por aspersión es que ofrece trabajar con altas parámetros y bajo costos de energía, al trabajar con temperaturas altas afecta el sabor del producto y presenta partículas muy finas y presenta una humedad muy eficiente en el producto (Huang & Zhang, 2013; Pan et al., 2019).

- **Secado por liofilización**

Es un método de secado por sublimación en un producto congelado de extracto de café a temperaturas y presión muy bajas, las placas mueven el extracto eliminando así el agua, obteniendo un producto de calidad.

Las ventajas que presenta el secado por liofilización es el deterioro de las reacciones biológicas, las bajas temperaturas y la ausencia de agua líquida, es conocido el método más caro (Pan et al., 2019).

2.1.7.11 Envasado

Los envases más aceptables y que otorga una vida útil del café instantáneo, son susceptibles a la humedad si aumenta el contenido de humedad al 7-8% puede convertirse en masa o pasta, las bolsas de envasado debe ser resistentes a la humedad como es las bolsas forradas con papel de aluminio, recipientes herméticos (Huang & Zhang, 2013).

2.1.8 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ

El café en su composición química este compuesto por materia seca y agua. La materia seca contiene minerales como son los compuestos orgánicos y son carbohidratos, proteínas, lípidos y alcaloides además contiene ácidos carboxílicos y fenólicos, así como compuestos volátiles que le otorgan un aroma al café verde.

Tabla 3. Café Promedios de composición química del grano de café verde, según la especie, porcentaje en base seca.

Componente químico	Arábica%	Robusta%
Polisacáridos	50.8	56.40
Sacarosa	8.00	4.00
Azucres reductores	0,10	0.40
Proteínas	9.80	9.50
Aminoácidos	0.50	0.80
Cafeína	1.20	2.20
Trigonelina	1.00	0.70
Lípidos	16.20	10.00
Ácidos alifáticos	1.10	1.20
Ácidos clorogénicos	6.90	10.40
Minerales	4.20	4.40
Compuestos aromáticos	Trazas	Trazas

Fuente: Farah (2012); Preedy (2014); Wei & Tanokura (2015).

En el momento de haber elegido el grano de café verde posteriormente pasa al proceso de tostado en esta etapa se logra obtener el aroma y sabor que le hace único al café mediante el proceso de tostado se elimina el agua y se activan los azúcares, proteínas, lípidos, y minerales (Farah 2019; Folmer 2017).

El café es considerado uno de los alimentos más aromáticos, los aromas más generados son caramelo, almendras, cítricos, tostado, frutales, estos diversos aromas se obtienen por medio de la filtración con agua a 100°C, aunque a veces por presencia de mohos, bacterias u otros llegan a presentar aromas desagradables como son ahumados, fétidos o tierra (Farah, 2012).

2.2 COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL CAFÉ

El café es uno de los productos más consumidos a nivel mundial, por presentar una fuente de compuestos bioactivos y antioxidantes, como es ácidos clorogénicos, ácidos hidroxicinámicos y productos de la reacción de Maillard, como es las melanoidinas. Por lo cual, la capacidad antioxidante está relacionado con los diversos compuestos formados durante las etapas de procesamiento, otorgando, beneficios a los consumidores ya que desempeña la función de prevenir enfermedades crónicas como es el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Folmer, 2017; Rostagno et al., 2015; Vignoli et al., 2011).

2.2.1 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante permite inhibir la degradación oxidativa, gracias a su capacidad para reaccionar con radicales libres, reciben el nombre de antioxidante (Londoño, 2012). Los alimentos de origen vegetativo, contiene compuestos fenólicos principalmente los flavonoides los cuales permiten inhibir la formación de radicales libres (Martínez-Flórez et al., 2002).

Los antioxidantes presentan un beneficio el cual permite que el envejecimiento y muerte celular sea más lento debido a esto el ser humano busca alimentos que contengan propiedades antioxidantes que tengan la capacidad de neutralización (Carolina Chaves-Ulate & Esquivel-Rodríguez, 2019).

2.2.2 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL CAFÉ TOSTADO

La actividad antioxidante es encargada de inhibir la degradación oxidativa que es otorgada por las especies reactivas del oxígeno ROS (reactive oxygen species), las cuales diversas reacciones producen hidroxilo que permiten reaccionar con biomoléculas otorgando daños a las proteínas, lípidos, mitocondrias y ADN

(Carolina Chaves-Ulate & Esquivel-Rodríguez, 2019). Esto ocasiona alteraciones obtenidas del estrés oxidativo, como es diabetes, afecciones cardiacas, enfermedades neurodegenerativas.

La actividad antioxidante que presenta los diversos compuestos bioactivos varía de acuerdo al origen, especie y variedad (Farah & dos Santos, 2015). Por otro lado, Carolina Chaves-Ulate & Esquivel-Rodríguez, (2019) menciona que la capacidad antioxidante del café varía entre las dos variedades principales: Arábica y Robusta. Además, también los encargados de la actividad antioxidantes en la bebida de café son los compuestos fenólicos y varían de acuerdo a la técnica de extracción utilizada, preparación y grado de tueste. Según Vignoli et al. (2011), el contenido de actividad antioxidante está relacionado al contenido de los ácidos clorogénicos que son formados por las melanoidinas que reaccionan en la etapa de tueste que permite que la actividad antioxidante no se degrade.

2.2.3 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL CAFÉ SOLUBLE

La capacidad antioxidante en el café atomizado presenta componentes como son el alcaloide (cafeína, trigonelina), compuestos fenólicos (cafeico, clorogénico, felúrico y cumarico), melanoidinas y polifenoles (Ácido Elágico). Cada uno de los componentes anteriormente mencionados varían de su lugar de origen y entre especie, otorgándole al café la característica de alimento funcional (dos Santos et al., 2019).

Además, el material encapsulante en el proceso de secado, permite conserva mayor contenido de compuestos bioactivos, gracias a la eficiencia de los encapsulantes y a los diversos cambios morfológicos en el proceso de secado (Ballesteros et al., 2017a).

2.2.4 FLAVONOIDES EN EL CAFÉ

Los flavonoides son un grupo de fenoles más amplio en los alimentos vegetales como en frutas, verduras y granos (café), los flavonoides están agrupados en antocianinas encargadas de dar la coloración, rojos, azules y púrpura (Carolina Chaves-Ulate & Esquivel-Rodríguez, 2019).

Las antoxantinas agrupan a los flavonoles, flavonas, flavonoles e isoflavonas responsables de la coloración blanco y amarillo. Por lo cual, los flavonoides son los encargados de las diversas características organolépticas como es el sabor amargo (Preedy, 2014).

2.2.5 POLIFENOLES EN EL CAFÉ

Los polifenoles (PF) o compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, presentan una estructura al menos de un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo. Los polifenoles en el café contienen los diversos ácidos como ácido cumárico, cafeico, felúrico y clorogénico. Por otro lado, los polifenoles son ricos en antioxidantes, que se encuentran en el café tostado son (trigonelina, clorogénicos, taninos).

Sin embargo, los polifenoles ante el estrés oxidativo reaccionan como protector, al producir peróxido de hidrógeno que permite regular respuestas inmunitarias. Presentando beneficios para el consumidor como es actividades anticancerígenas y anti- cardiovasculares (Folmer, 2017; Rostagno et al., 2015; Vignoli et al., 2011).

Los polifenoles totales o compuestos fenólicos están asociados al color y a las características sensoriales del café (sabor, astringencia, dureza), y la encargada de las características nutricionales y la actividad antioxidante ya que se debe a la reactividad del grupo fenol (Felix, 2009).

2.2.6 CONTENIDO DE FENOLES EN EL CAFÉ

De acuerdo con Maritza (2020), los fenoles son alimentos ricos en antioxidantes su porcentaje varía dependiendo de su especie y origen. El componente más abundante en los flavonoides, es el ácido clorogénico, los fenoles son considerados un grupo grande que contiene ácidos cinámicos, ácidos benzoicos, flavonoides, proantocianinas, estilbenos, coumarinas y ligninas.

Los ácidos clorogénicos es el compuesto principal de los fenoles, formado principalmente del ácido quinino y de los ácidos transcinámicos (ácido cafeico, p-cumárico y felúrico), a través de esta reacción se forman compuestos cafeoilquinóicos, ácidos dicafeoilquinóicos, ácidos feluroquinóicos (Carolina Chaves-Ulate & Esquivel-Rodríguez, 2019; Rostagno et al., 2015).

Mediante el proceso de tostado el contenido de ácido quinico y cafeico que se produce por la degradación de los ácidos clorogénicos, ocasionando sabores amargos (Odžakovic et al., 2016).

El ácido clorogénico varía según el tipo de procesamiento, tipo de beneficiado, grado de tostado, mezcla de granos de café (Farah, 2019). Por lo cual, el café soluble depende de la especie, variedad utilizada y condiciones de procesamiento, el café soluble presenta cantidades de compuestos apreciables (Rostagno et al., 2015).

Tabla 4. Compuestos fenólicos contenidos en diferentes tipos de café variedad arábica, expresado en 100g en base seca.

Tipos de café	Ácido cafeoilquínico (CQA)	Ácido feruloilquínico s (FQA)	Ácido dicafeoilquínicos (diCQA)	Total, ácidos clorogénicos
Café verde	3.26 – 7.66	0.19 – 1.43	0.45 – 2.31	4.10 – 11.30
Café tostado	0.38 – 3.23	0.06 – 0.34	0.03 – 0.24	0.47 – 2.66
Café Descafeinado	5.19 – 6.14		0.61 – 0.77	6.13 – 7.47
Café instantáneo Regular	0.63 – 5.28	0.06 – 1.16	0.03 – 0.53	0.72 – 6.97
Café Instantáneo Descafeinado	3.33 – 4.73	0.60 – 0.84	0.17 – 0.28	4.10 – 5.85

Fuente: Preedy (2014)

2.2.7 ÁCIDOS CLOROGÉNICOS EN EL CAFÉ

El café contiene los ácidos clorogénicos (CGA), es el principal de compuestos fenólicos formando esterificación del ácido quinico y derivados de los ácidos transcinamicos (ácido cafeico, P-cumarico y felúrico), mediante esta reacción se genera otros compuestos los cuales son ácidos cafeoilquínicos, ácidos dicafeoilquínicos, ácidos feruloilquínicos y ácidos p-cumaroilquínicos.

Además, el café posee una gran cantidad de ácido clorogénico permitiendo obtener un café de calidad, también son los encargados de otorgarle el aroma y el sabor al café. Por lo cual, el ácido clorogénico que se encuentre presente en el café ha ocasionado que se realice diversas investigaciones, por su beneficio hacia el ser humano debido a su gran capacidad antioxidante (Carolina Chaves-Ulate & Esquivel-Rodríguez, 2019; Farah & Donangelo, 2006).

Los ácidos clorogénicos dependen de la molienda del café, temperatura del agua y tiempo, cuando más alta es la temperatura y la presión, mayor es la extracción de ácidos clorogénicos, cafeína y ácido nicotínico (Farah & Donangelo, 2006). Por otro lado, mantener la temperatura de extracción en periodos prolongados reduce el contenido de ácidos clorogénicos y derivados con actividad antioxidantes, pero a temperaturas bajas hay mayor eficiencia de compuestos fenólicos de café.

2.2.8 ÁCIDO CAFEICO

El ácido cafeico (3,4-dihidroxicinámico) es un compuesto fenólico natural, permitiendo así que este ácido trabaje como inhibidor de células cancerígenas. Maritza (2020) menciona que el ácido cafeico contiene propiedades, anti mutagénicas, antibacterianas y anticancerígenas; y puede contribuir a la prevención de la aterosclerosis y otras enfermedades cardiovasculares.

2.2.9 ÁCIDO FERÚLICO

El ácido ferúlico (ácido 4-hidroxi-3-metoxicinámico) es un compuesto antioxidante abundante que se encuentran tanto en formas libres como ligadas, y se concentran en el salvado de los granos, cáscara de las frutas, raíces y en cáscara de las verduras. El contenido de ácido ferúlico en el café es de 9.1–14.3 (mg/100 g) (Higuchi, 2014).

2.2.10 ÁCIDO CUMARICO

Es un ácido cinámico. Existen tres isómeros de ácido cumárico tales como ácido *o*-cumárico, ácido *m*-cumárico y ácido *p*-cumárico siendo el ácido *p*-cumárico el isómero más abundante de los tres en la naturaleza (Preedy, 2014).

El ácido cumárico está presente en varios alimentos incluyendo en granos de café verde; poseen una gran cantidad de actividad antioxidantes y acidulante y es utilizado en la industria alimenticia en la elaboración de mermeladas, gelatinas, refrescos, recubrimientos de confites, etc.

2.2.11 MELANOIDINAS EN EL CAFÉ

Los compuestos presentes en los granos de café verde se transforman o degradan, como consecuencia da lugar a la disminución de carbohidratos y ácidos clorogénicos y se originan nuevos compuestos como las melanoidinas. Las

melanoidinas se producen antes de los últimos pasos de la reacción de Maillard; son un grupo heterogéneo de polímeros marrones que contienen nitrógeno y son las responsables del color marrón característico del café (Cruz-Atonio et al., 2010).

2.2.12 PRODUCTOS DE LA REACCIÓN DE MAILLARD (MPR)

La reacción de Maillard fue descrita en el año de 1912 por el químico Luis Camille Maillard, quien se refiere que al calentar lentamente los azúcares y almidones ocasionaba una coloración Marrón amarillento. Ocasionando una reacción de oscurecimiento o pardeamiento no enzimático (Folmer, 2017).

La reacción de Maillard ocurre en los alimentos que poseen azúcares reductores y compuestos amino (proteínas), que durante el procesamiento térmico forman compuestos coloreados tipo melanoidinas, estos compuestos son los encargados de generar los atributos sensoriales. Además, presentan en el sabor, aroma y textura. Las temperaturas altas con largos tiempos otorgan un grado de glicación con niveles altos de reacción de Maillard, formando productos como es las melanoidinas (Nooshkam et al., 2020).

2.2.12.1 Química de la reacción de Maillard

La reacción de Maillard consta de tres etapas: estado inicial, avanzado y medio. En la etapa de estado avanzado no presentan color, donde se produce glucosamina formada de la unión entre azúcares y aminoácidos (Ghaderi & Monajjemzadeh, 2020). En la etapa avanzada se forman tonalidades amarillas con olores desagradables que forman dehidrorreductonas y luego se produce la degradación de strecker, donde se generan aldehídos o cetonas. En la etapa final se crean las melanoidinas y pigmentos oscuros encargados de la coloración oscura característica de los alimentos tostados (Markowicz et al., 2012).

2.2.12.2 Actividad Antioxidante de los productos de la reacción de Maillard (MPR) en café y polvos atomizados

Los productos de la reacción de Maillard en el café tostado poseen actividad antioxidante. Según Perusko et al. (2021), menciona que los productos relacionados con los compuestos antioxidantes del café, tienen que ver con la transferencia de átomos de hidrógeno. Además, la reducción del compuesto clorogénico al

relacionarse con MPR y con elevadas temperaturas de tostado, produce un alto contenido de actividad antioxidante en el producto final.

Además, Nooshkam et al. (2020), señala en su estudio que el contenido fenólico se reduce durante el tostado. Por lo tanto, estos compuestos se producen durante la reacción de Maillard formando melanoidinas. Por consiguiente, los productos atomizados presentan un alto contenido de antioxidantes tratados a altas temperaturas de entrada.

2.2.13 Métodos para evaluar la capacidad antioxidante

También llamada actividad antioxidante, presenta gran número de métodos para la determinación de la capacidad antioxidante de alimentos y bebidas. Los métodos más utilizados son: FRAP (Poder equivalente Trolox), ABTS, TEAC (Capacidad antioxidante equivalente Trolox), DPPH y ORAC (Capacidad de absorción del radical oxígeno). Los ensayos han sido sugeridos por (Londoño, 2012).

- **Método ABTS**

El método ABTS conocido como capacidad antioxidante equivalente por Trolox (TEAC) permite obtener la medida de la actividad antioxidante (AA) el ABTS⁺ es soluble en agua y en solventes orgánicos permitiendo determinar los compuestos hidrofílicos y lipofílicos de la capacidad antioxidante (Nooshkam et al., 2020).

Por otro lado, el ABTS no se encuentra de forma natural pero diversos estudios han demostrado que la actividad antioxidante se obtiene de los resultados mediante mezclas de sustancias (Londoño, 2012).

El método ABTS⁺ (ácido – 2,2 – azinobis (3 – etilbenzotiazolina) – 6 – sulfónico), se basa en la decoración del catión, es la transferencia de un átomo de hidrogeno de un agente antioxidante, es determinado por espectrofotométricamente. Los resultados se presentan en Trolox, debe ser utilizado en pH altos. Una de las desventajas que presenta el catión radical es que debe ser degenerado con horas de anterioridad y las cinéticas de reacción con algunos antioxidantes (Londoño, 2012). Además, los productos de la reacción de Maillard actúan positivamente con los radicales hidrofílicos ABTS⁺.

2.3 MICROENCAPSULACIÓN

La microencapsulación es una técnica utilizada, con sustancias de bajo peso molecular y tamaño de partícula, cuando se encapsula el producto. Según Corilla Flores, (2020) la microencapsulación es un proceso de atrapar un compuesto, por el cual las gotas del material orgánico están rodeadas por un material llamado Shell, la cual permite reducir el tamaño y protege las propiedades funcionales (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

El método de encapsulación día tras día va tomando gran importancia en la industria alimentaria. Debido a su técnica de empaque en el cual sus gotas líquidas o gaseosas son cubiertas conteniendo sustancia activa. Por lo cual, la encapsulación presenta diversos beneficios. Entre sus ventajas se encuentra: proteger el contenido del núcleo de diversas condiciones como es la luz, húmedas, oxígeno y así provocando darle más tiempo de vida útil al producto, estabilidad de los ingredientes, biodisponibilidad y enmascarar los aromas y facilita el procesamiento para la obtención de alimentos funcionales procesamientos (Furuta & Neoh, 2021).

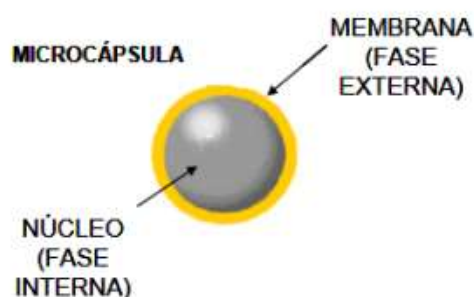


Figura 6. Esquema Aproximado de una Microcápsula

Corilla Flores (2020)

2.3.1 MÉTODOS DE ENCAPSULACIÓN

El método de encapsulación ha permitido ser utilizada en algunas sustancias que se encuentren en estado sólido, líquido y gaseoso en la industria alimentaria (Corilla Flores, 2020). Los métodos de encapsulación presentan dos grupos como son físicos y fisicoquímicos.

Tabla 5. Método de encapsulación

Métodos físicos	Métodos fisicoquímicos
Secado en spray	Liposomas
Enfrentamiento por spray	Coacervación
Recubrimiento por lecho	Gelación iónica
Fluidizado	Complejos de inclusión
Co- cristalización	

Fuente: Corilla Flores (2020)

2.3.2 TÉCNICAS DE ENCAPSULACIÓN

Al momento de escoger que tipo de encapsulante se revisa el material a encapsular, costo y propiedades físicas y químicas del recubrimiento para ellos los métodos más utilizados son el secado por atomización o secado por aspersión debido a su gran manejo flexible y continuidad de funcionamiento, costo y por sus partículas de buena calidad (Nava Reyna et al., 2015a).

Este método tiene como finalidad obtener un polvo seco por medio de la atomización el cual va ser secado mediante una corriente de aire caliente y así formar gotas muy finas el agua se evaporará instantáneamente permitiendo así que el material activo que dentro del material encapsulante (Furuta & Neoh, 2021). Además, el uso de los encapsulantes es otorgar al producto estabilidad y más tiempo de vida útil y conserva los compuestos bioactivos sensibles.

2.3.3 MATERIAL ENCAPSULANTE (AGENTES ENCAPSULANTES)

En el proceso de microencapsulación, la selección de material de pared es importante. Hoy en día existe una gran variedad de encapsulante los materiales de pared más adecuado en la industria alimentaria son los carbohidratos (almidones, maltodextrina, jarabe de maíz, y goma arábica), lípidos (ácido esteárico mono y diglicéridos) y proteínas (gelatina, caseínas, suero lácteo, soja y trigo).

Sin embargo, para la encapsulación de compuestos bioactivos los más utilizados son la maltodextrina y goma arábica. Según De & Alexandra (2018), la goma arábica es la más utilizada debido a su bajo costo, solubilidad y por trabajar a altas

concentraciones otorgando el beneficio de conservar su sabor y su buena retención de compuestos volátiles.

Además, la maltodextrina es un encapsulante utilizado por sus beneficios presentes en el producto como es un sabor suave y baja viscosidad, solubilidad en el agua y de igual manera otorgar más tiempo de vida útil (Corilla Flores, 2020; López Hernández, 2010).

2.3.3.1 Maltodextrina (MD)

Según Corilla Flores (2020), la maltodextrina es un producto obtenido de la degradación de carbohidratos, producidos por polímeros nutritivos, obtenidos de una combinación de hidratos de carbono. Por otro lado, la maltodextrina presenta una escasa capacidad de emulsificación, presentando un beneficio de excelente protección al núcleo debido a su rápida capacidad de crear alrededor del núcleo una corteza durante el proceso de secado.

Este método de encapsulante, de recubrimiento con una combinación maltodextrina y goma arábiga para obtener mejores resultados de encapsulación (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

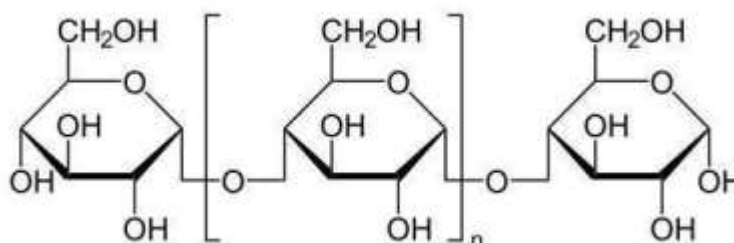


Figura 7. Formula Estructural de Maltodextrina

Corilla Flores (2020)

2.3.3.2 Propiedad de funcionalidad

La maltodextrina posee diversas funciones, lo cual permite ser utilizado en el área alimenticia debido a sus grandes beneficios como es a la contextura, cuerpo, producto no harinoso, dulce, reduce la formación de cristales y controla el pardeamiento no enzimático, no aumenta la solubilidad en el agua.

A. Características particulares

Corilla Flores (2020), menciona las diversas propiedades según su dextrosa equivalente.

- Maltodextrina al 5% presenta que son muy buenos acárrenles y forman capas ligeras, en las materias prima añaden de un 20 a 40%, obteniendo una baja pegajosidad, colores oscuros, no generan dulce y sensibles a disolverse a temperatura de 20°C.
- Maltodextrina al 10% presenta un endulzante bajo, pegajosidad y bajas cantidades de color y se disuelve en cantidades al 30% con una temperatura a 20°C.
- Maltodextrina al 15% presenta un bajo dulzor y pegajosidad, menor tendencia a colores oscuros y claros se disuelve al 50% a temperatura de 20°C.
- Maltodextrina al 20% presenta un bajo dulzor, una pegajosidad moderada y referente a colores oscuros.

2.3.3.3 Goma arábica (GA)

La goma arábica es casi sin olor y soluble en el agua a temperatura ambiente es muy utilizada en la industria alimentaria como, agente encapsulante para diversos productos a secar por atomización. Además, debido a sus grandes beneficios de las propiedades emulsionantes otorgando gran retención volátil durante el proceso de secado por atomización (Corilla Flores, 2020).

2.3.4 ENCAPSULANTE DE ANTIOXIDANTE

Cada día la encapsulación, a nivel industrial de alimentos es más importante, debido a su técnica de empaque en el cual las gotas líquidas son cubiertas con una película, el beneficio de la encapsulación es retener o acapara los colores, enzimas, probióticos, grasas, aceites esenciales, vitaminas, minerales, edulcorantes, colorantes y antioxidantes. Según Corilla Flores (2020), los encapsulantes es proteger el material del núcleo, de las diversas condiciones ambientales.

Según Rios-Aguirre & Gil-Garzón (2021), informa que la mezcla de encapsulante de maltodextrina y goma arábica brinda una estabilidad mejorada en los contenidos de polifenoles, a comparación de los resultados obtenidos en encapsulantes individuales. Además, que la mezcla de estos dos encapsulantes en el material de la pared trabajo con una proporción 50:50. Por otro lado los investigadores indican que la combinación dio como resultado un valor alto en capacidad antioxidante (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021).

2.3.5 MICROENCAPSULACIÓN DE CAFÉ

En la tabla 7 se presenta diversos estudios encontrados sobre la microencapsulación de compuestos bioactivos de café soluble y aceite de café, Trabajados a partir del secado por atomización añadiendo algunos encapsulantes.

Tabla 6. Microencapsulación de Compuestos Bioactivos del Café y Derivados

Compuestos Microencapsulados	Material de Recubrimiento	Resultado	Referencia
Café soluble <ul style="list-style-type: none"> Aroma de café 	Maltodextrina (DE < 20), goma arábica (GA)	Se obtuvo un aroma de café encapsulado del 99,96% empleando una mezcla de encapsulantes de MD-GA (75%-25%).	(Gutiérrez, Muñoz, Villavicencio, et al., 2006)
Café gastado <ul style="list-style-type: none"> Compuestos fenólicos antioxidantes 	Maltodextrina (MD), goma arábica (GA) y una mezcla de los dos (1:1)	La maltodextrina presento una respuesta positiva para conservar los compuestos fenólicos (polifenoles y flavonoides) y actividad antioxidante.	(Ballesteros et al., 2017b)
Café gastado <ul style="list-style-type: none"> Compuestos bioactivos 	Proteína de suero aislada (WPI), maltodextrina (MD), goma arábica (AG) e inulina (IN) (proporción 1: 1)	La mezcla de PS-MD encapsuló obtuvo un alto contenido de cafeína y compuestos fenólicos. Por otro lado, PS presento mayor contenido de ácidos clorogénicos.	(Abrahão et al., 2019)
Hojas de café <ul style="list-style-type: none"> Compuestos fenólicos 	Maltodextrina (MD)	La concentración más baja de maltodextrina permitió conservar un alto contenido de compuestos fenólicos.	(Corrêa et al., 2016)

Aceite de granos de café verde	Almidones modificados (Hi-Cap, Capsul y N-Lok) o goma arábica con maltodextrina (DE < 10) (75:25)	La concentración de Hi-Cap almidón / maltodextrina, (75:25) fue la mezcla más eficiente para el aceite de café verde.	(Silva et al., 2014)
--------------------------------	---	---	----------------------

2.4 SECADO

El secado por atomización, es un proceso que permite transformar alimentos líquidos en polvo (Fito et al., 2016; Singh & Heldman, 2014). Donde, un producto se atomiza con una corriente de aire caliente el cual produce rápidamente un polvo. Obteniendo una mejor conservación microbiológica, retardando diversas reacciones indeseables. Posteriormente reduce costos en el área de envasado, manejo, almacenamiento y transporte. Sin embargo, una de las desventajas que presenta el secado es el color, sabor y aroma, provocadas por las altas temperaturas obteniendo pérdidas nutritivas (Fito et al., 2016).



Figura 8. Perfil del Secado de una Gota Durante el Secado

Benjamin & Suarez (2019)

Por otro lado, la gota inicial de la gota dependerá del tiempo, la composición y la evaporación en la Figura 7 se observa el proceso de formación de la gota durante el proceso de secado por atomización, la velocidad de la formación de la partícula es importante con el tiempo (Benjamín & Suarez, 2019).

2.4.1 FUNDAMENTOS DE LA ELIMINACIÓN DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS

La eliminación del contenido de agua en los alimentos es primordial. Debido, que permite conservar o brindarle más tiempo de vida útil al producto. Por lo cual permite la disminución de alteraciones microbiológicas y deterioro del alimento en sí. Además, la eliminación del agua en un alimento presenta una parte negativa otorgando problemas como es la alteración de la calidad nutraceútica y organoléptica del alimento (Singh & Heldman, 2014).

2.4.1.1 Humedad

El agua se disminuye mediante difusión, en el alimento la estructura inferior está relacionada con la transferencia de materia por convección (Singh & Heldman, 2014). La humedad final del café en polvo presenta valores de porcentaje de 2% al 4%. Según Ishwarya & Anandharamakrishnan (2015) menciona, que la humedad obtenida fue de 5,35%.

2.4.2 SECADO POR ATOMIZACIÓN

El secado por atomización o pulverización es una técnica muy utilizada en el ámbito industrial para el procesamiento de alimentos. Además, es relativamente joven. Es originaria de Estados Unidos. Por lo cual, la tecnología del secado por atomización permite obtener productos en polvos a partir de un líquido concentrado, trabajando con temperaturas de 150°C a 300°C.



Figura 9. Atomización Spray Dryer
Ibarz & Barbosa-Cánovas (2014)

El secado por atomización se utiliza para los alimentos disueltos en agua, su principal prioridad es eliminar la humedad en forma de gotas mediante, la cámara de secado etapa donde se aplica calor, obteniendo partículas secas (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2014; Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

Además, esta técnica se ha adaptado al proceso, modificado su diseño y evolucionando. Por lo cual es una tecnología que se aplica a grupos de agroquímicos, biotecnológicos, químicos, alimentos, colorantes, concentrados y productos farmacéuticos (Filková & Mujumdar, 2020).

2.4.2.1 Ventajas y desventajas

El secado por atomización uno de sus beneficios es por su capacidad de producir polvos fluidos, alta productividad (Padman Ishwarya, 2015a). Además, presenta limitaciones en su procesamiento como es los costos de instalación y su eficiencia térmica baja (Filková & Mujumdar, 2020).

- **Ventajas**

El secado por pulverización trabaja con fluidos sensibles y no sensibles, materiales resistentes al calor, produce partículas con formas controlables, trabaja con temperaturas amplias, tiempos cortos, rápido secado (Filková & Mujumdar, 2020; Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

- **Desventajas**

Filková & Mujumdar (2020), menciona que el secado por atomización al trabajar con producto de densidad alta ocasiona fallas debido, a que no es flexible. Por lo cual, es un equipo diseñado para atomizar productos de baja densidad ocasionando a no generar un producto grueso y aumentar el costo de secado.

2.4.2.2 Descripción del Proceso y Equipo para el Secado por Atomización

En el proceso de secado consta de 4 fases que son: atomización, mezcla de aire caliente, evaporación del agua y separación del producto. La etapa más importante del proceso del secado es la etapa atomización ya que permite la formación de las gotas, trayectoria y velocidad, otro punto importante en la fase de atomización es la mezcla de la gota con el aire en el cual única el proceso de deshidratación ocasionando que el líquido se atomice a una temperatura entre 150 a 220 °C permitiendo una evaporación instantánea (Fuentes, Paola, & Méndez, 2017)

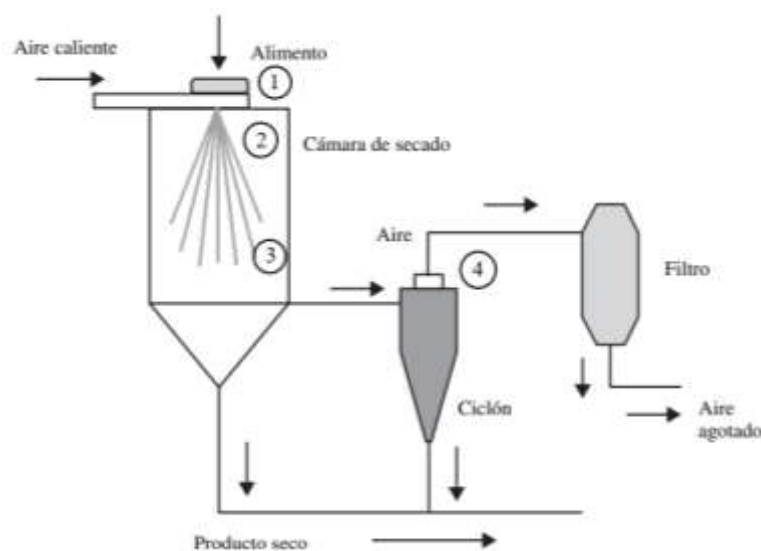


Figura 10. Etapas del Proceso de Secado por Atomización

Ibarz & Barbosa-Cánovas (2014).

Nota: 1) Atomización 2) Contacto gotitas y aire de secado 3) Evaporación de humedad y 4) Separación de partículas.

1. Atomización de la solución

Es la etapa más importante en el proceso de secado, conduce el fluido de alimentación a un estado de división. Por el cual, mediante la energía por minuto que se suministra al atomizador, que es la fuerza centrífuga, la energía de presión, energía cinética del aire u otro flujo. Además, determina el tamaño, la trayectoria y velocidad de la gota (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2014; Ishwarya &

Anandharamakrishnan, 2015). Los principales tipos de atomizadores se clasifican en rotativos, boquillas de presión o hidráulicos y boquillas neumáticas.

2. Interacción gotas – aire de secado

La interacción entre las gotas de alimentación con el aire de secado ocurre después del paso de atomización (“Handbook of Drying for Dairy Products,” 2017). El contacto de las gotas con el gas caliente permite que la evaporación sea rápida de la humedad de la superficie de todas las gotas de manera uniforme. El aire caliente se debe suministrar de manera uniforme por toda la cámara de secado ya sea en paralelo o en contracorriente (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015). Los parámetros importantes del proceso en esta etapa están dados por la temperatura de entrada Spray Drying.

3. Evaporación de la humedad

Etapa en la cual se evapora la humedad de la superficie de la gota, evidenciándose dos períodos de secado, el período de velocidad constante y el período de velocidad decreciente (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

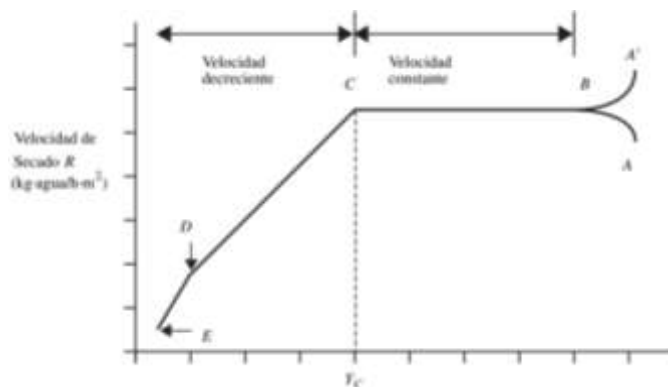


Figura 11. Curva de Velocidad de Secado

4. Separación de Partículas

En esta etapa se separan con la mayor eficiencia el producto seco del aire caliente de secado, para ello se emplean dos sistemas para separar el producto: separación primaria, etapa en donde el polvo se recoge en la base del secador y la separación secundaria, se utilizan dispositivos que permiten la separación del producto seco como el separador ciclónico que emplea la fuerza centrífuga para separar las

partículas sólidas del gas portador y los filtros de bolsa que mediante presión ingresa el aire cargado de partículas secas reteniendo el material en el interior de la bolsa y elimina el aire limpio al exterior (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

2.4.2.3 Balance de masa y energía

- **Balance de masa**

Los alimentos secados por atomización, son sometidos a la eliminación de agua, debido a que no se elimine totalmente en operaciones de ciclo cerrado. Por lo cual, la ecuación del balance de masa para todo el sistema es:

Entrada = Salida

$$\dot{m}_a W_{a1} + \dot{m}_p w_{p1} = \dot{m}_a W_{a2} + \dot{m}_p w_{p2}$$

(1)

Donde:

$\dot{m}_a W_{a1}$: Agua que ingresa con el aire caliente

$\dot{m}_p w_{p1}$: Agua que ingresa con el producto de alimentación

$\dot{m}_a W_{a2}$: Agua que se elimina del secador con el aire agotado

$\dot{m}_p w_{p2}$: Agua que se elimina del secador con el producto seco

Donde:

\dot{m}_a : Flujo del aire seco que ingresa al secador (kg aire seco/h)

W_{a1} : Humedad absoluta del aire que ingresa al secador (kg agua/kg aire seco)

W_{a2} : Humedad absoluta del aire que sale al secador (kg agua/kg aire seco)

w_{p1} : Humedad del producto que ingresa al secador (kg de agua /kg sólido seco)

w_{p2} : Humedad del producto seco que sale del secador (kg de agua /kg sólido seco)

\dot{m}_p : Flujo de producto que ingresa al secador (kg sólido seco/h)

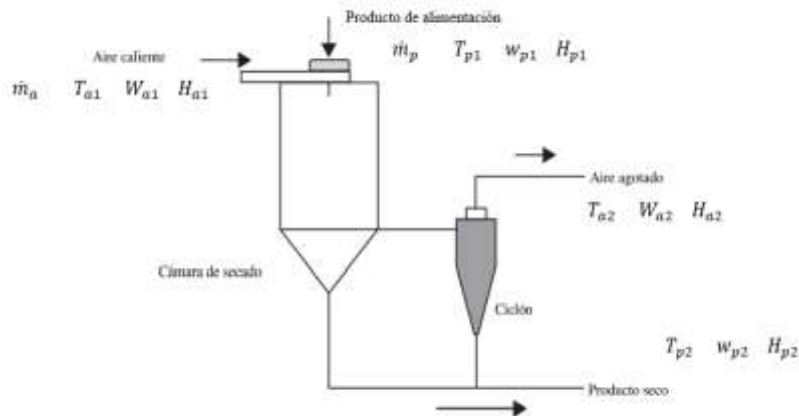


Figura 12. Sistema de Secado por Atomización

Ibarz & Barbosa-Cánovas (2014).

Nota: Datos del secador para balance de masa y energía (\dot{m}_p , flujo de producto de alimentación; T_p , Temperatura del producto; w_p , Humedad del producto; H_p , Entalpía del producto; \dot{m}_a , flujo del aire; H_{a1} , Entalpía del aire; T_a , Temperatura del aire; W_a , Humedad absoluta del aire.

- **Balance de energía**

En regla estacionario el balance de energía conduce a la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_p H_{p1} + \dot{m}_a H_{a1} = \dot{m}_p H_{p2} + \dot{m}_a H_{a2} + Q_L \quad (2)$$

Donde:

H_{p1} : Entalpía del producto a la entrada del secador (kJ/kg sólido seco)

H_{p2} : Entalpía del producto a la salida del secador (kJ/kg sólido seco)

H_{a1} : Entalpía del aire a la entrada del secador (kJ/kg aire seco)

H_{a2} : Entalpía del aire a la salida el secador (kJ/kg aire seco)

Q_L : Pérdida del calor del secador (kJ/kg)

La entalpía del aire de secado H_a se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$H_a = C_s(T_p - T_o) + w\lambda \quad (3)$$

Donde:

C_s : Calor húmedo (kJ / [kg de aire seco K])

T_p : Temperatura del producto (°C)

T_o : Temperatura de referencia (°C)

w : Contenido de agua del producto

λ : Calor latente de vaporización

La entalpía H_p es la suma de las entalpías del sólido seco y de la humedad del líquido, entonces:

$$H_p = C_{pp}(T_p - T_o) + wC_{pw}(T_p - T_o) \quad (4)$$

Donde:

C_{pw} : Calor específico del agua (kJ / [kg K])

C_{pp} : Calor específico del producto (kJ / [kg K])

• Eficiencia térmica del secador por atomización

La eficiencia térmica permite obtener el rendimiento de un secador por atomización, está relacionada con la entrada de calor requerida que permite producir una unidad en peso del producto seco. Además, la eficiencia térmica global (n_{global}) es conocida como la fracción del calor total que es usada en el secador en el proceso de evaporación:

$$n_{global} = \left[\frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_o} \right] * 100\% \quad (5)$$

Donde:

T_{a1} : Temperatura del aire a la entrada del secador (°C)

T_{a2} : Temperatura del aire a la salida del secador (°C)

T_o : Temperatura de referencia (°C)

2.4.3 PSICROMETRÍA

La psicrometría es la encargada de determinar la medición del contenido de húmedas, además está involucrada en las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y del efecto de la humedad atmosférica (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2014; Singh & Heldman, 2014). Es importante tener un conocimiento acerca de los procedimientos de los diferentes cálculos con las propiedades psicrométricas que serán de importante ayuda en los análisis de almacenamiento y procesamiento de alimentos (Singh & Heldman, 2014).

2.4.3.1 Propiedades del aire seco

- **Volumen específico del aire seco (V'_a)**

es calculada desde las leyes de los gases ideales. En donde V'_a el volumen específico del aire seco (m^3/kg); T_A es la temperatura absoluta (K); p_a es la presión parcial del aire seco (kPa) y R_a la constante de los gases ($\text{m}^3 \text{Pa} / (\text{kg K})$).

$$V'_a = \frac{R_a T_A}{p_a} \tag{6}$$

- **Calor específico del aire seco (C_{pa})**

El calor específico del aire seco de 1 atm (101,325 kPa) en el intervalo de la temperatura comprendido entre -40 y 60°C varía desde 0,99 kJ / (kg K) hasta 1,02 kJ / (kg K).

- **Entalpía del aire seco (H_a)**

La entalpía para obtener su valor se requiere de un punto de referencia para realizar el cálculo. Donde se utiliza el valor de la presión atmosférica la siguiente ecuación permite calcular la entalpía específica:

$$H_a = 1,00(T_a - T_o) \quad (7)$$

Donde H_a es la entalpía del aire seco (kJ / kg); T_a es la temperatura de bulbo seco (°C) y T_o es la temperatura de referencia (°C).

- **Temperatura de bulbo seco (T_{bs})**

La temperatura de bulbo seco presenta una temperatura invariable, esta temperatura afirma la temperatura de bulbo donde el indicador se mantiene cubierto por una capa de agua.

2.4.3.2 Propiedades del vapor de agua

- **Volumen específico del vapor de agua (V'_w)**

El vapor saturado o sobrecalentado aplica las leyes de los gases ideales, cuando se encuentra debajo de los 66°C.

$$V'_w = \frac{R_w T_A}{p_w} \quad (8)$$

Donde, V'_w representa el volumen específico del vapor de agua (m³/kg); R_w es la constante de los gases para el vapor de agua (m³ Pa) / (kg K); T_A es la temperatura absoluta (K) y p_w es la presión parcial del vapor de agua (kPa).

- **Calor específico del vapor de agua (C_{pw})**

El calor específico del vapor saturado, así como el sobrecalentado no varía dentro del intervalo de temperaturas comprendido entre -71 y 124°C, por lo cual se toma el valor de 1,88 kJ / (kg K).

- **Entalpía del vapor de agua (H_w)**

La entalpía del vapor de agua se calcula con la siguiente ecuación, en donde H_w representa la entalpía del vapor de agua (kJ / kg); T_a es la temperatura ambiente (°C) y T_o , temperatura de referencia (°C).

$$H_w = 2.501 + 1,88 (T_a - T_o)$$

(9)

2.4.3.3 Propiedades de las mezclas aire – vapor

Las moléculas de agua en la mezcla aire-vapor otorgan una presión sobre las paredes que lo contienen. Las mezclas aire-vapor no siguen las leyes de los gases ideales, pero se utilizan a presiones menores de 3 atm.

- **Ley de Gibbs – Dalton**

Las mezclas aire – vapor de agua utilizan la ley de Gibbs-Dalton, de forma que la presión ejercida por una mezcla de gases es la misma que la suma de las que ejercerían los gases constituyentes por separado. El aire atmosférico se encuentra a un mismo rango de la presión total igual a la presión barométrica.

$$p_B = p_w + p_a$$

(10)

- **Contenido de humedad (W)**

El contenido en humedad W, se hace referencia como la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco. Se expresa en kg de agua/kg aire seco. Donde x_w es la fracción molar del vapor de agua y x_a es la fracción molar del aire seco.

$$W = 0,62 \frac{x_w}{x_a}$$

(11)

Las fracciones molares x_w y x_a pueden expresarse en términos de presiones parciales a partir de las ecuaciones de los gases perfectos para el aire seco, vapor de agua y una mezcla, respectivamente. Teniendo en cuenta que $p_a = p_B - p_w$.

$$W = 0,62 \frac{p_w}{p_B - p_w}$$

(12)

- **Humedad relativa (ϕ)**

la humedad relativa es la relación que existe entre la fracción molar del vapor de agua (X_w) y la fracción de saturación es una muestra (X_{ws}) a la misma

temperatura y presión.

$$\phi = \frac{X_w}{X_{ws}} * 100 \quad (13)$$

Se aplica la ley de los gases ideales en condiciones especiales, además la humedad relativa también se expresa como el cociente entre la densidad del vapor de agua en el aire (ρ_w) expresado en kg/m³, sobre la densidad del vapor de agua saturado (ρ_s) a la temperatura de bulbo seco del aire (kg/m³).

$$\phi = \frac{\rho_w}{\rho_s} * 100 \quad (14)$$

- **Calor húmedo en una mezcla aire – vapor (C_s)**

El calor húmedo C_s está relacionado como calor (kJ) es necesario para aumentar 1 K la temperatura de 1 kg de aire seco más la del vapor de agua presente en el mismo. Además, se debe tener en cuenta que el calor específico del aire seco es $1,005 \frac{kJ}{kg \text{ a.s.} * K}$ y la del agua $1,88 \frac{kJ}{kg \text{ H}_2\text{O} * K}$, por lo cual, el calor húmedo de la mezcla aire-vapor de agua está presente en la ecuación:

$$C_s = 1,005 + 1,88W \quad (15)$$

Donde W es la humedad (kg de agua/kg de aire seco) y C_s se expresa como (kJ / [kg de aire seco K]).

- **Volumen específico (V'_m)**

El volumen específico es el volumen que ocupa 1 kg de aire seco más del vapor de agua presente y está expresado en metro cúbico por kilogramo de aire seco (m³/kg).

$$V'_m = (0,082T_a + 22,4) \left(\frac{1}{29} + \frac{W}{18} \right) \quad (16)$$

- **Temperatura de bulbo húmedo (T_{bh})**

Se trabaja con dos temperaturas de bulbo húmedo cuando se analiza la mezcla aire-vapor, siendo la temperatura de bulbo húmedo psicrométrica y la temperatura de bulbo húmedo termodinámica (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2014). La temperatura del bulbo húmedo, psicrométrica se adquiere cuando el bulbo de un termómetro de mercurio es cubierto con un paño húmedo y expuesto a una corriente de aire sin saturar y que fluye a elevadas velocidades (alrededor de 5 m/s). Por lo cual, cuando el paño sometido a aire sin saturar, el agua se evapora debido a que la presión de vapor de paño húmedo saturado es mayor que la del aire sin saturar (Singh & Heldman, 2014).

2.4.4 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

Los diagramas psicrométricos están integrados en las curvas que representan las propiedades del aire tales como temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, volumen específico del aire, temperatura del rocío, humedad absoluta y relativa, y entalpía. En la figura 10 se muestra el diagrama psicrométrico y representa las coordenadas básicas como es la temperatura del bulbo seco y la humedad en el eje de las coordenadas (Singh & Heldman, 2014).

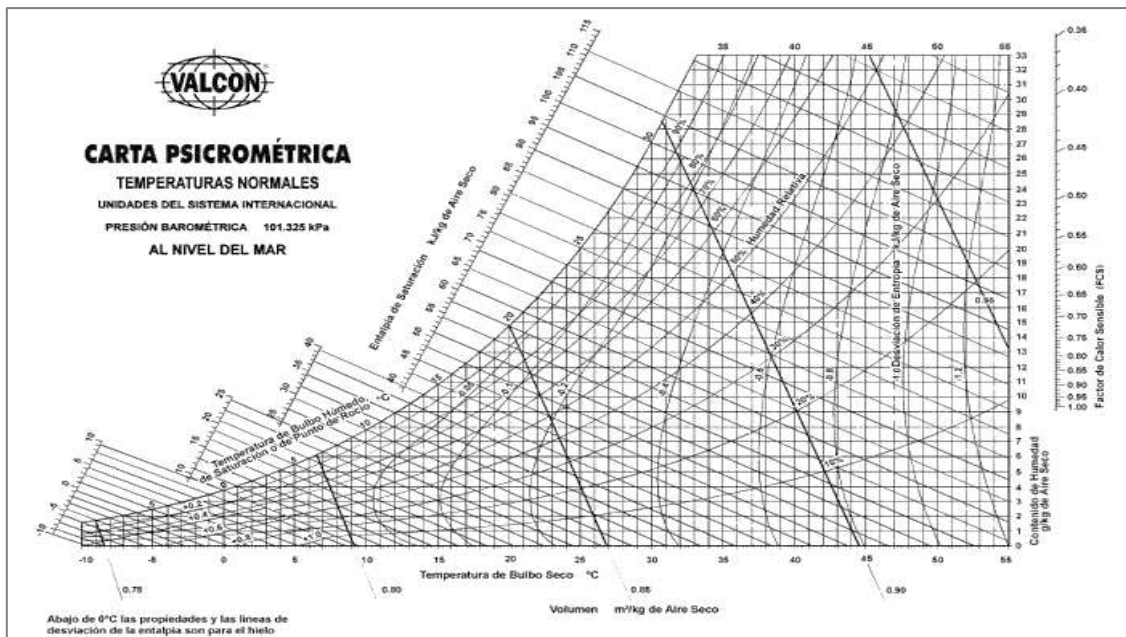


Figura 13. Diagrama Psicrométrico

Singh & Heldman (2014)

2.4.5 PARÁMETROS DEL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN QUE INFLUYEN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN LOS POLVOS PULVERIZADOS.

La tecnología de secado por atomización es un método muy utilizado en la industria alimentaria depende de gran importancia de las propiedades de alimentación (viscosidad, concentración de sólidos y tensión superficial), diseño del equipo (presión de atomización y velocidad de ventiladores) y de la configuración de los parámetros de operación (temperaturas de secado y flujo de alimentación) (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015). Cada uno de estos parámetros influyen en la calidad del producto final lo cual es en términos de humedad, tamaño de la partícula y el área más importante es las propiedades de los alimentos.

2.4.5.1 Propiedades propias del producto de alimentación

La propiedad de los sólidos solubles es uno de los factores más relevante en el secado por atomización, influyendo en el producto final. Por lo cual, los materiales con bajo nivel de solidos solubles presentas inconvenientes al momento de secar, debido a que el producto final se obtendría viscoso, higroscópico y un difícil manejo de manipular.

Además, el aumento de solidos disminuye el contenido de humedad. Sin embargo, mayor sea la concentración se incrementa la viscosidad permitiendo incrementar la viscosidad y reduce su estructura porosa (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

2.4.5.2 Agentes coadyudantes de secado (encapsulantes)

En la industria alimentaria existe un gran número de agentes encapsulantes que se utilizan en el proceso de encapsulación con el fin de evitar la degradación total de los compuestos, debido al momento de trabajar con temperaturas altas. Además de tener la función de proteger los compuestos bioactivos, presentan otros beneficios: los almidones presentan una excelente retención de compuestos volátiles durante la etapa de secado, presenta una protección pobre a la oxidación (Nava Reyna et al., 2015b).

Según Ishwarya & Anandharamakrishnan (2015), el tamaño de la gota es de gran importancia, debido a que ayuda a la retención del núcleo en la etapa de encapsulación al pasar por el área de atomización. Por lo cual que, al presentar un gran tamaño, presenta una menor retención del núcleo. Además, la concentración de encapsulante está relacionada al tamaño de la partícula, lo cual otorgaría la retención del núcleo del alimento atomizar.

Al trabajar con temperaturas altas, pero no muy altas que perjudique al producto final, permite que en la primera etapa se forme inmediatamente una costra protectora alrededor de la gota, protegiendo a los diversos compuestos bioactivos, que son afectados por diversos factores; pH, luz, oxígeno y temperatura.

La maltodextrina presenta una excelente protección contra la oxidación, conserva el sabor inicial, pero es pobre en la captación de compuestos volátiles. La goma arábiga es uno de los encapsulantes utilizados por varios años debido a su gran propiedad emulsificante y una excelente retención de compuestos volátiles, sin embargo, su captación de oxidación es limitada (Libreros, 2013).

Según Tolun et al. (2016), señala que obtuvo mayor contenido de polifenoles en orujo de mora al trabajar con una concentración de encapsulante baja y temperatura baja. Además, obtuvo un nivel alto de capacidad antioxidante al trabajar con concentraciones bajas. Por lo cual da a la formación de gotas pequeñas y al trabajar con niveles altos de concentración, aumenta el tamaño de la gota, obteniendo un producto que no contiene compuestos bioactivos.

2.4.5.3 Temperatura de entrada y salida del aire

En el secado por atomización se trabaja con temperaturas en un rango entre 150 y 220°C, encargada del contenido de humedad, tamaño de la partícula y el color. El contenido de humedad final se afecta considerablemente, al trabajar con temperaturas altas para la obtención de polvos (Libreros, 2013), menciona que al trabajar con temperaturas de entrada influyen en la humedad del producto final debido a la transferencia de calor, la humedad disminuye si la tasa de flujo de alimentación permanece constante.

Las temperaturas elevadas de entrada, permiten que las gotas entren en contacto en la cámara de secado con el aire caliente, por la cual sufren la pérdida del contenido de agua por lo cual la humedad reduce. Además, las temperaturas elevadas permiten la formación de una delgada membrana en la superficie de gota, conocida como costra, el cual otorga un beneficio en proteger el núcleo del material permitiendo no ocasionar daños, reduce su densidad y produce estructura porosa y hueca (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

De acuerdo con (Corrêa et al., 2016), en su estudio realizado en hojas de café que la formación de costras conduce el material con mayor cantidad de humedad, al trabajar con temperaturas altas produce que el componente retenido en su interior aumente conservando sus compuestos bioactivos. Además, estudios realizados en polvo de café (Villegas-Santiago et al., 2020), polvo de polifenoles (Tolun et al., 2016a), polvo de acai (Tonon et al., 2008) y polvos de berenjena (Sarabandi et al., 2019), señalan que al aumento de temperatura de secado disminuye la humedad, debido a la tasa de transferencia de calor, mejorando el rendimiento de secado y obteniendo un producto microbiológicamente seguro y estable.

En cuanto a los compuestos bioactivos, presento una disminución significativa del contenido de polifenoles totales entre temperaturas de 120-160°C, además presentamos un alto contenido de compuestos antioxidantes en temperaturas superiores de los 180°C, (Tolun et al., 2016a) (Santiago-Adame et al., 2015a; Tolun et al., 2016b), mencionan que está relacionado a la polimerización del polifenol a altas temperaturas.

Un buen rendimiento depende del porcentaje de encapsulante y de una temperatura optima de secado, además al trabajar con temperaturas bajas y un flujo de alimentación alto el rendimiento es afectado de manera negativa. Otros estudios afirman que al trabajar con una temperatura de entrada alto y un flujo de alimentación bajo aumenta el rendimiento del producto final (Villegas-Santiago et al., 2020).

Los compuestos fenólicos presentan una reducción en su contenido cuando se trabaja con temperaturas altas debido a que estos compuestos son termosensibles.

Al trabajar el extracto con maltodextrina como encapsulante, se pudo otorgar que la actividad antioxidante se pueda preservar trabajando con temperaturas altas.

2.4.5.4 Flujo de alimentación

El flujo de alimentación es una variable que afecta al producto final, acompañada con las otras variables del proceso, por su gran interacción con la temperatura y concentración de encapsulante. De acuerdo con Libreros (2013), cuando aumenta el flujo de alimentación, presenta un aumento de humedad en el producto final, debido a que se requiere una mayor temperatura para extraer o eliminar el agua de las gotas, además relaciono que un aumento de temperatura y un flujo de alimentación alto disminuye el rendimiento del producto.

Según (Tonon et al., 2008), explica que flujos de alimentación altos otorgan un corto tiempo en la cámara de secado, ocasionando una transferencia de calor corta con menor eficiencia y tasa de evaporación baja, lo que ocasiona obtener un producto con humedad alta, partículas porosas. Por lo cual es necesario bajar la velocidad de flujo de alimentación y aumentar la temperatura de entrada.

2.5 EVALUACIÓN SENSORIAL

La determinación de la calidad de un alimento está relacionada con la cantidad, calidad nutricional y seguridad alimentaria. Además, la aceptación o rechazo del alimento es los consumidores se realiza mediante la preferencia en el color, sabor, textura, entre otros. Razón por la cual, es de gran importancia realizar pruebas sensoriales del alimento que va entrar al mercado (Lira, 2007).

Por lo cual, la evaluación sensorial es una disciplina científica que permite medir, analizar, y obtener las respuestas del producto final, a través de los sentidos: vista, olfato, gusto y oído (Kemp et al., 2017).

2.5.1 PRUEBAS SENSORIAL EN BEBIDA DE CAFÉ

Las pruebas sensoriales del café, mediante los sentidos permite obtener los defectos que presente la bebida como es la acidez, intensidad, dulzor, aroma y calidad del producto final (Puertas, 2016). Los componentes aromáticos es uno de los más importantes en la bebida del café (Folmer, 2017). Según Puertas (2016), menciona

que en el café hay aproximadamente 850 compuestos volátiles. Por lo cual la obtención del sabor está relacionada con la textura y la temperatura y son calificados por el tacto, el olfato y el gusto.

Además, el contenido del aroma y sabor están relacionados a diversos factores como es: la especie de café, madurez, fermentación, procesamiento secundario y la preparación. Por otro lado (Angeloni et al., 2019), indica que los diferentes métodos de extracción cambian el perfil sensorial, la bebida de café extraídas a altas temperaturas presente un nivel alto de acidez con un intenso dulzor.

2.5.2 MÉTODOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL

Las evaluaciones sensoriales constan de un conjunto de técnicas, que permiten determinar la calidad de las materias primas como el producto final, el control de las diversas etapas de procesamiento y aceptabilidad del producto con los consumidores (Severiano-Pérez, 2019).

2.5.3 PRUEBAS HEDÓNICAS

Otoño (2014), indica que el catador expresa su reacción ante el producto, dando a conocer si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza. La valoración sensorial de un producto es la reacción que se obtiene ante las diversas respuestas de los consumidores mediante las propiedades físicas, químicas del producto.

Además, para las pruebas afectivas de trabaja con un mínimo de 25 personas no entrenados, deben ser consumidores habituales del producto. La Escala hedónica verbal permite medir el nivel de aceptabilidad de un producto o alimento, se aplica para la aceptación o rechazo del producto. Se trabaja con una escala hedónica de 9 puntos, hasta un mínimo de 5 puntos (Otoño, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El desarrollo experimental se realizó en el Laboratorio de Bioprocesos y Unidades Edu-productivas de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial Universidad Técnica del Norte, ubicada en la ciudad de Ibarra, parroquia El Sagrario.

La materia prima utilizada para la investigación fue café verde de la especie *coffea arábica L.* variedad castilla, proveniente de la Asociación “Bosque Nublado Golondrinas”, de la parroquia rural Jacinto Jijón y Caamaño, cantón Mira, provincia del Carchi.

Los análisis realizados en las muestras de café en polvo se realizaron en los Laboratorio de Unidades Eduproductivas y en el Laboratorio de Análisis Físicos Químicos y Microbiológicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. Por último, los análisis funcionales (actividad antioxidante, polifenoles y flavonoides totales) se realizaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) Estación Experimental Santa Catalina, en el Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación de Alimentos correspondiente al Departamento de Nutrición y Calidad, ubicada en el sector de Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha En la Tabla 8 se exponen las condiciones climatológicas de los lugares donde se desarrolló la experimentación.

Tabla 7. Condiciones climatológicas de las áreas de investigación

Condiciones climatológicas	Unidades Eduproductivas	INIAP
Provincia	Imbabura	Pichincha
Cantón	Ibarra	Mejía
Parroquia	El Sagrario	Cutuglagua
Temperatura	17,7° C	18,0° C
Altitud	2250 m.s.n.m	3050 m.s.n.m
HR promedio	73%	76%
Latitud	00°19'47" Sur	00°22'00" Sur
Longitud	78°07'56" Oeste	78°33'00" Oeste

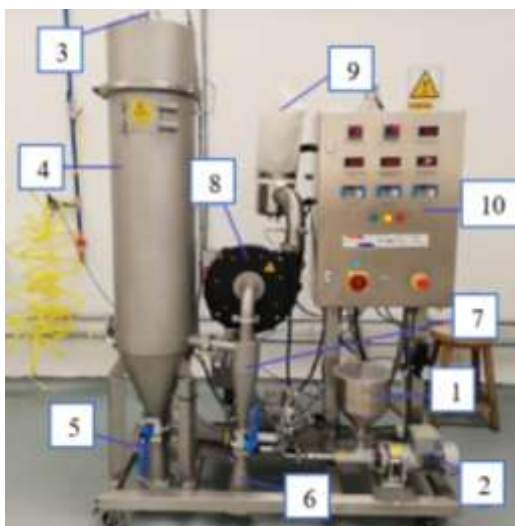
Fuente: INAMHI (2020)

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

La materia prima, insumos y reactivos que se utilizaron para el desarrollo de la investigación se enumeran en la Tabla 8.

3.2.1 ESPECIFICACIONES DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN

El equipo de secado por atomización ARMFIEL FT8, es un equipo compacto y móvil, presenta un ligero y fácil desmonte y limpieza. El equipo trabaja con temperaturas de secado de 50°C a 250°C, con un flujo de alimentación de 7l/h y adquiriendo unas tasas de evaporación entre 1,50 a 3l/h. el equipo de secado por atomización tiene dos fluidos, el cual permite atomizar en paralelo o contracorriente.



Nota: 1) Tolva de alimentación; 2) Bomba de alimentación; 3) Boquilla de pulverización; 4) Cámara de secado; 5) Vaso de recolección; 6) Recipiente de recolección del ciclón; 7) Separador ciclónico; 8) Ventilador de escape; 9) Filtro de bolsa y 10) Panel de control.

Los diversos parámetros de secado se manejan desde el panel de control del equipo (10), como es la temperatura, flujo de alimentación, velocidad de los ventiladores, humedad relativa, presión de alimentación, ciclón y cámara de secado. El proceso inicia cuando el producto es ingresado en el área de alimentación (1), es manejado por una bimba enviado a la parte superior de la cámara de secado (2), con un flujo lento y caudal constante.

El producto es atomizado por una boquilla de dos fluidos (3), el producto ingresa a la cámara de secado (4), en el interior de la cámara de secado el producto entra en contacto con el aire caliente, ocasionado la evaporación y disminución del contenido de agua, de la superficie del alimento. El ventilador centrifugo (8), proporciona control al flujo de aire de entrada, otorgando estabilidad en la temperatura de entrada.

El otro ventilador retira aire de la cámara de secado (7), el mismo que pasa por un filtro (9), el equipo presenta dos áreas de recolección del polvo atomizado uno se encuentra en la cámara principal (5), y el otro es el separador ciclónico (6), esto permite que el polvo atomizado con diferente tamaño se recoja por separado.

Tabla 8. Materiales y Equipos empleados en la investigación

Materia prima	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Granos verdes de café arábica variedad Castillo 	<ul style="list-style-type: none"> • Trolox (ácido 6 – hidroxil – 2,5,7,8 – tetrametilcroman – 2 – carboxílico) • ABTS (ácido – 2,2 – azinobis (3 – etilbenziazolina) – 6 – sulfónico)
Insumos	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido gálico monohidratado
<ul style="list-style-type: none"> • Maltodextrina (DE 10-12) • Goma arábica 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivo de Folin & Ciocalteu • Carbonato de sodio 99,5% • Fosfato de sodio monobásico • Fosfato de sodio dibásico grado reactivo
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Catequina hidratante 98%
<ul style="list-style-type: none"> • Tostadora de café • Evaporador FT22 • Atomizador FT80 • Estufa • Refractómetro • Espectrofotómetro UV-VIS • Cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Persulfato de Potasio • Metanol grado reactivo al 99,5% • Cloruro de aluminio hexadhidratado • Nitrito de sodio • Hidróxido de sodio • Metanol grado P.A y HPLC • Ácido fórmico 98-100% grado P. A • Acetonitrilo grado HPLC

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 FACTORES EN ESTUDIO

Los factores en estudio que se determinan para esta investigación se empleó una metodología cualitativa y cuantitativa, los análisis están relacionados en el orden de los objetivos específicos planteados en la investigación.

3.3.2 DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN GRANOS DE CAFÉ ARÁBIGO VARIEDAD CASTILLO TOSTADO

Para el cumplimiento del primer objetivo específico se inició con el tostado de los granos de café arábigo variedad castillo, mediante la metodología descrita por (Wongsa et al., 2019), posteriormente se realizó los análisis de compuestos funcionales: actividad antioxidante ABTS⁺, compuestos fenólicos (polifenoles y flavonoides totales) y ácidos fenólicos (cafeico, clorogénico, ferúlico y cumarico), los mismos que se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Métodos para la Evaluación de las Características Funcionales de Café Tostado

Etapa del proceso	Variables	Metodología o instrumento
Café tostado	Actividad antioxidante	Método ABTS ⁺
	Flavonoides totales	Espectrofotometría
	Polifenoles totales	Método Folin – Ciocalteu
	Ácido clorogénico	Cromatografía HPLC
	Ácido cafeico	
	Ácido cumarico	
	Ácido ferúlico	

3.3.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MÉTODO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, COMPUESTOS ANTIOXIDANTES Y SENSORIALES DEL PRODUCTO FINAL.

Con la finalidad de dar cumplimiento al segundo objetivo específico se realizó análisis físicos, funcionales y sensoriales a las muestras de café en polvo obtenidas en la investigación.

3.3.3.1 Análisis físicos

Los análisis físicos que se realizaron a las muestras de café en polvo fue la determinación del contenido de humedad de acuerdo con el método descrito en la Tabla 10.

Tabla 10. Variables Físicas Evaluadas en el Producto Final

Variable	Metodología o Instrumento
Humedad	AOAC930.15

3.3.3.2 Análisis de compuestos antioxidantes

Los análisis que se realizaron a los polvos de café obtenidos mediante el método de secado por atomización fueron: actividad antioxidante ABTS⁺ y compuestos fenólicos (polifenoles y flavonoides totales), los mismos que se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11. Variables Funcionales Evaluadas en el Producto Final

Variabes	Metodología o Instrumento
Actividad antioxidante	Método ABTS ⁺
Flavonoides totales	Espectrofotometría
Fenoles totales	Método Folin – Ciocalteu

3.3.3.3 Análisis de aceptación sensorial

Durante la investigación se llevó a cabo la evaluación sensorial del producto final, mediante una prueba hedónica las variables a considerar: color, olor, sabor y aceptación final. La evaluación estuvo conformada por 25 participantes sean consumidores frecuentes de café o hayan consumido una sola vez café. Cada uno de los participantes se les proporciono las muestras de café (8 tratamientos) y agua.

3.3.3.4 Análisis sensorial dirigido al consumidor: prueba hedónica con consumidores

Se realizó una prueba directamente al consumidor realizada por personas no entrenadas. Se les presento a los consumidores diferentes muestras acompañadas de la ficha de evaluación solicitando colocar una x en la cuadrilla con sus preferencias (Otoño, 2014).

Se aplicó una prueba orientada al consumidor (POC) llevada a cabo por individuos no entrenados (Maritza, 2020). Se realizó el siguiente orden.

1. Se prepararon la bebida del café jarras de 1000 ml al 1.4% de café arábica variedad castilla (14 gramos de café, 986 gramos de agua y 5% p/v de sacarosa) para 25 muestras por tratamiento, se realizó a 80°C temperatura de ebullición.
2. Se presentaron en recipientes idénticos, pero con su respectiva codificación de cada tratamiento para no ser confundidos.
3. Se repartieron las muestras de todos los tratamientos de la bebida del café.
4. El consumidor presentó su respuesta en la ficha entregada, calificando su percepción a una escala hedónica de 1 a 5.

3.4 PROCESO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE CAFÉ EN POLVO ATOMIZADO

3.4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la interpretación de los resultados de las variables cuantitativas (análisis físicos y funcionales) se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial A x B x C.

3.4.1.1 Factores de Estudio

La presente investigación considero los siguientes factores de estudio, los cuales se presentan en la tabla 12.

El factor A, es referente al material de recubrimiento empleados en la investigación fueron maltodextrina y goma arábica mezclados trabajando a una proporción de 75% y 25%, respectivamente, de acuerdo con Gutiérrez et al. (2006), mencionan que el material de recubrimiento influye en las propiedades de los polvos atomizados.

Además, los factores de estudio temperatura factor B y el flujo de alimentación factor C, se eligieron mediante estudios de secado por atomización (Angeloni et al., 2019; Gutiérrez, Muñoz, de Villavicencio, et al., 2006).

Tabla 12. Factores de estudio de la investigación

Factor A	Concentración de encapsulantes	
	A1	5%
	A2	12%
Factor B	Temperatura de secado del atomizador	
	B1	150 – 80 °C
	B2	180 – 90 °C
Factor C	Flujo de alimentación	
	C1	10 ml/min
	C2	7 ml/min

3.4.1.2 Tratamientos estadísticos

Se trabajo con una combinación de los factores de estudio A, B, C (Concentración de encapsulante, temperatura de secado y flujo de alimentación), donde se conformó 8 tratamientos estadísticos, se detallan en la tabla 13.

Tabla 13. Variables tratamientos Estadísticos

Tratamientos	Combinaciones	Descripción
T1	A1B1C1	5%, 150 – 80 °C, 10 ml/min
T2	A1B1C2	5%, 150 – 80 °C, 7 ml/min
T3	A1B2C1	5%, 180 – 90 °C, 10 ml/min
T4	A1B2C2	5%, 180 – 90 °C, 7 ml/min
T5	A2B1C1	12%, 150 – 80 °C, 10 ml/min
T6	A2B1C2	12%, 150 – 80 °C, 7 ml/min
T7	A2B2C1	12%, 180 – 90 °C, 10 ml/min
T8	A2B2C2	12%, 180 – 90 °C, 7 ml/min

Tabla 14. Características del experimento

Número de tratamientos	8
Número de repeticiones por tratamiento	3
Unidades experimentales	24

3.4.1.3 Análisis estadístico

El esquema del análisis estadístico utilizado en la investigación se detalla en la siguiente Tabla 15.

Tabla 15. Esquema ADEVA para un diseño de bloques completamente al azar AxBxC

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	23
Tratamientos	7
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	1
Interacción (AxB)	1
Interacción (AxC)	1
Interacción (BxC)	1
Interacción (AxBxC)	1
Error experimental	16

La determinación del coeficiente de variación se realizó según la Ecuación 1. En caso de detectarse diferencias significativas entre los tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5%, y entre los factores se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5%.

Ecuación 17. *Coeficiente de variación*

$$CV = \frac{\sqrt{CME_{Exp}}}{x} * 100 \tag{17}$$

Siendo:

CV = Coeficiente de variación

CM = Cuadrado medio

E_{Exp} = Error experimental

X = Media

3.4.2 MANEJO ESPECIFICO DEL EXPERIMENTO

El proceso para la obtención de café en polvo mediante el secado por atomización se describe en el siguiente diagrama, Figura 14.

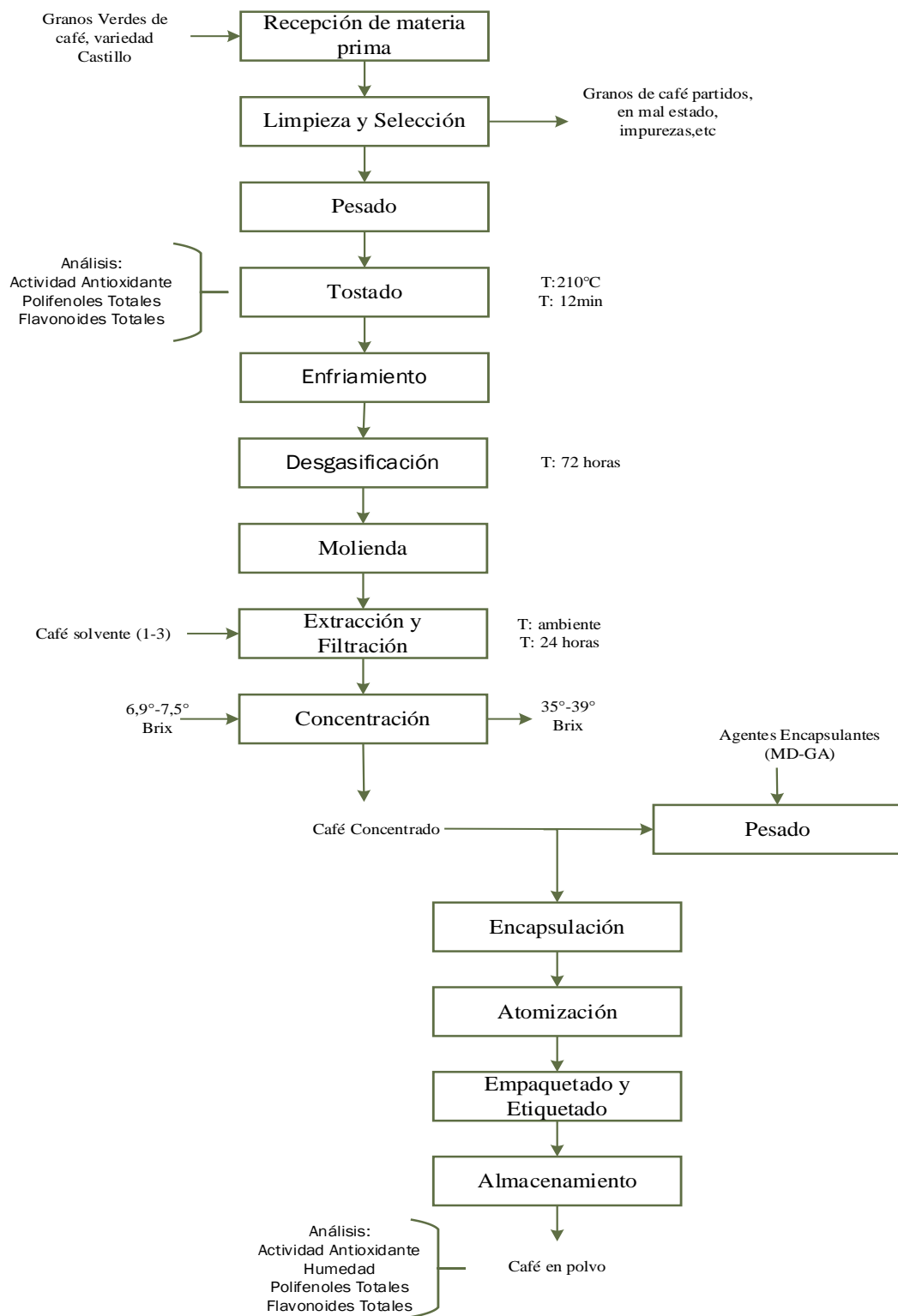


Figura 14. Diagrama de Proceso para la Obtención de Café en Polvo

3.4.2.1 Descripción del proceso para la obtención de café en polvo

- **Recepción de la materia prima**

El proceso de café se inicia a partir de la recepción del grano de café verde de la variedad Castillo se obtendrá de la asociación “Bosque Nublado Golondrinas” ubicado en la provincia del Carchi en la parroquia Jacinto Jijón y Caamaño. Se trabajará con granos de café verde sin pergamino, se procederá a eliminar cualquier tipo de impurezas como ramas, hojas.



Figura 15. Recepción de Granos Verdes de Café Castillo

- **Tostado**

Para la etapa de tostado se utilizará un equipo tostador encargado de dar la coloración y la humedad esto dependerá del grado de tostado, procederá a tostar en cantidades de 500 g de acuerdo con las condiciones de temperatura y tiempo (210°C y 12 min) propuestas por (Wongsa et al., 2019). Posterior al tostado, el grano de café se enfriará rápidamente.



Figura 16. Tostado de los Granos de Café

- **Desgasificación**

Los granos de café tostado y fríos se los coloca en fundas desgasificadoras por 72 horas, permite la salida del gas carbónico de los granos de café, ayudando así la incorrecta extracción del café.



Figura 17. Bolsas Desgasificadoras de Café

- **Molienda**

Luego de haber transcurrido las 72 horas los granos de café son sometidos al área de molienda, se molerán en un molino adecuado de café que corresponden a una molienda gruesa (Folmer, 2017).



Figura 18. Molienda de Café Tostado

- **Extracción**

A partir del grano de café molido se procede a la extracción que se realizará corresponde a una extracción en frío por inmersión que de acuerdo con Folmer (2017) esta técnica consiste en sumergir los granos de café molidos en agua a temperatura ambiente por un período relativamente largo de 12 a 24 horas. La relación de café y solvente será de 1:3. El extracto de café será filtrado con doble malla de tela y finalmente con filtro de papel



Figura 19. Extracción en Frío

- **Concentración**

Se emplearán el método de evaporación al vacío con un evaporador de película ascendente. Se trabajo con una concentración inicial de 7,0 – 7,5° Brix y se obtuvo una concentración entre 35 – 38° Brix, el proceso de concentración inicio con la limpieza del equipo, luego se prendió la bomba del vacío y se estableció la presión de trabajo, se colocó el extracto de café castillo en el área de alimentación, finalmente el café concentrado se conservó en refrigeración.

- Presión de vapor: 0,15 – 0,20 bar
- Presión de vacío: -0,8 a -0,72 bar
- Flujo de agua helada: 6 – 9 l/h
- Flujo de alimentación: 6 – 8 l/min
- Temperatura de evaporación: 46,8 – 54°C



Figura 20. Concentración a Vacío

- **Encapsulación**

Las concentraciones que se emplearán para los materiales de encapsulación fueron maltodextrina y goma arábica en proporciones de 75% MD y 25% GA. Los

materiales de encapsulación se añadieron al café concentrado a una temperatura de 40°C, luego se agito vigorosamente hasta alcanzar una mezcla homogénea, finalmente se dejó en reposo por 60 minutos antes de ser utilizado.



Figura 21. Proceso de Encapsulación

- **Secado por atomización**

El café soluble o también llamado Spray Dried Armfield modelo FT80, inicia con la mezcla de encapsulantes (37 a 41° Brix) al introducirlo al atomizador. El café encapsulado es bombeado a la torre de secado donde se procederá a atomizar a partir de la boquilla donde el producto en un ambiente con un flujo caliente se obtiene partículas pequeñas de café atomizado y así se obtiene el café en polvo. De acuerdo con la metodología de Gomes et al., (2016), a la presión y flujo de aire entre (1 – 3 bar, 3,5 – 5,5 m³/min) respectivamente, la temperatura de salida (90°C) también será constante. Se obtendrá un polvo de café seco con una humedad final inferior al 5% (Folmer, 2017).

- Temperatura de entrada y salida: Factor A (150 – 80° C)

Factor B (180 – 90° C)

- Humedad relativa: Inicio del proceso: 0,2 – 0,4%

Final del proceso: 1,1 – 7,30%

- Presión de la cámara: 4,96 – 8,23 mbar
- Presión diferencial del ciclón: -3,6 a – 8,82 mbar
- Presión de alimentación: 0,31 – 0,17 bar
- Presión de aire comprimido: 0,4 mbar

- Ventilador de entrada: 40 Hz
- Ventilador de salida: 45 Hz
- Flujo de alimentación: Factor A (10 ml/min)
Factor B (7 ml/min)



Figura 22. Secado de Café por Atomización

- **Almacenamiento**

El producto que se recogerá de la cámara de salida se empaquetará en bolsas de polietileno de alta densidad, se envolverán en papel de aluminio y se almacenarán en un desecador a temperatura ambiente (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).



Figura 23. Empacado de las Muestras de Café

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de la investigación titulada “Efecto de los parámetros de encapsulación, temperatura, concentración y flujo de alimentación de secado por atomización sobre la actividad antioxidante en café arábigo *coffea arábica l.* variedad castillo”, con la finalidad de determinar la influencia de los factores de estudio sobre los compuestos bioactivos de café en polvo secado por atomización.

4.1 CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LA MATERIA PRIMA

Las muestras de café *arábica L.* de la variedad castilla, obtenidas de la asociación “Bosque Nublado Golondrinas, fueron sometidas a condiciones definidas de temperatura y tiempo de tostado (210°C y 12 minutos), los componentes bioactivos determinados son: polifenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante (por el método ABTS) y cuantificación de los compuestos fenólicos (ácidos: clorogénicos, cafeico, felúrico y cumarico). Donde los análisis permitieron determinar el contenido funcional de los granos de café tostado, que se utilizaron en el proceso de atomización para obtener producto soluble.

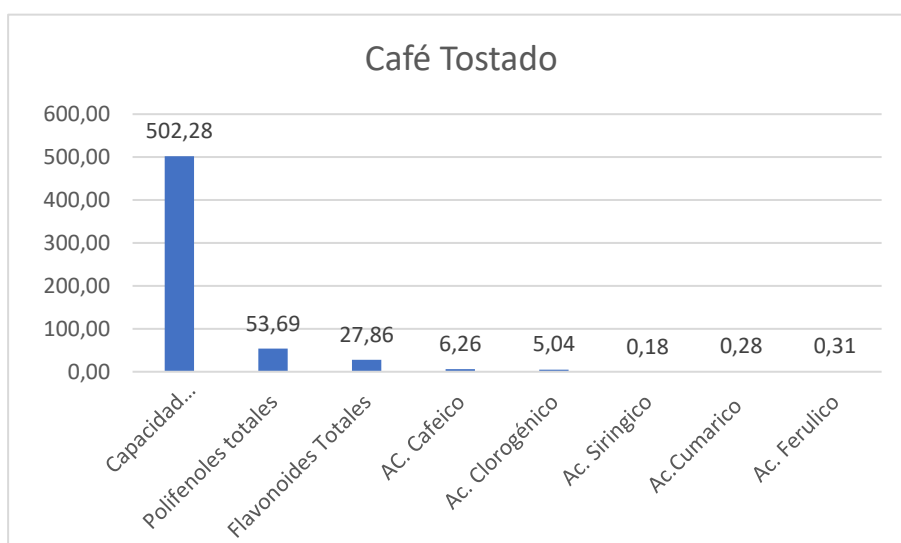


Figura 24. Actividad Antioxidante y Compuestos Fenólicos del Café Tostado

Tabla 16. Caracterización Funcional del café tostado

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado
Actividad antioxidante ABTS ⁺	μmol Trolox/g	502,28 ± 1,61
Flavonoides totales	mg EAG/ g	27,86 ± 0,45
Polifenoles totales	mg EC/g	53,69 ± 0,66
Ácido clorogénico	mg ácido/g	5,72 ± 0,27
Ácido cafeico	mg ácido/g	1,26 ± 0,17
Ácido ferúlico	mg ácido/g	0,31 ± 0,32
Ácido siríngico	mg ácido/g	0,18 ± 0,21
Ácido cumárico	mg ácido/g	0,28 ± 0,36

Nota: Los resultados se expresan como el promedio de dos mediciones, ± desviación estándar.

4.1.1 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

De acuerdo con Abrahão et al. (2019), la actividad antioxidante del café no depende solamente del contenido de compuestos polifenoles, sino también de diversos compuestos generados durante el tostado, donde la mayor cantidad de antioxidantes se cuantificaron en el café con un tostado medio. Por lo cual, el proceso de tostado se trabajó a 210°C de temperatura y 12 minutos de tiempo, asimismo los análisis establecieron que los responsables de la actividad antioxidante son los ácidos clorogénicos (específicamente el ácido cafeico y ferúlico), flavonoides y polifenoles en todos los casos (pero con distinta incidencia).

Además, se pudo observar que el ácido siríngico posee una relación inversamente proporcional a la actividad antioxidante, debido a existir un incremento de la capacidad antioxidante existirá una disminución del Ac. Siríngico y viceversa.

Así es como Benavides et al. (2021), en sus estudios realizados en café arábica tostado bajo parámetros similares, reporto una actividad antioxidante de 483,84 μmol Trolox/g, siendo este resultado inferior al obtenido en este trabajo.

4.1.2 POLIFENOLES TOTALES

Según Celinda (2016), los polifenoles se descomponen y forman las aminas volátiles, materiales poliméricos y la liberación de CO₂, se obtiene por la mezcla de carbohidratos y azúcares mediante la reacción de Maillard, provocando la

reducción de la actividad antioxidante en la bebida del café. Según Benavides et al. (2021) no existe un rango óptimo en el contenido de polifenoles totales en café tostado.

Sin embargo Abrahão et al. (2019), el incremento de polifenoles totales, con bajo peso molecular las melanoidinas se activan por altas temperaturas de tostado. Se observa que en la muestra de café tostado disminuyó afectando notablemente la composición de los polifenoles de café castilla, En cambio Atavillos-Dominguez et al. (2020), reportó un rango de polifenoles totales entre $19,76 \pm 0,10$ mgEAG/g en café tostado y molido (*Coffea arábica L.* variedad castillo).

Barrera (2014), en su estudio de Composición química y nutracéutica del residuo sólido del café (*Coffea arábica L.*), menciona que en un tostado medio de café la actividad antioxidante es más alta, debido al equilibrio de los polifenoles totales y a la generación de productos en la reacción de Maillard durante el proceso de tostado (210°C-12min).

4.1.3 FLAVONOIDES TOTALES

El contenido de flavonoides totales que reporta Benavides et al. (2021), trabajados con los mismos parámetros presente en las muestras de café puras, un contenido de flavonoides totales de 9,30 a 14,81 mg EC/g. Los resultados obtenidos del café arábica tostado a 210°C y 12min identifica que el contenido de flavonoides totales en café tostado es consistente con su estudio.

4.1.4 ÁCIDOS FENÓLICOS

El ácido clorogénico en los últimos años es objetivo principal para diversas investigaciones que permite resaltar la actividad antioxidante, obteniendo diversos beneficios saludables para los consumidores. Por esta razón se trata de conservar los compuestos bioactivos presente en el café arábica que permita ofrecer calidad (Farah, 2019).

Los ácidos clorogénicos son los principales polifenoles del café, sin embargo durante el proceso de tostado a altas temperaturas induce la lactonización y polimeración dando lugar a la formación de melanoidinas, a pesar de que la

degradación de polifenoles inicialmente del café presenta un gran impacto en las propiedades fisicoquímicas (Vignoli et al., 2011).

Los resultados obtenidos del ácido clorogénico, respecto a Farah & Donangelo (2006) , es 0,51 a 6,00 % del contenido total en café tostado, bajo condiciones de grado de tostado y condiciones. Pero Felix (2009), reporto en su estudio cantidades superiores en granos verdes y tostado, siendo de $117,00 \pm 0,88$ y $11,14 \pm 0,134$ mg ácido/g, las diferentes variaciones es debido a las condiciones climáticas y prácticas agrícolas. El contenido de ácidos cafeico, felúrico y cumarico se aprecia con los valores reportados en la investigación de (Benavides et al., 2021).

4.2 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Los parámetros del proceso de secado por atomización se evaluaron sobre las variables físicas, funcionales y sensoriales en café en polvo, respecto a los factores principales de estudio como es la concentración de encapsulante, temperatura de secado y flujo de alimentación. A continuación, se describen los resultados referentes a las variables mencionadas en el proceso de secado por atomización de café.

4.2.1 ANÁLISIS FÍSICOS

Las variables físicas que se evaluó en el café en polvo corresponden a la humedad, que es un representante de índice de estabilidad en la conservación y vida útil del café *arábica L.* variedad castillo en polvo.

Las diferencias significativas de las propiedades física fueron contrastadas en el análisis de varianza, prueba de Tukey en el polvo de café arábica variedad castilla concentrado de maltodextrina y goma arábica. Se utilizo la prueba de shapiro para verificar la normalidad del modelo, donde se obtuvo $p=0,55$, el coeficiente de variación de 16,23%.

El análisis de varianza presento diferencias altamente significativas ($p \leq 0,05$) en los tratamientos y el Factor B (Temperatura de secado) para el contenido de humedad, los factores que no presentaron valores no significativos fueron, Factor

A (Concentración de encapsulante) y Factor C (Flujo de alimentación) sobre la variable humedad.

4.2.1.1 Contenido de Humedad

El proceso de secado por atomización fue muy eficiente debido a que el café en polvo presentaba una humedad baja otorgándole un beneficio positivo al producto final, además la humedad se cuantificó por medio de la balanza infrarroja.

La humedad es un control importante y de mayor uso en el proceso y conservación de los alimentos. Un alto contenido de humedad ocasiona pérdidas en la calidad, proteína e induce la acidez de igual manera afecta a las diversas estructura física y contenido nutricional (Noroña, 2018).

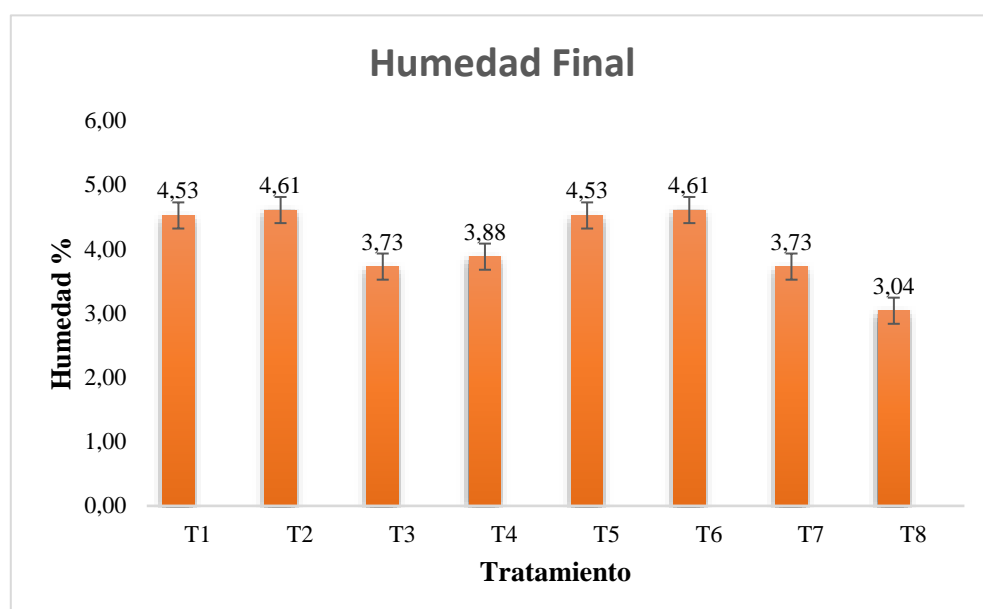


Figura 25. Contenido de Humedad (%)

El tratamiento que presentó un menor contenido de humedad fue T8 (12%, 180 – 90 °C, 7 ml/min), mientras que los tratamientos T1 (5%, 150 – 80 °C, 10 ml/min), T5 (5%, 150 – 80 °C, 10 ml/min), T2 (5%, 150 – 80 °C, 7 ml/min) y T6 (5%, 150 – 80 °C, 7 ml/min), mostraron un aumento significativo de humedad. Las diferencias significativas de los datos experimentales fueron contrastadas en el análisis de varianza, tal como se muestra en la Tabla 18.

Los Factores B (Temperatura) y C (Flujo de alimentación), muestra un efecto significativo en el contenido de humedad de las partículas, de esta manera se observó que, a temperaturas bajas de secado, el contenido de humedad de las muestras aumenta. Esto se da al tiempo que tiene en la cámara de secado.

Los resultados del café atomizado se obtuvieron de 3,04% y 4,61%, valores consistentes con Huang & Zhang (2013), que obtuvo valores similares. Por lo cual, todas las muestras de café atomizado se encuentran por debajo del límite superior del 5%, de acuerdo con la NTE INEN 1122 (2013), norma ecuatoriana.

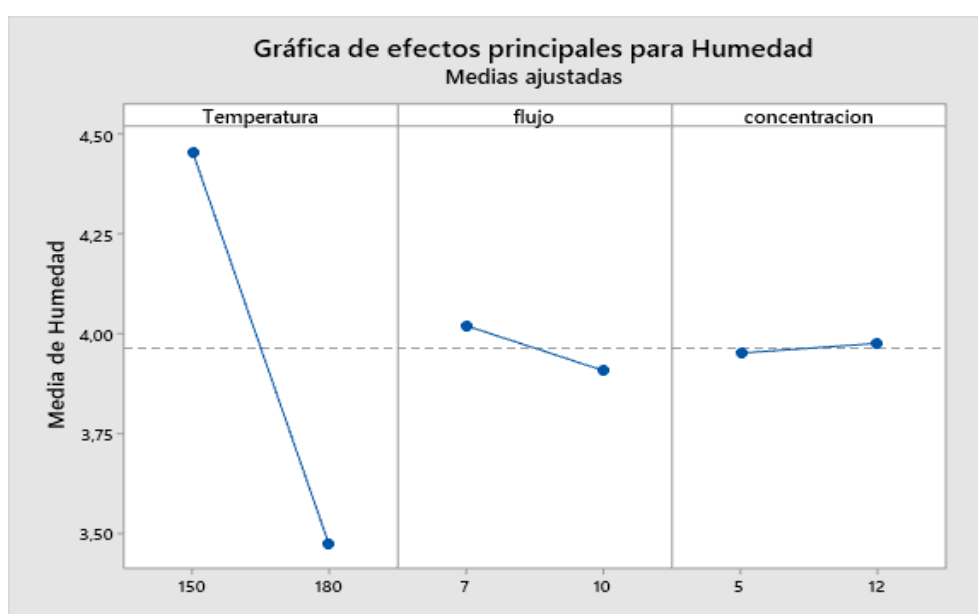


Figura 26. Influencia de los Factores de Estudio sobre el Contenido de Humedad

Por otro lado, a pesar que el factor A (Concentración de Encapsulante) no presento diferencias significativas, debido a las propiedades de retención de humedad que posee cada material de recubrimiento. Según (Sarabandi et al. (2019), menciona que la goma arábica presenta mayor capacidad para retener la humedad, por lo cual a medida que se aumente la concentración de encapsulante, dificultad la salida del agua.

Se obtuvieron resultados similares por Şahin Nadeem et al. (2011), en su trabajo realizado en té de montaña atomizado con GA y MD. Donde, obtuvo muestras con mayor contenido de humedad empleando GA, por lo cual el material de recubrimiento influye sobre el contenido de humedad en polvos atomizados.

Por otro lado Fuentes, Paola, Méndez, et al. (2017), expone que la temperatura alta de aire de entrada existe un degradante de temperatura mayor en la alimentación atomizada y el aire seco permitiendo así obtener polvos secos con menor cantidad de humedad.

Mientras Arrazola et al. (2014), se refiere en su estudio de microencapsulación que el menor contenido de humedad lo obtuvo con la temperatura de 180°C con un 3,43% en mi opinión el resultado obtenido del café encapsulado del contenido de humedad es consistentes con otros estudios.

Por otro lado, a nivel mayor del flujo de alimentación. Permite un incremento en el contenido de humedad en las muestras, debido a que mayor nivel de alimentación no hay una eficiencia de transferencia de calor entre las gotas y el aire de secado, ocasionando así una menor evaporación del agua, obteniendo así un producto con mayor contenido de humedad (Tonon et al., 2008).

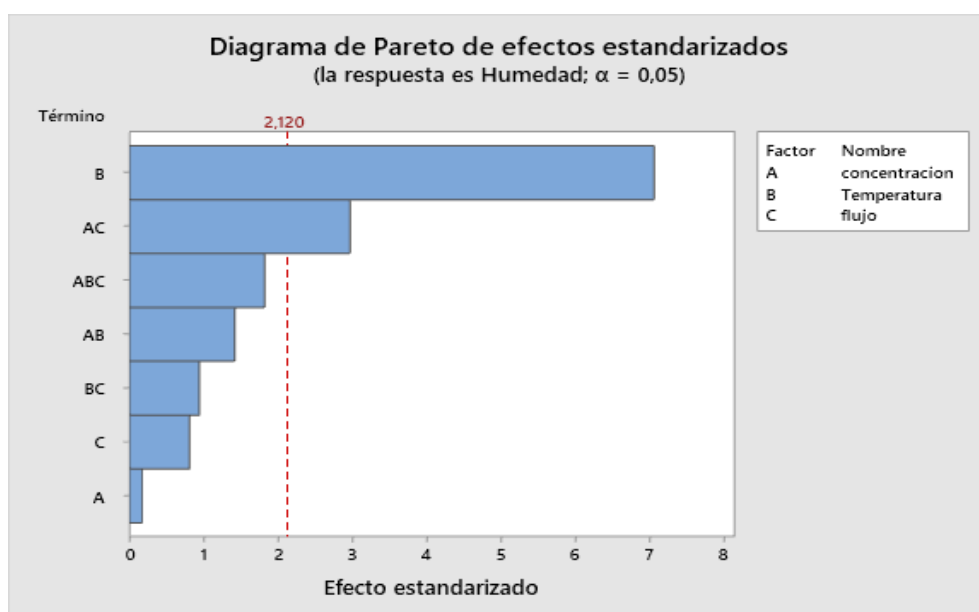


Figura 27. Diagrama de Pareto con Respecto al Contenido de Humedad

Libreros (2013), menciona que al utilizar la mezcla de encapsulantes obtuvo valores más bajo en el contenido de humedad, debido a que la mezcla de encapsulantes actúa como barrera que protege los sólidos solubles permitiendo así trabajar con temperatura altas para así obtener el producto final con menor cantidad de

humedad otorgándole más tiempo de vida útil. El objetivo de encapsular otorgar un mayor grado de uniformidad a la partícula, y evitar la higroscopicidad del polvo.

4.2.2 ANÁLISIS DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

Las muestras de café en polvo de esta investigación se evaluaron los polifenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante por el método ABTS⁺ Se describe los resultados y los efectos que presentaron durante el secado por atomización.

El análisis de varianza de las propiedades funcionales como son: actividad antioxidante, polifenoles y flavonoides totales evaluadas en el producto final se presenta en la tabla 19, se realizó la prueba de Shapiro. Los coeficientes de variación del modelo (16,24, 18,10%, 23,78% y 22,13%) correspondiente a la humedad, polifenoles totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante, de acuerdo con la escala de calificación del laboratorio.

Tabla 17. Análisis de las Propiedades Funcionales Evaluadas en el Producto Final

Fuentes de variación	P – valor			
	Humedad	Polifenoles totales	Flavonoides totales	Capacidad antioxidante
Tratamientos	0,00 **	0,00**	0,00**	0,00**
Concentración de encapsulante (A)	8,63 ns	0,00**	0,00**	0,00**
Temperatura de entrada y salida (B)	0,00 **	0,00**	0,00**	0,05**
Flujo de alimentación (C)	4,30 ns	0,00**	0,00**	0,00**
Interacción AB	0,02 **	0,00**	0,02**	0,09 ^{ns}
Interacción AC	0,18 ns	0,00**	0,00**	0,00**
Interacción BC	0,01**	0,34 ^{ns}	0,00**	0,57 ^{ns}
Interacción ABC	0,09 ns	0,55 ^{ns}	0,00**	0,00**
CV (%)	5,68	6,09	5.58	5,95

Nota: GL: grados de libertad; P. valor: valor de prueba estadística; ATBS⁺: actividad antioxidante; TPC: Contenido de polifenoles totales; TFC: Contenido de flavonoides totales; * significativo; ** altamente significativo; ns: no significativo; CV (%): coeficiente de variación.

El análisis de varianza muestra que los tratamientos, Factor B (Temperatura de secado) y las interacciones AB, BC influyen significativamente ($p \leq 0.05$) sobre el contenido de humedad en café atomizado, mientras que los tratamientos, Factor A (Concentración de encapsulantes), Factor B (Temperatura de secado), Factor C (Flujo de alimentación) y las interacciones AB y AC, fluyen significativamente ($p \leq 0.05$) sobre el contenido de polifenoles totales. En cuanto a los flavonoides totales todos los factores e interacciones influyen significativamente.

Mientras que los factores: Factor A (Concentración de encapsulantes), Factor B (Temperatura de secado), Factor C (Flujo de alimentación) y las interacciones AC y ABC influyen significativamente ($p \leq 0.05$) sobre el contenido de actividad antioxidante. Al existir diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) (Anexo 1) y prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS $\alpha \leq 0.05$), que se muestra en (Anexos 2).

4.2.2.1 Polifenoles totales

En la Figura 27 se muestran el contenido de polifenoles totales expresados con (mgEAG/g) de los ocho tratamientos. El tratamiento con mayor contenido de polifenoles totales fue T2 (5%, 150-80°C, 10 ml/min).

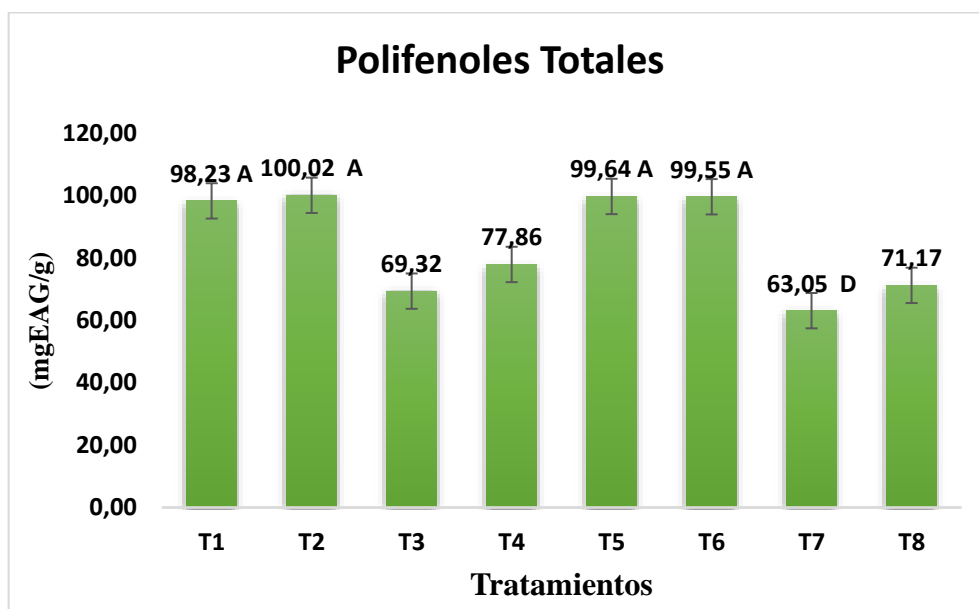


Figura 28. Contenido de Polifenoles Totales

Los valores obtenidos en el contenido de polifenoles que se obtuvieron en la investigación en el rango de $98,23 \pm 0,20$ mg EAG/g a $100,02 \pm 0,07$ mg EAG/g, siendo superiores hallados por (Vignoli et al., 2011; Wongs et al., 2019), en polvo de café atomizado.

Con la prueba de Tukey se identificó que el mejor tratamiento es T2 se ubicó en el rango (a) por presentar un mayor contenido de polifenoles totales con relación a los demás tratamientos y finalmente el tratamiento T7 perteneciente del rango (d), por su menor cantidad de polifenoles totales.

Se procedió a realizar la prueba de funcionalidad DMS ($\alpha \leq 0.05$) a los factores que mostraron diferencias significativas (Factor A, Factor B y Factor C), en donde A2 (99,47 mg EAG/g), B2 (80,02mg EAG/g) y C2 (81,04 mg EAG/g), presentaron mayor contenido de obtención de polifenoles en el café en polvo. Se muestran en el Anexos 2.

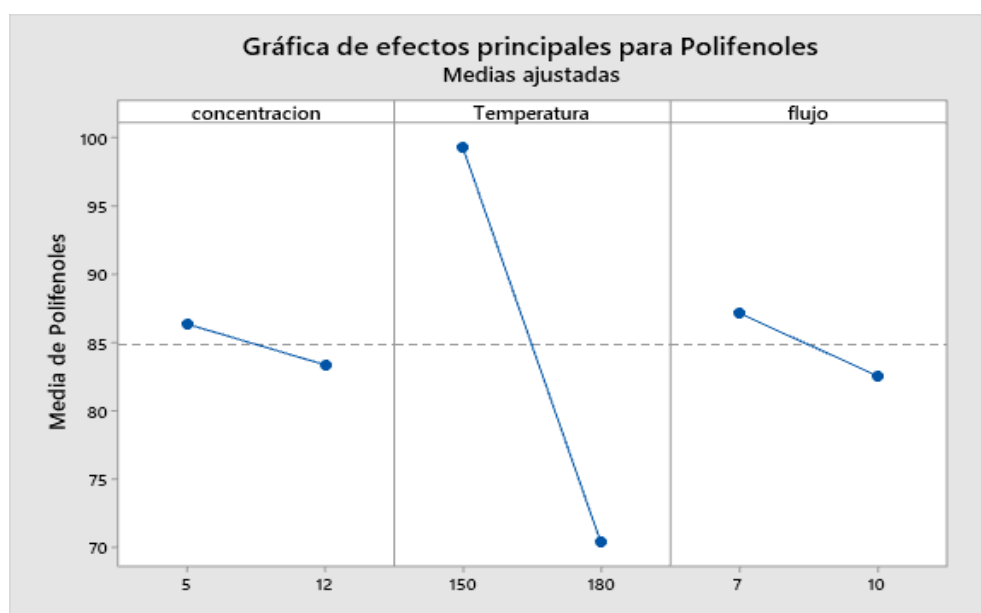


Figura 29. Efectos principales A(Temperatura), B(Concentración) y C (Flujo de alimentación) sobre el contenido de polifenoles

El incremento de los polifenoles totales es a temperaturas de secado ($150\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$), los resultados obtenidos están relacionados con los de Vareltzis et al. (2020), están influenciados por su origen de los granos de café verde y la variedad, tostado,

parámetros de secado. Además, la mezcla de los materiales de encapsulante de maltodextrina y goma arábica. Según Ballesteros et al. (2017), en su investigación de encapsulación de compuestos bioactivos en café gastado utilizando maltodextrina y goma arábica, obtuvo mayor contenido de polifenoles totales al trabajar con ambos materiales de encapsulante.

Por otro lado Tolun et al., (2016a), en su investigación de orujo de uva en la conservación de compuestos bioactivos, trabajo con diferentes equivalentes de dextrosa y proporciones de maltodextrina y goma arábica, obtuvo mayor contenido de compuestos bioactivos con una proporción de encapsulante 8:2, concluyo que obtiene mayor contenido de polifenoles con MD con un valor DE más bajo debido a que son sensibles a altas temperaturas porque presenta cadenas relativas más largas con un peso molecular más alto.

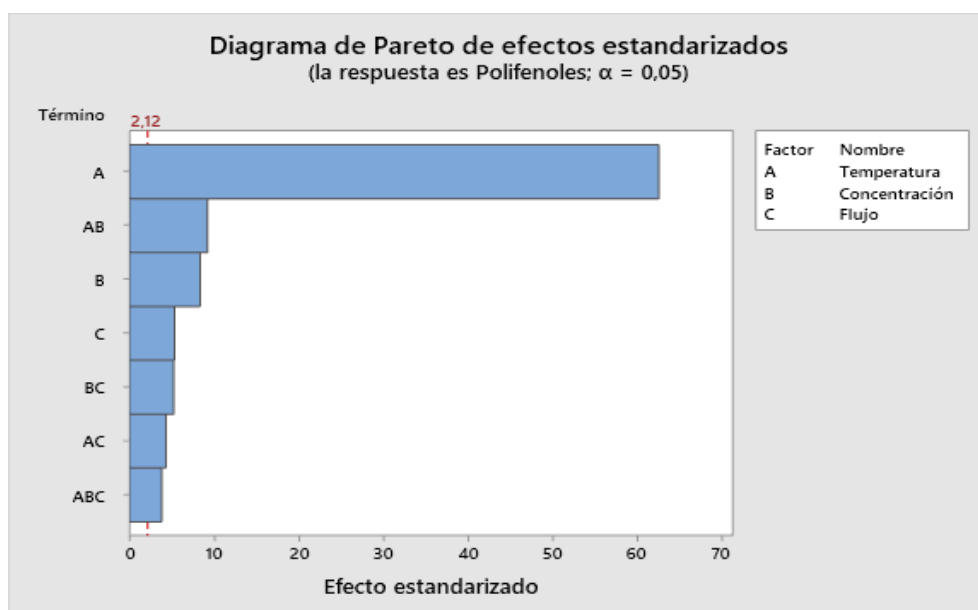


Figura 30. Influencia de los Factores de Estudio sobre el Contenido de Polifenoles Totales

La variación del contenido de polifenoles obtenidos en la investigación comparada con otros estudios, varían por la variedad y origen de los granos verdes de café Farah & Donangelo (2006), grado de tostado, los parámetros del proceso de secado por atomización además el tipo de solvente, la temperatura y método de extracción (Angeloni et al., 2019). Además, a bajas concentraciones de la mezcla de

encapsulante incremento el contenido de polifenoles totales. Por lo cual Tolun et al., (2016a) y Şahin Nadeem et al. (2011) presentaron un incremento significativo en el contenido de compuestos bioactivos en polvo de orujo de uva y té de montaña. Además, el contenido de polifenoles totales aumenta al disminuir el flujo de alimentación se concuerda con Santiago-Adame et al. (2015b), donde presento mayor contenido de polifenoles de polvo de canela a un flujo de 10ml/min, la velocidad de flujo en el proceso de secado, determina el tiempo de que la partícula con el aire en la cámara, reduciendo la degradación de polifenoles y protegiendo la capacidad antioxidante.

4.2.2.2 Flavonoides totales

Los resultados del contenido de flavonoides totales se muestran en la Figura 30. Se observo una variación del contenido en los ocho tratamientos de investigación. El tratamiento T2 (5%, 150 – 80 °C, 10 ml/min), presento mayor contenido de flavonoides totales. Mientras que el tratamiento T7 (12%, 180 – 90 °C, 7 ml/min), presento bajo contenido de flavonoides totales.

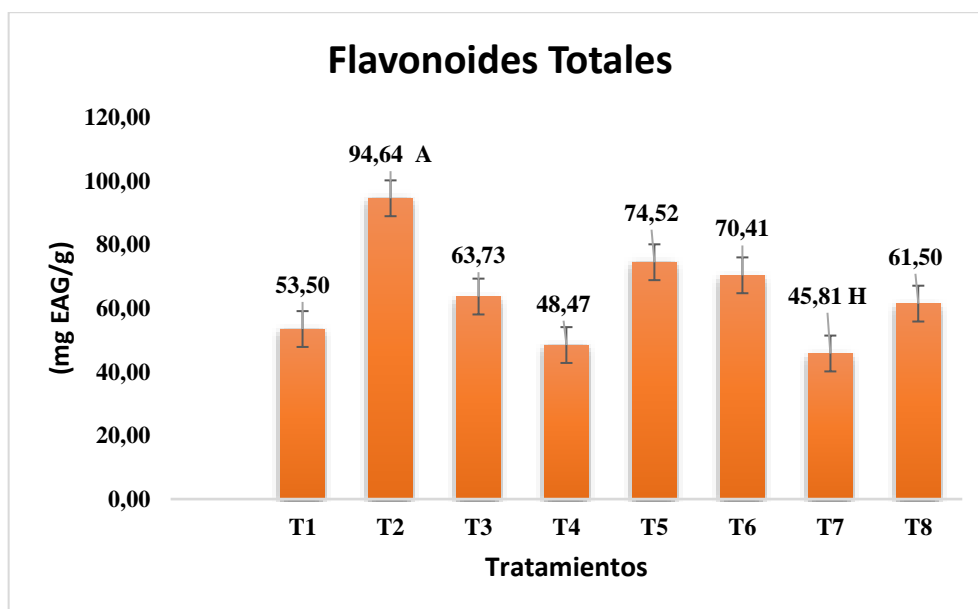


Figura 31. Contenido de Flavonoides Totales

Los valores obtenidos del contenido de flavonoides totales en la investigación son similares a los descrito por Olmos-Padilla (2019), $96 \pm 0,3$ a 130 ± 5 mg EC/g,

mientras que las muestras analizadas en la investigación tuvieron valores entre 94,57 y 45,81 mg EC/g.

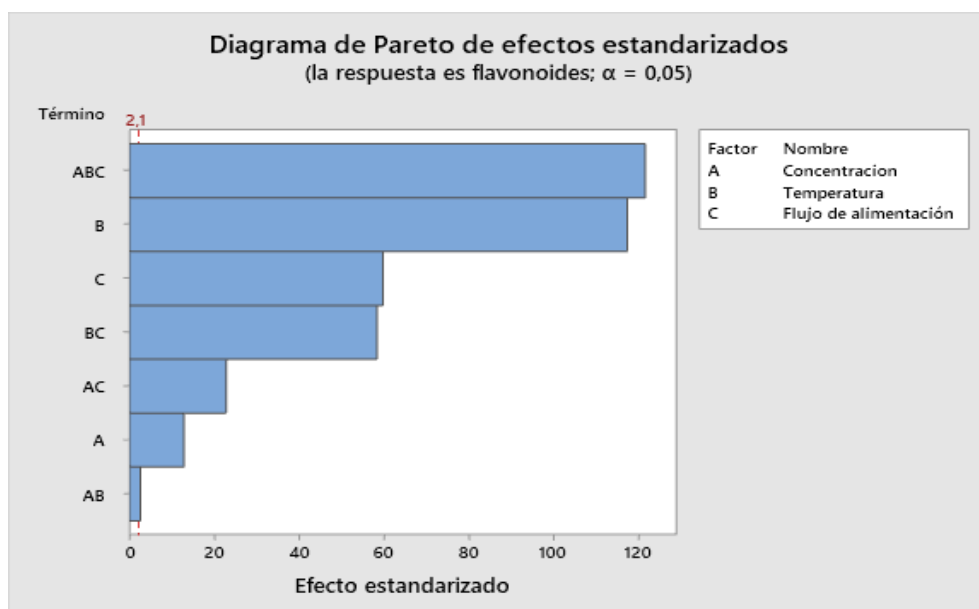


Figura 32. Influencia de los Factores de Estudio sobre el Contenido de Flavonoides

Totales

El análisis de varianza refleja que el Factor A (Concentración), Factor B (Temperatura) y Factor C (Flujo de alimentación) y las interacciones AB, AC y ABC, influyendo significativamente ($p \leq 0,05$) en el contenido de flavonoides totales.

La concentración de encapsulante influye significativamente sobre el contenido de flavonoides totales en polvo de café atomizado. Por lo cual, a menor proporción de maltodextrina y goma arábica se obtuvo un elevado contenido de flavonoides totales, ocasionado el descenso a la dilución del extracto debido al aumento de la concentración de encapsulante (Ballesteros et al., 2017a; Tolun et al., 2016a).

Además, al trabajar con una temperatura de aire de entrada y salida de 150 °C - 80 °C, se obtuvo mayor contenido de flavonoides totales, debido a que son termosensibles a elevadas temperaturas de secado (Tonon et al., 2008). Al trabajar con temperaturas altas (180°C- 90°C), caudal de alimentación y concentraciones altas se obtuvo bajo contenido de flavonoides totales ocasionando. Por otro lado, la velocidad de alimentación alta conduce tiempos largos lo cual genera mayores

daños a la estructura interna de la partícula y ocasionado así la pérdida de los compuestos bioactivos (Villegas-Santiago et al., 2020).

Actividad Antioxidante

La evaluación de la actividad antioxidante en las muestras de café soluble se realizó bajo el método: *ABTS*⁺, los resultados se analizaron mediante el Análisis de la varianza.

4.2.2.3 Actividad antioxidante por el método *ABTS*⁺

Los resultados de AA mediante el método *ABTS*⁺ registrado en la figura 32, el tratamiento que presenta mayor actividad antioxidante es el T8 (12%, 180 – 90 °C, 20 ml/min). Mientras que el tratamiento T4 (5%, 150 – 80 °C, 7ml/min) presenta una disminución considerable de AA.

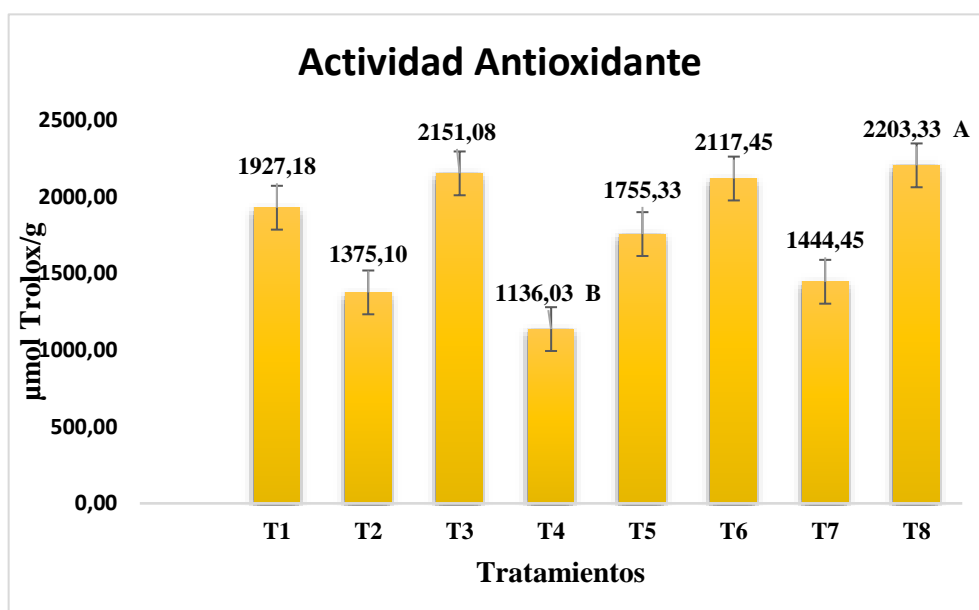


Figura 33. Contenido de Actividad Antioxidante *ABTS*⁺

La actividad antioxidante en polvo está relacionada con el contenido de compuestos fenólicos, los valores obtenidos en la investigación fueron contratados por el análisis de varianza. La prueba ANOVA fue utilizada para verificar la normalidad ($p = 0,55$) del modelo.

Además, se evidencio que el aumento de actividad antioxidante está relacionado con elevadas temperaturas de secado (180°C – 90°C) presento mayor efecto sobre

la retención de radicales $ABTS^+$. Según Diaz et al. (2017) la reacción de Maillard pasa cuando se trabaja con temperaturas altas en el proceso de atomización, ocasionando activar como antioxidantes y así mejorar la actividad.

Los compuestos bioactivos se observaron que, con la mezcla de encapsulante los materiales de pared varían dependiendo de la propiedad térmica $150^{\circ}C-180^{\circ}C$, obteniendo una respuesta positiva. En este sentido Cardona Tangarife et al. (2021), reporta que los compuestos bioactivos mediante la utilización de encapsulantes (almidón y maltodextrina), trabajando con temperaturas entre $100-188^{\circ}C$ obtuvo un resultado positivo para los polvos otorgándole estabilidad y mayor conservación.

Por otro lado, los resultados reportados en el presente estudio señalan que las muestras de café en polvo presentan mayor actividad captadora de radicales libres ($ABTS^+$) comparado a los valores obtenidos por (Vignoli et al., 2011). Otro de los beneficios por lo que permitió mayor contenido de capacidad antioxidante son las diversas operaciones a lo que se sometió al café, como es la extracción, temperaturas altas y el proceso de secado. Varios estudios han demostrado una disminución significativa de actividad antioxidantes en el secado por liofilización.

Donde Arrazola et al. (2014), en su estudio de microencapsulación de cascara de berenjena obtuvo mejores resultados de capacidad antioxidante frente al radical TEAC, trabajando a una temperatura de $180^{\circ}C$. con una concentración al 15% de maltodextrina. Por otro lado Santiago-Adame et al. (2015b), reporto un aumento significativo de AA cuando fue sometidos a temperaturas altas.

En este sentido Nooshkam et al., (2020), reporto que las altas temperaturas de secados y tiempos prolongados de reacción otorgando la reacción de Millard, se desnaturalizan las proteínas, produciendo aminoácidos generando ser donadores de electrones de hidrogeno, para producir la formación de melanoidinas. Por otro lado, diversos compuestos fenólicos pasan por diversas reacciones de oxidación permitiendo presentar una actividad antioxidante mayor.

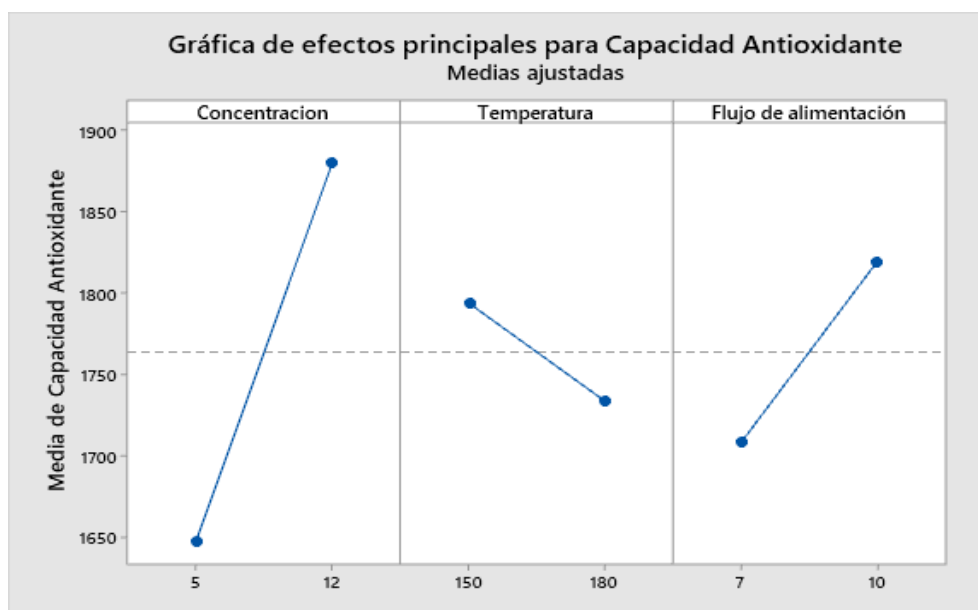


Figura 34. Influencia de los Factores de Estudio sobre el Contenido de Actividad Antioxidante

El incremento del contenido de la actividad antioxidante es debido a las primeras etapas ocurridas en la temperatura, ocasionando la formación de costras externas en la partícula. Además, se determinó que a mayor concentración de material encapsulante se retiene mayor contenido de actividad antioxidante en las muestras atomizadas. Debido que, al aumentar la concentración del contenido encapsulante, que no contiene radicales activos ocasiona la disminución de actividad antioxidante en polvos atomizados (Tolun et al., 2016a). El resumen de los resultados de la capacidad antioxidante, polifenoles totales y flavonoides se observa en la Tabla 18.

Tabla 18. Contenido de Compuestos Polifenoles Totales (TPC), Flavonoides Totales (TFC) y Actividad Antioxidante (ABTS) de todos los Tratamientos

Tratamiento	TPC (mg EAG/g)	TFC (mg EC/g)	ABTS (μmol Trolox/g)
T1	98,23 ± 0,20 ^a	53,50 ± 0,63 ^f	1927,18 ± 75,56 ^{bc}
T2	100,02 ± 0,07 ^a	94,64 ± 0,08 ^a	1375,10 ± 47,93 ^d
T3	69,32 ± 0,51 ^c	63,73 ± 0,42 ^b	2151,08 ± 119,79 ^a
T4	77,86 ± 3,63 ^b	48,47 ± 0,47 ^e	1136,03 ± 97,59 ^e
T5	99,64 ± 1,06 ^a	74,52 ± 0,11 ^b	1755,33 ± 47,55 ^c
T6	99,55 ± 0,69 ^a	70,41 ± 0,49 ^c	2117,45 ± 6,04 ^{ab}
T7	63,05 ± 0,55 ^d	45,81 ± 0,17 ^h	1444,45 ± 62,51 ^d
T8	71,17 ± 1,20 ^c	61,50 ± 0,31 ^e	2203,33 ± 31,17 ^a

4.2.3 RENDIMIENTO

En el proceso de secado por atomización se trabajó con la mezcla de café y material encapsulante con una concentración promedio de 39° Brix, obteniendo un rendimiento del 69,67 y 6,96% del producto final. Donde, los tratamientos con mayor rendimiento fue el tratamiento T8 (12%, 180-90, 7ml/min). Mientras, que el tratamiento que presento menor rendimiento fue el T1 con un valor de 29,67 y 2,96%. registrados en la figura 35.

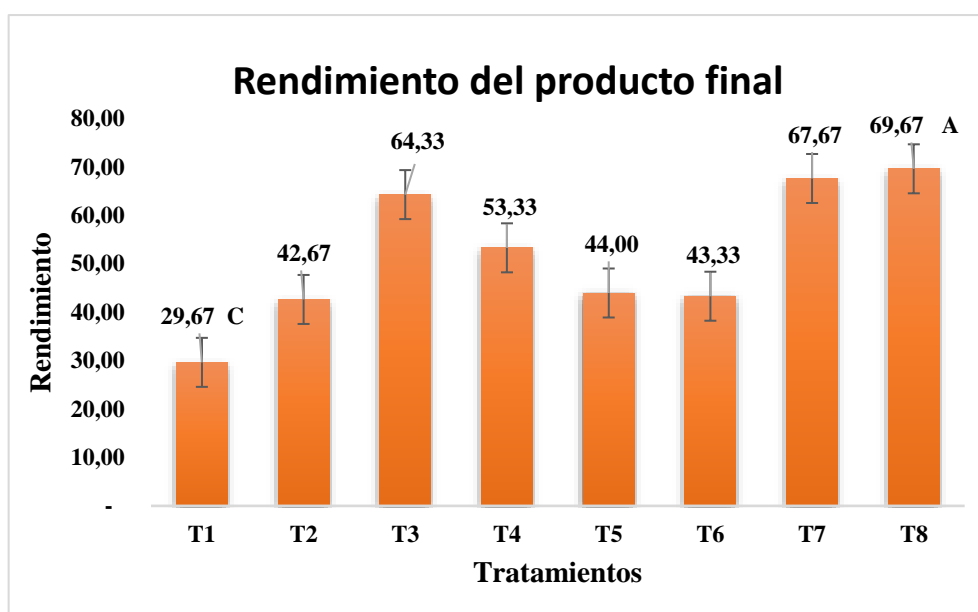


Figura 35. Rendimiento del Café en Polvo

Para la determinación del café en polvo, se tomó en cuenta el peso inicial del café concentrado y añadido los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. Tomar en cuenta que el peso del agua no se tomó en cuenta debido a que se evaporo en el proceso. Mediante, el análisis estadístico ANOVA se analizaron los resultados del secado por atomización de café arábica variedad castilla. Por lo cual, se determinó el rendimiento del café en polvo.

Los resultados obtenidos en la investigación fueron menores a los obtenido por Karyadi et al. (2020), que obtuvo el 70% de rendimiento en café atomizado al trabajar con mayor contenido de solidos solubles. Además, el rendimiento disminuye por el contenido de °Brix inicial en el área de alimentación debido que

al aumentar el contenido de °Brix reduce el contenido de humedad y presenta mayor eficiencia y obtención del polvo.

Tabla 19. Prueba Tukey Rendimiento del Café en Polvo

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T8	3	95,33	A
T3	3	83,33	A
T7	3	47,33	B
T6	3	43,33	B
T4	3	40,0	B
T2	3	38,33	B
T1	3	35,00	B
T5	3	34,00	B

Nota: Resultados expresados como medias, n=3

En la tabla 19 se puede observar que la prueba de Tukey al 5% se encontró dos grupos diferentes, donde el grupo a se considera como el mejor rendimiento por su mayor contenido de café en polvo que los otros.

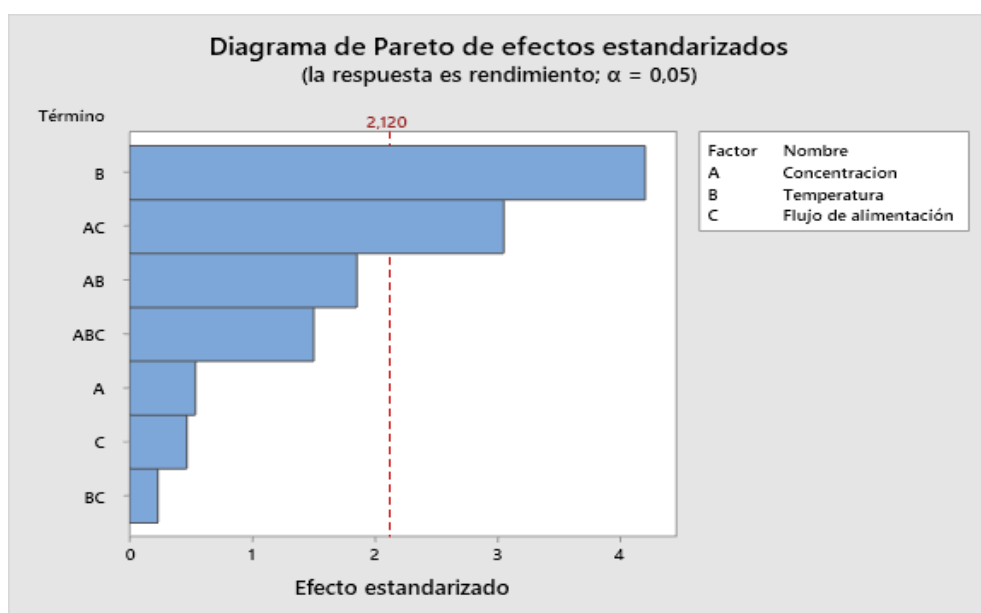


Figura 36. Grafica de Efectos Principales de Estudio en el Rendimiento de Café en Polvo

En este sentido Figueroa et al. (2016), reportó que la microencapsulación de aceite de mora menciona que el caudal de alimentación o flujo de alimentación alto

(15ml/min) afecta al rendimiento de manera negativa debido a que con mayor nivel de alimentación la transferencia de calor y masa es más lenta y se obtiene en el producto final aglomeraciones, pero con un flujo de alimentación menor (5ml/min) obtuvo un mayor rendimiento.

Por otro lado, el café a temperatura de entrada de aire de 150°C queda con mayor humedad y se compacta fácilmente, a diferencia del café secado por atomización a 180°C que presenta un contenido de humedad más bajo y sus partículas no se compactan fácilmente otorgando de esta manera un alto rendimiento del proceso. Donde Felix (2009) informa que las partículas de café secado a 180°C no muestran una facilidad de adherirse lo que permite obtener un mayor producto a la salida del proceso atomizado.

4.2.4 ANÁLISIS DE ACEPTACIÓN SENSORIAL

Se evaluó la aceptación sensorial a través de una prueba hedónica de cinco puntos con la finalidad de evaluar las características organolépticas de la bebida del café como: aroma, color, sabor y aceptación general, en las muestras de café castilla en polvo con maltodextrina y goma arábiga, se realizó la prueba con la población de la ciudad de Otavalo provincia de Imbabura. A continuación, se da a conocer los resultados obtenidos en el análisis de aceptabilidad.

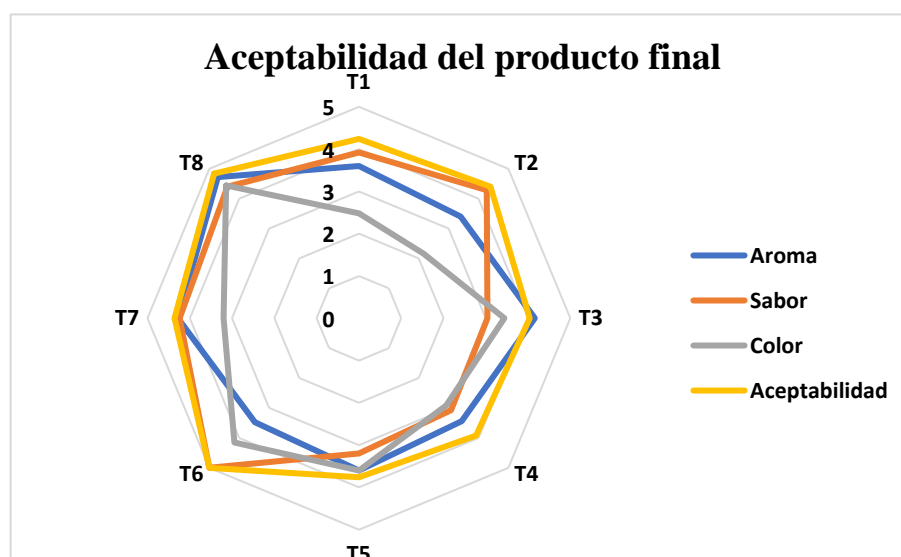


Figura 37. Evaluación Sensorial de Aceptabilidad de la Bebida de Café

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial de la bebida del café se presentan en la Figura 37, mediante un gráfico de araña que contiene la comparación de los diferentes atributos, realizando con una escala de 5 puntos. Los tratamientos que mayor puntuación tuvieron frente al consumidor con respecto a los parámetros evaluados fueron los tratamientos T8 (12%, 180 – 90 °C, 7 ml/min) y T6 (12%, 180 – 90 °C, 10 ml/min).

4.2.4.1 Color

El color es uno de los aspectos sensoriales más importante, debido a que este asociado con el sabor con un determinado color, permitiendo así que el consumidos acepte o rechace el producto(Kemp et al., 2017).

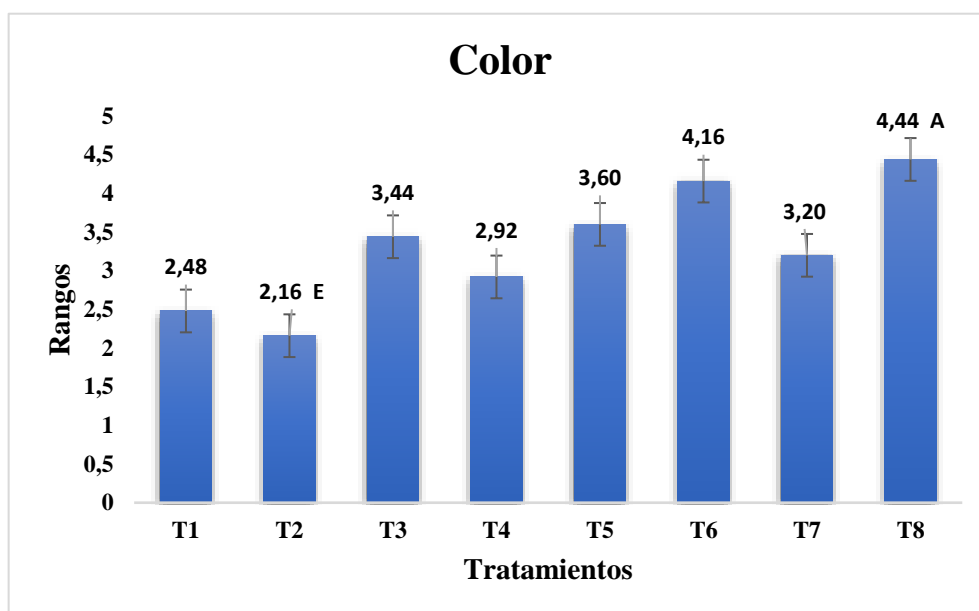


Figura 38. Puntuaciones del Atributo Color de la Bebida de Café

Con respecto al color del café encapsulado presento diferencias significativas, lo que significa que el panel de degustación considero que las muestras de café presentaron un color diferente. Para la determinación del mejor tratamiento, se procedió a realizar la prueba de Tukey (Anexo 16), siendo así que el tratamiento que tomo mayor aceptabilidad con respecto al color fue el tratamiento T8 seguido del tratamiento T6, mientras que el tratamiento T2 corresponde con menor preferencia.

El color del café es uno de los factores principales en la aceptación o rechazo frente a los consumidores. Debido a que ofrece una información importante sobre el aspecto de la bebida influenciando el sabor sobre el color. Varios estudios han determinado que el material de taza o el vaso a utilizar influye en el consumidor, (van Doorn et al., 2014). Los consumidores del café asocian el color de la bebida con el grado de tostado, dulzor, amargor, suavidad en el caso de la espuma del expreso (Folmer, 2017), la influencia del color es un efecto más psicológico y no tiene nada que ver con la modificación de los atributos sensoriales en la bebida de café.

4.2.4.2 Aroma

El aroma desempeña un papel muy importante en la evaluación sensorial de los alimentos. El sentido del olfato al igual que el gusto son denominados sentidos químicos, ya que detectan compuestos químicos en el ambiente. El término “olor” se refiere a la combinación de gases, vapores y polvo. Según Ruiz et al. (2015), informa que el aroma es la sensación del producto de la percepción de un determinado estímulo percibido por el sistema olfativo.

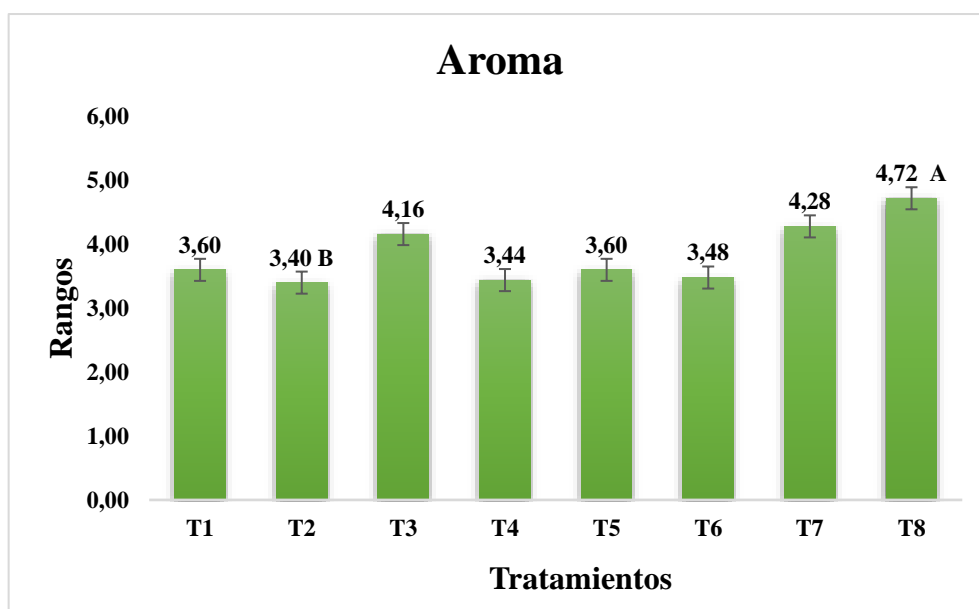


Figura 39. Puntuaciones del Atributo Aroma de la Bebida de Café

El aroma si presento diferencias significativas ($p < 0,05$), lo cual presenta que el panel de degustación se pudo distinguir una variación del aroma entre las muestras

de café. Al existir variación se realizó el análisis de Tukey. Donde, se encontró dos grupos diferentes, donde el grupo (a) a los tratamientos T8 y T7 se considera como los mejores en aceptabilidad de aroma. Mientras que los tratamientos con menor aceptabilidad fue el tratamiento T2.

Durante el proceso de tostado aparecen diversos compuestos químicos de alta y media volatilidad que son los encargados de otorgar el aroma y el sabor al café como consecuencia de la reacción de Maillard (Farah & dos Santos, 2015). El aroma y sabor del café depende de muchos factores como es la variedad o genética (arábiga o robusta), variedad del café, condiciones climáticas, composición, suelo, madurez del cerezo de café, fermentación, secado, almacenamiento, grado de tostado y método de extracción (preparación de la bebida) (Farah & Donangelo, 2006; Puertas, 2016).

Se han identificado más de 950 compuestos volátiles en los granos de café tostado (Farah, 2012), pero solo un pequeño número de estos contribuyen al aroma percibido. Según Seninde & Chambers (2020), menciona que en la bebida de café existen de 20 a 30 compuestos volátiles. Además Puertas (2016), expresa a la fracción volátil del café en mg, reportando 500 mg en un kg de café tostado y 20 mg en una bebida. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Ishwarya & Anandharamakrishnan (2015) que reportaron 20 compuestos volátiles en café instantáneo comercial y compararon la retención de volátiles en polvo de café, obtenido por atomización (SD), liofilización (FD) y congelación por pulverización (SFD) (combinación de ambos métodos), determinando mayor retención en SFD, seguido de FD y finalmente en SD lo cual exhibió este último método de secado un bajo perfil de aroma de acuerdo con el análisis de nariz electrónico.

Estas variaciones se deben principalmente a la temperatura de procesamiento. La pérdida de compuestos volátiles en SD (Secado por Atomización), ocurre principalmente durante el período de secado de velocidad constante King, 1990 citado por (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015).

Wongsa et al. (2019) confirma que, a menor perfil de aroma de café atomizado, es por la pérdida de compuestos volátiles. Este análisis permite explicar por qué el T2

tubo menor aceptabilidad respecto al aroma debido que fue atomizado a baja temperatura de la investigación (150 °C – 80°C), además con un menor porcentaje de MD y GA y alto flujo de alimentación.

4.2.4.3 Sabor

La ilustración 42 muestra que los tratamientos con mayor preferencia en cuanto a sabor correspondieron a T6 (12%, 180 – 90 °C, 7 ml/min), T8 (12%, 180 – 90 °C, 10 ml/min), mientras que el tratamiento T3 (5%, 180 – 90 °C, 10 ml/min) presento menor aceptación.

Por otro lado, las muestras de café no se compararon con el café comercial debido a que su sabor es más delicado y menos astringente, se debe al método de extracción utilizado en esta investigación (extracción en frio), el cual le otorga mayor dulzor, pero menor cantidad de amargor y acidez, debido al tiempo de extracción. Además, los parámetros tiempo y temperatura de extracción beneficiaron al café en el sabor.

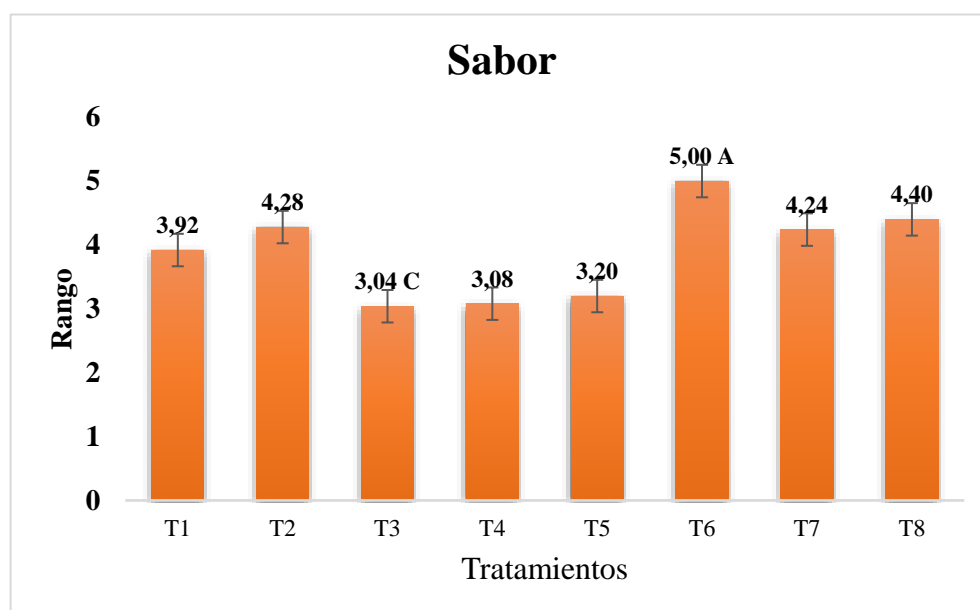


Figura 40. Puntuación del Atributo Sabor del Café

Según Córdoba et al. (2021), el aroma de la bebida del café está relacionada principalmente de las moléculas extraídas durante la preparación. El sabor amargo este asociado con la concentración de ácidos clorogénicos, trigolina y cafeína. Por esta información que el tratamiento que tuvo menor aceptación estaría relacionado con la cantidad de compuestos fenólicos.

Sin embargo, la temperatura de secado no estaría relacionada con este atributo sensorial, sino, al porcentaje de encapsulantes empleados (Ruiz et al., 2015), métodos de extracción (Angeloni et al., 2019), color de la bebida (Folmer, 2017), forma de la taza (van Doorn et al., 2014) y otros factores que influyen y no se evaluaron en esta investigación.

4.2.4.4 Análisis de aceptación del producto dirigido al consumidor: Prueba hedónica

Los resultados del análisis de aceptación general del panel degustador el tratamiento T6 (12%, 180 – 90 °C, 7 ml/min) y T8 (12%, 180 – 90 °C, 10 ml/min), como los tratamientos más apreciables.

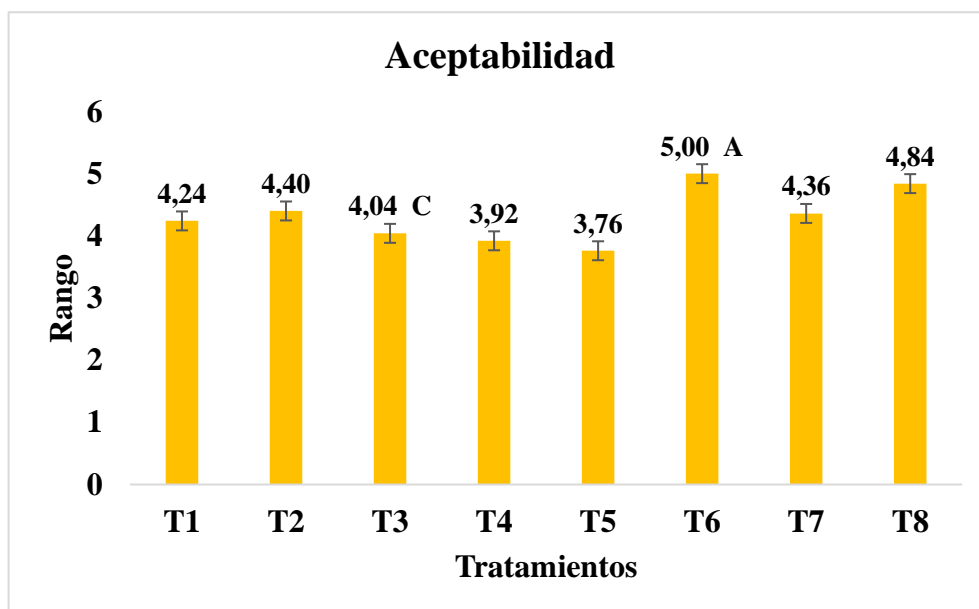


Figura 41. Puntuaciones del Atributo Aceptación General de la Bebida de Café

La aceptabilidad está relacionada con los aspectos fisiológicos y psicológicos del analizador (Julia & Manfugás, 2007), tomando en cuenta la edad, sexo, estilo de vida y estado de ánimo debido a que influye en la percepción del producto. La evaluación sensorial del estudio estuvo conformada por hombres y mujeres, en edades de entre 18 a 60 años (Severiano-Pérez, 2019). Otro punto es debido a que la edad el sabor percibido cambia, razón por la cual la bebida de café no fue percibida igual a los demás consumidores debido a las variables sensoriales.

El análisis sensorial de aceptabilidad del producto final otorgado en este trabajo de investigación permitió evaluar cual tuvo mayor preferencia como es el color, aroma, sabor y aceptación, el producto utilizado en este estudio fue polvos de café elaborados por el atomizador.

4.3 RESULTADO DE BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

4.3.1 EVAPORADOR

Según Singh & Heldman (2014), el sistema de evaporación mediante los cálculos de las variables de operación y diseño, trabajando con diferentes balances de masa y energía como son: caudales masico, concentración final del producto y intercambiador de calor.

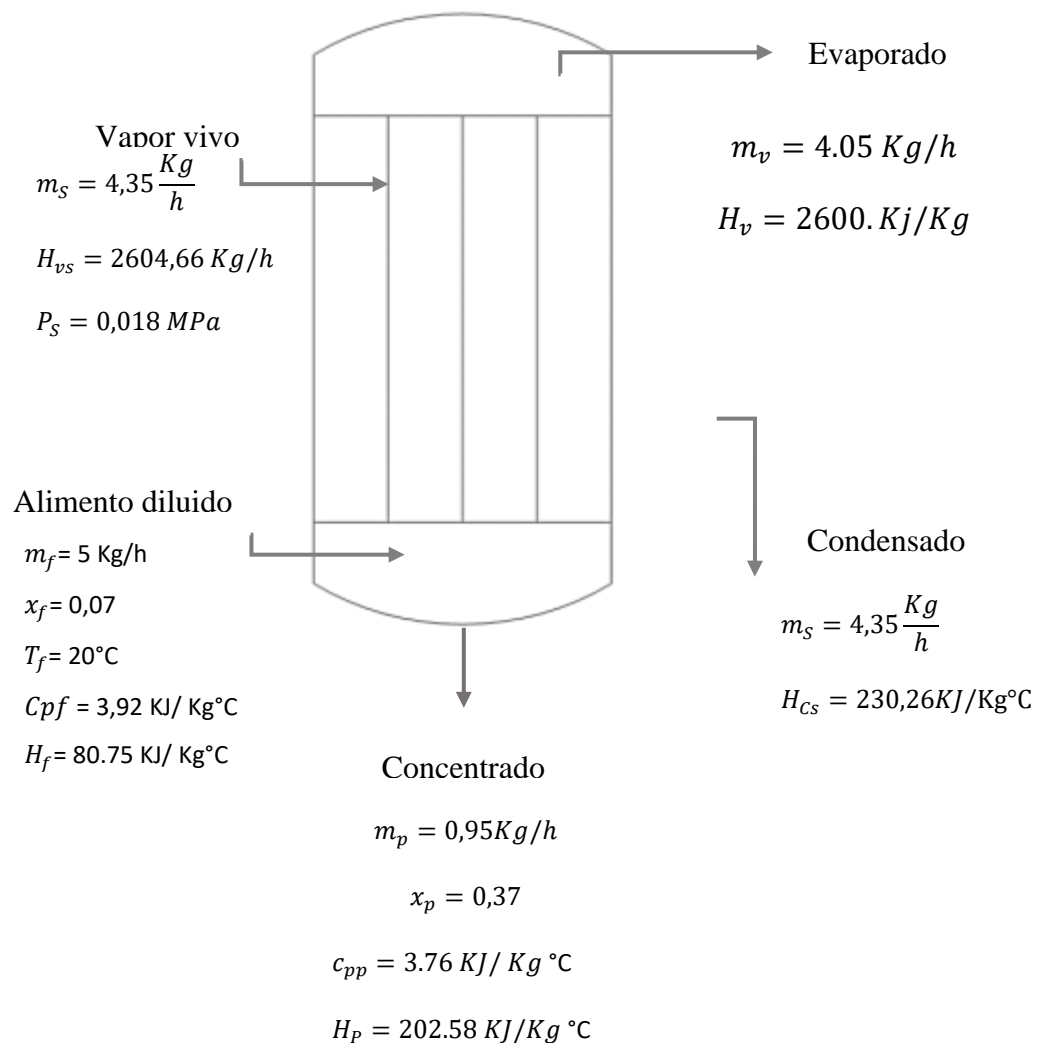


Figura 42. Esquema de un Evaporador de Simple Efecto

Balance de masa

$$\dot{m}_f = \dot{m}_p + \dot{m}_v$$

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_f * x_f}{x_p} = \frac{5 \frac{kg}{h} * 0,07}{0,37} = 0,95 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_v = 5 \frac{kg}{h} - 0,95 \frac{kg}{h} = 4,05 \frac{kg}{h}$$

Balance de energía

$$\dot{m}_s H_{vs} + \dot{m}_f H_f = \dot{m}_v H_v + \dot{m}_s H_{cs} + \dot{m}_p H_p$$

$$\dot{m}_s = \frac{\dot{m}_p H_p + \dot{m}_v H_v - \dot{m}_f H_f}{H_{vs} - H_{cs}}$$

$$\dot{m}_s = \frac{0,95 \frac{kg}{h} * 202,58 \frac{kJ}{kg} + 4,05 \frac{kg}{h} * 2600 \frac{kJ}{kg} - 5 \frac{kg}{h} * 80,75 \frac{kJ}{kg}}{2604 \frac{kJ}{kg} - 230,26 \frac{kJ}{kg}} = 4,35 \frac{kg}{h}$$

Economía de vapor

$$E_v = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_s} = \frac{4,05 \frac{kg}{h}}{4,35 \frac{kg}{h}} = 0,93$$

Por cada kilogramo de vapor vivo, se evapora 0,93 kg de agua del extracto de café.
Los cálculos detallados del balance de materia y energía.

Tabla 20. Resumen de Resultados Balance de Masa y Energía en Evaporador

Variable	Resultado
Flujo masico del producto (\dot{m}_p)	$0,95 \frac{kg}{h}$
Flujo masico del evaporador (\dot{m}_v)	$4,05 \frac{kg}{h}$
Flujo masico del vapor vivo (\dot{m}_s)	$4,35 \frac{kg}{h}$
Velocidad de transferencia de calor (q)	$8483,87 \frac{kJ}{h}$

La concentración del extracto de café de 6% de sólidos iniciales hasta 37% de sólidos totales. Además, a nivel industrial el extracto de café se lo realizó en columnas interconectadas donde se trabajó con temperaturas de 100°C hasta 175°C, obteniendo un rendimiento del producto final de 40% (café concentrado), para iniciar el proceso de secado por atomización. Por otro lado, la evaporación al vacío permitió concentrar al café a temperaturas inferiores de 60°C, ocasionando un mínimo daño a los compuestos de interés y así conservar las características organolépticas.

4.3.2 ATOMIZACIÓN

El secado por aspersión es una tecnología muy utilizada que permite transformar un alimento líquido en polvo. Esto ocurre cuando la alimentación se pulveriza en una corriente de aire caliente. Por lo cual los balances de masa y energía se utiliza para determinar el flujo de aire, energía requerida para calentar el aire de entrada (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2014).

Tabla 21. Resumen de Resultados Balance de Masa y Energía en Atomizador

Variable	Resultado
Humedad del aire de salida en base seca	0,012 KgH ₂ O/Kg d. a
Flujo masico del aire seco (m _a)	127,09 kg/h
Energía y potencia necesaria para calentar el aire (Q)	8483,87 KJ/h
Eficiencia global térmica (n _{global})	61,40%
Tasa de evaporación	0,16 KgH ₂ O/h

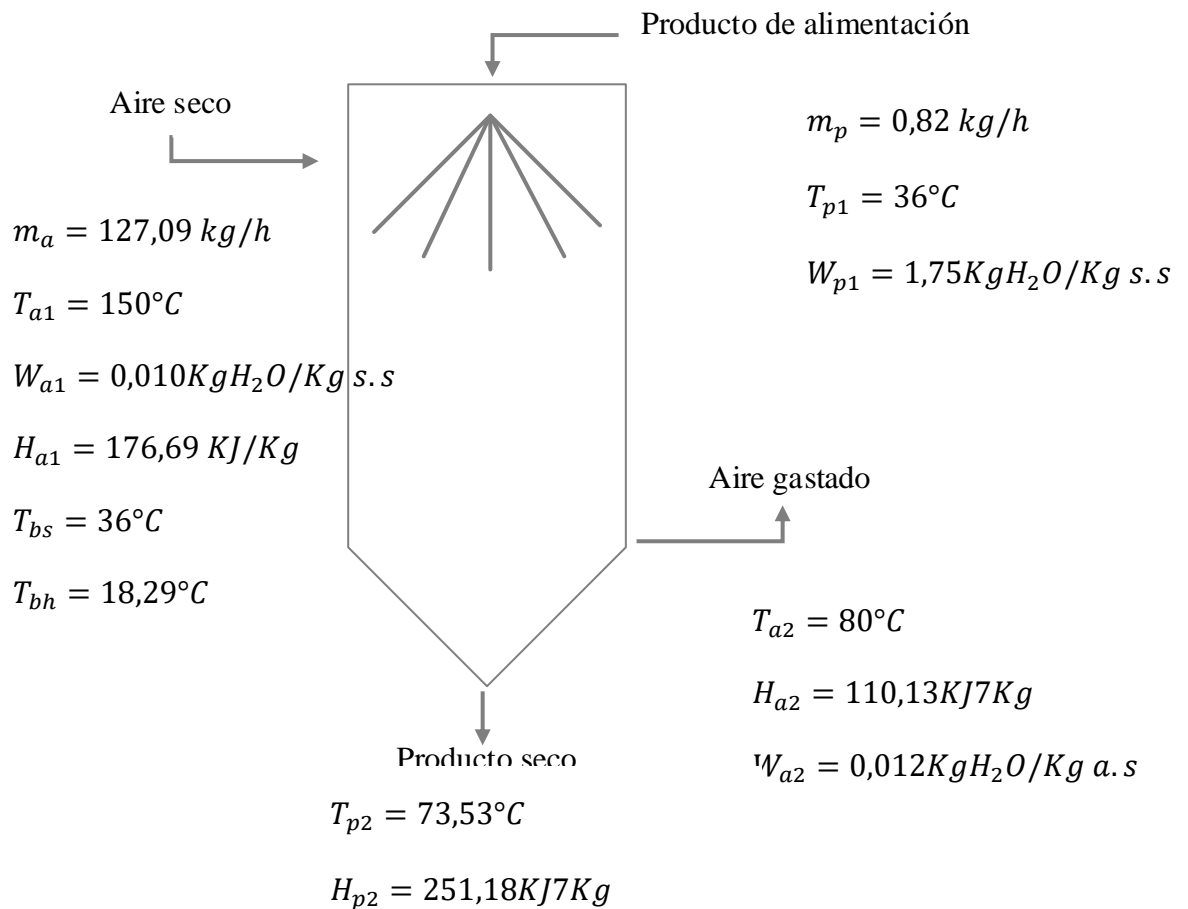


Figura 44. Esquema del Secado por Atomización

Balance de Masa

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_a W_{a1} + \dot{m}_p w_{p1} &= \dot{m}_a W_{a2} + \dot{m}_p w_{p2} \\
 127,09 \frac{\text{kg a.s}}{\text{h}} * 0,010 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg a.s}} + 0,82 \frac{\text{kg s.s}}{\text{h}} * 1,75 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg s.s}} \\
 &= 127,09 \frac{\text{kg a.s}}{\text{h}} * W_2 + 1,75 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg s.s}} * 0,035 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg s.s}} \\
 W_{a2} &= 0,012 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg a.s}}
 \end{aligned}$$

• Balance de Energía

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_p H_{p1} + \dot{m}_a H_{a1} &= \dot{m}_p H_{p2} + \dot{m}_a H_{a2} + Q_L \\
 0,82 \frac{\text{kg s.s}}{\text{h}} * 281,38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 127,09 \frac{\text{kg a.s}}{\text{h}} * 176,69 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 &= 0,82 \frac{\text{kg s.s}}{\text{h}} * 251,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 127,09 \frac{\text{kg a.s}}{\text{h}} * 110,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + Q_L
 \end{aligned}$$

$$Q_L = 8483,87 \frac{kJ}{h}$$

Cálculo de eficiencia global:

$$n_{global} = \left[\frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_o} \right] * 100\%; \quad n_{global} = 61,4\%$$

Los cálculos de balance de materia y energía, en el proceso de secado se produce una pérdida de calor de 8483,87 KJ/h, eficiencia térmica de 61,40% y una potencia requerida de 4,33 KW que está dentro de la potencia del calentador eléctrico (4,5KW) del secador por atomización.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En este estudio, se investigó el efecto de los parámetros de secado por atomización sobre el producto final obtenidas de *Coffea arábica L.* variedad castillo. Se encontró que los factores de estudio muestran un efecto significativo sobre las propiedades físicas, funcionales y sensoriales del café en polvo.

- La caracterización de los granos de café tostados permitió determinar una cantidad importante de compuestos bioactivos (capacidad antioxidante, polifenoles y flavonoides) representativo en la variedad Castillo.
- El bajo contenido de humedad del producto final se encuentra dentro de la norma NTE INEN 1122, que permite que el café tenga una larga vida útil.
- Los parámetros de secado por atomización tuvieron efectos significativos, donde la concentración de encapsulante, temperatura y flujo de alimentación registraron una mayor actividad antioxidante, contenido de polifenoles y flavonoides totales.
- La concentración mayor del 12%, temperatura de secado (180°C-90°C) y menor flujo de alimentación, permitieron un café de mejor aceptabilidad sensorial del panel degustador.
- Los factores en estudio tuvieron efectos estadísticamente significativos sobre la actividad antioxidante en el café en polvo, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

5.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar diferentes métodos de extracción de café en la retención de compuestos antioxidantes.
- Evaluar diferentes mezclas de encapsulantes sobre la conservación de compuestos bioactivos en el café en polvo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrahão, F. R., Rocha, L. C. R., Santos, T. A., Carmo, E. L. do, Pereira, L. A. S., Borges, S. V., Pereira, R. G. F. A., & Botrel, D. A. (2019). Microencapsulation of bioactive compounds from espresso spent coffee by spray drying. *LWT*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.061>
- Andrade, G. K. M. (2018). Evaluación de los parámetros tiempo, temperatura y variedad de café arábica *coffea arábica caturra amarillo* y SL-28 en el proceso de tostado. In Repositorio Digital Universidad Tecnica del Norte.
- Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Bellumori, M., Daluiso, S., Parenti, A., & Innocenti, M. (2019). What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Research International*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022>
- Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por aspersion y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Informacion Tecnologica*, 25(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006>
- Atavillos-Dominguez, C., Reátegui, D., & Ordoñez, E. (2020). Total, phenols, antioxidant capacity and sensory evaluation in roasted coffee. *Agroindustrial Science*, 10(3), 241–248. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.04>
- Ballesteros, L. F., Ramirez, M. J., Orrego, C. E., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2017a). Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chemistry*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>
- Ballesteros, L. F., Ramirez, M. J., Orrego, C. E., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2017b). Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chemistry*, 237, 623–631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>
- Barrera, D. M. L. (2014). RI001902. Universidad Autonoma de Quefétero.

- Benavides, P. A., Liliana, V., De, M., & Morillo, L. C. (2021). UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS CASTILLO, CATURRA AMARILLO Y SL-28" TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL AUTORES. Universidad Técnica del Norte.
- Benjamin, O., & Suarez, J. (2019). UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.
- Canet Brenes, G., Soto Viquez, C., Ocampo Tomason, P., Rivera Ramírez, J., Navarro Hurtado, A., Guatemala Morales, G., & Villanueva Rodríguez, S. (2016). La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe. In *lica*.
- Cardona Tangarife, D. P., Patiño Arias, L. P., & Ormazza Zapata, A. M. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersion. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1899
- Carolina Chaves-Ulate, E., & Esquivel-Rodríguez, P. (2019). Chlorogenic acids present in coffee: Antioxidant and antimicrobial capacity. *Agronomy Mesoamerican*, 30(1). <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.32974>
- Celinda, H. H. (2016). UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Córdoba, N., Moreno, F. L., Osorio, C., Velásquez, S., Fernandez-Alduenda, M., & Ruiz-Pardo, Y. (2021). Specialty and regular coffee bean quality for cold and hot brewing: Evaluation of sensory profile and physicochemical characteristics. *LWT*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111363>
- Corilla Flores, D. D. (2020). Extracción, microencapsulación y cuantificación de compuestos fenólicos asistida por ultrasonido a partir de residuos de café (*Coffea Arabica* L.). Unidad de Posgrado de La Facultad de Ingeniería En Industrias Alimentarias.

- Corrêa, J. L. G., de Mendonça, K. S., Rodrigues, L. R., Resende, M. L. V., & Alves, G. E. (2016). Spray drying of coffee leaf extract. *Coffee Science*, 11(3).
- Cruz-Atonio, F. V., Saucedo-Pompa, S., Martinez-Vázquez, G., Aguilera, A., Rodríguez, R., & Aguilar, C. N. (2010). Propiedades Químicas E Industriales Del Ácido Elágico. *Revsta Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 2(3).
- De, T., & Alexandra, G. S. J. (2018). UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA.
- Díaz, Y. L., Torres, L. S., Serna, J. A., & Sotelo, L. I. (2017). Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. *Informacion Tecnologica*, 28(6). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600004>
- dos Santos, A. M., Marques, L. C., Gonçalves, C. P., & Marcucci, M. C. (2019). Botanical Aspects, Caffeine Content and Antioxidant Activity of <i>Coffea arabica</i>. *American Journal of Plant Sciences*, 10(06). <https://doi.org/10.4236/ajps.2019.106073>
- Farah, A. (2012). Coffee Constituents. In *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention*. <https://doi.org/10.1002/9781119949893.ch2>
- Farah, A. (2019). *Coffee: Production, Quality and Chemistry*. The Royal Society of Chemistry.
- Farah, A., & Donangelo, C. M. (2006). Phenolic compounds in coffee. In *Brazilian Journal of Plant Physiology* (Vol. 18, Issue 1). <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100003>
- Farah, A., & dos Santos, T. F. (2015). The Coffee Plant and Beans: An Introduction. In *Coffee in Health and Disease Prevention*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2>
- Felix, M. del R. (2009). DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS CLOROGÉNICO Y CAFEICO, CAFEÍNA, POLIFENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE TRES VARIEDADES DE CAFÉ (*Coffea arabice* L.)". Universidad Nacional Agraria De La Selva.

- Figuroa, P., Ceballos, M., & Hurtado, A. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. In *Revista Colombiana de Química* (Vol. 45, Issue 2).
- Filková, I., & Mujumdar, A. S. (2020). Industrial Spray Drying Systems. In *Handbook of Industrial Drying*. <https://doi.org/10.1201/9780429289774-9>
- Fito, P., Andres, G., Albors, A., & Barat, J. (2016). Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente. *Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente*.
- Folmer, B. (2017). The Craft and Science of Coffee. In *The Craft and Science of Coffee*.
- Fuentes, M., Paola, U., & Méndez, A. (2017). SECADO POR ASPERSIÓN DE EXTRACTO DE CAFÉ ORGÁNICO CON ADICIÓN DE SABORIZANTE NATURAL.
- Fuentes, M., Paola, U., Méndez, A., Universidad, A., Valle, D., de Ingeniería, F., De, E., & de Alimentos, I. (2017). SECADO POR ASPERSIÓN DE EXTRACTO DE CAFÉ ORGÁNICO CON ADICIÓN DE SABORIZANTE NATURAL.
- Furuta, T., & Neoh, T. L. (2021). Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Drying Technology*, 39(12). <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1862181>
- Galindo Véliz, X. R. (2011). Producción e Industrialización de Café Soluble Caso : Solubles Instantáneos. *Facultad De Ciencias Economicas*.
- Ghaderi, F., & Monajjemzadeh, F. (2020). Review of the physicochemical methods applied in the investigation of the maillard reaction in pharmaceutical preparations. In *Journal of Drug Delivery Science and Technology* (Vol. 55). <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101362>
- Gutiérrez, S., Muñoz, Y., de Villavicencio, M. N., Montelongo, I., & Bocourt, G. (2006). DESARROLLO DE UN AROMA EN POLVO DE CAFÉ. *Development of Coffee Powder Flavor.*, 16(1).
- Gutiérrez, S., Muñoz, Y., Villavicencio, M. N. De, & Montelongo, I. (2006). Desarrollo de un Aroma en Polvo de Café. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 16(1), 65–69.

- Handbook of Drying for Dairy Products. (2017). In Handbook of Drying for Dairy Products. <https://doi.org/10.1002/9781118930526>
- Herrera, J. C., & Lambot, C. (2017). The Coffee Tree-Genetic Diversity and Origin. In The Craft and Science of Coffee. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00001-3>
- Higuchi, M. (2014). Antioxidant Properties of Wheat Bran against Oxidative Stress. In Wheat and Rice in Disease Prevention and Health. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401716-0.00015-5>
- Hii, C. L., & Borém, F. M. (2019). Drying and roasting of cocoa and coffee. In Drying and Roasting of Cocoa and Coffee. <https://doi.org/10.1201/9781315113104>
- Hoffmann, J. (2018). The World Atlas of Coffee. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
- Huang, M., & Zhang, M. (2013). Tea and coffee powders. In Handbook of Food Powders: Processes and Properties. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.3.513>
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. v. (2014). Introduction to food process engineering. In Introduction to Food Process Engineering. <https://doi.org/10.1201/b14969>
- INAMHI. (2020). FIDEICOMISO FONDO AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DEL AGUA-FONAG Mariana de Jesús N32 y Martín de Utrerasc/ Quito-Ecuador Autores Fideicomiso Fondo para la Protección de Cuencas y Agua-FONAG Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento-EPMAPS Recopilación Programa Gestión del Agua-FONAG Departamento Gestión de Recursos Hídricos, Gerencia del Ambiente-EPMAPS. <http://www.fonag.org.echttp://sedc.fonag.org>.
- Ishwarya, S. P., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Spray-Freeze-Drying approach for soluble coffee processing and its effect on quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.011>
- Julia, C., & Manfugás, E. (2007). Evaluación Sensorial de los Alimentos.
- Karyadi, J. N. W., Ayuni, D., Rohani, T. A., & Susanti, D. Y. (2020). Effect of drying temperature of small scale spray dryer on physical properties of coffee powder.

Pertanika Journal of Science and Technology, 28(4).
<https://doi.org/10.47836/pjst.28.4.10>

Kemp, S. E., Hort, J., & Hollowood, T. (2017). Descriptive Analysis in Sensory Evaluation. In Descriptive Analysis in Sensory Evaluation. <https://doi.org/10.1002/9781118991657>

Libreros, Mi. A. C. (2013). Secado por aspersión de jugo de jugos de frutas: Efecto de las variables de proceso sobre el producto final. In Occupational Medicine (Vol. 53, Issue 4).

Lira, M. R. (2007). Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. Instituto de Investigación Nutricional–IIN Consultora-AgroSalud.

Londoño, J. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista.

López Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. Revista Cubana de Farmacia, 44(3).

Mariluz, E. M., Macías, M., & Guayaquil, M. (2015). ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD DEL SECTOR CAFETALERO ECUATORIANO, PERIODO 2007-2014. In UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL.

Maritza, D. (2020). Evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos alcohólico y acuoso de la cáscara de la mandarina (*Citrus reticulata*) en relación a un medicamento antioxidante comercial. Universidad Politecnica Salesiana.

Markowicz, D., Monaro, E., Siguemoto, E., & Sefor, M. (2012). Maillard Reaction Products in Processed Food: Pros and Cons. In Food Industrial Processes - Methods and Equipment. <https://doi.org/10.5772/31925>

Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. In Nutricion Hospitalaria (Vol. 17, Issue 6).

Nava Reyna, E., Michelena Álvarez, G., Iliná, A., & Martínez Hernández, J. L. (2015a). Microencapsulación de componentes bioactivos. Investigación y Ciencia de La

- Universidad Autónoma de Aguascalientes, 66.
<https://doi.org/10.33064/iycuaa2015663571>
- Nava Reyna, E., Michelena Álvarez, G., Iliná, A., & Martínez Hernández, J. L. (2015b). Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 66.
<https://doi.org/10.33064/iycuaa2015663571>
- Nooshkam, M., Varidi, M., & Verma, D. K. (2020). Functional and biological properties of Maillard conjugates and their potential application in medical and food: A review. In *Food Research International* (Vol. 131).
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109003>
- Noroña, L. D. (2018). Cinética de secado de cereales provenientes de la Región Centro del Ecuador. In *Biomass Chem Eng* (Vol. 3, Issue 2).
- Odžakovic, B., Džinic, N., Kukric, Z., & Grujic, S. (2016). Effect of roasting degree on the antioxidant activity of different Arabica coffee quality classes. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 15(4).
<https://doi.org/10.17306/J.AFS.2016.4.39>
- Olmos-Padilla, M. F., O. C., R.-H. G., C.-G. A. (2019). 110. 4.
- Otoño. (2014). Análisis sensorial Otoño 2014 PRIMERA EDICIÓN GAS 121 (Miguel Ángel Carretero Domínguez, Ed.).
- Pan, Z., Zhang, R., & Zicari, S. (2019). Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00901-1>
- Perusko, M., Ghnimi, S., Simovic, A., Stevanovic, N., Radomirovic, M., Gharsallaoui, A., Smiljanic, K., van Haute, S., Stanic-Vucinic, D., & Cirkovic Velickovic, T. (2021). Maillard reaction products formation and antioxidative power of spray dried camel milk powders increases with the inlet temperature of drying. *LWT*, 143.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111091>
- Preedy, V. R. (2014). Coffee in Health and Disease Prevention. In *Coffee in Health and Disease Prevention*. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06959-1>

- Puertas, G. & R. G. (2016). aromas-1.
- Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51). <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rostagno, M. A., Celeghini, R. M. S., Debien, I. C. N., Nogueira, G. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Phenolic Compounds in Coffee Compared to Other Beverages. In *Coffee in Health and Disease Prevention*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00015-2>
- Ruiz, D., Riaño, C., & Orozco, L. (2015). Evaluación Sensorial Del Café. *Solidaridad Network*.
- Şahin Nadeem, H., Torun, M., & Özdemir, F. (2011). Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT*, 44(7). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.02.009>
- Santiago-Adame, R., Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J. A., Calderas, F., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Ochoa-Martínez, L. A., & Bernad-Bernad, M. J. (2015a). Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.020>
- Santiago-Adame, R., Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J. A., Calderas, F., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Ochoa-Martínez, L. A., & Bernad-Bernad, M. J. (2015b). Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT*, 64(2). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.020>
- Santistevan Méndez, M., Julca Otiniano, A., Borjas Ventura, R., & Tuesta Hidalgo, O. (2014). CARACTERIZACIÓN DE FINCAS CAFETALERAS EN LA LOCALIDAD DE JIPIJAPA (MANABÍ, ECUADOR). *Ecología Aplicada*, 13(1–2). <https://doi.org/10.21704/rea.v13i1-2.469>
- Sarabandi, K., Jafari, S. M., Mahoonak, A. S., & Mohammadi, A. (2019). Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a

- natural antioxidant and color source. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.133>
- Seninde, D. R., & Chambers, E. (2020). Coffee flavor: A review. In *Beverages* (Vol. 6, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/beverages6030044>
- Severiano-Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *INTERdisciplina*, 7(19). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287>
- Silva, V. M., Vieira, G. S., & Hubinger, M. D. (2014). Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. *Food Research International*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.052>
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). *Introduction to food engineering: Fifth edition*. In *Introduction to Food Engineering: Fifth Edition*. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-06101-X>
- Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016a). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001>
- Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016b). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*, 239, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001>
- Tonon, R. v., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
- van Doorn, G. H., Wullemin, D., & Spence, C. (2014). Does the colour of the mug influence the taste of the coffee? *Flavour*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/2044-7248-3-10>

- Vareltzis, P. K., Zeleskidou, M., Kiroglou, S., & Gargali, I. (2020). Production of instant coffee from cold brewed coffee; process characteristics and optimization. *Food Science and Applied Biotechnology*, 3(1). <https://doi.org/10.30721/fsab2020.v3.i1.92>
- Vignoli, J. A., Bassoli, D. G., & Benassi, M. T. (2011). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 124(3). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.008>
- Villegas-Santiago, J., Gómez-Navarro, F., Domínguez-Niño, A., García-Alvarado, M. A., Salgado-Cervantes, M. A., & Luna-Solano, G. (2020). Effect of spray-drying conditions on moisture content and particle size of coffee extract in a prototype dryer. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2). <https://doi.org/10.24275/rmiq/Proc767>
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting. In *Coffee in Health and Disease Prevention*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3>
- Wongsa, P., Khampa, N., Horadee, S., Chaiwarith, J., & Rattanapanone, N. (2019). Quality and bioactive compounds of blends of Arabica and Robusta spray-dried coffee. *Food Chemistry*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.088>

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Significancia de Tukey Propiedades Físicas, Funcionales y Sensoriales.

➤ Humedad

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T6	3	4,61	A		
T2	3	4,55	A		
T5	3	4,53	A		
T1	3	4,14	A	B	
T4	3	3,88	A	B	C
T7	3	3,72	A	B	C
T3	3	3,23		B	C
T8	3	3,04			C

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según Tukey ($p > 0,05$)

➤ Actividad Antioxidante

➤ Tratamiento	Media	Rangos*			
T8	2203,3	A			
T3	2151,1	A			
T6	2117,45	A	b		
T1	1927,2		b	C	
T5	1755,3			C	
T7	1444,4				D
T2	1375,1				D
T4	1136,0				e

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según Tukey ($p > 0,05$)

➤ Flavonoides Totales

Tratamiento	Media	Rangos*				
T2	94,6400	A				
T5	74,5200		B			
T6	70,407			c		
T3	63,727				D	
T8	61,500					e
T1	53,503					F
T4	48,467					g
T7	45,8067					h

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según Tukey ($p > 0,05$)

➤ Polifenoles Totales

Tratamiento	Media	Rangos*	
T2	100,020	A	
T5	99,643	a	
T6	99,552	a	
T1	98,227	a	
T4	77,86	B	
T8	71,167	C	
T3	69,317	C	
T7	63,053	D	

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según Tukey ($p > 0,05$)

➤ Aceptabilidad del Aroma de la Bebida de Café

➤ Tratamientos	Media	Rangos*	
T6	5,000	A	
T8	4,400	A	B
T2	4,280	A	B
T7	4,240	A	B
T1	3,920	B	C
T5	3,200	C	
T4	3,080	C	
T3	3,040	C	

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según Friedman ($p > 0,05$).

Anexo 2. Prueba DMS en Propiedades Físicas y Funcionales

➤ Factor A (Concentración de encapsulante) Humedad (%)

Factor	Medias	Rangos*
A2	3,74	A
A1	2,66	B

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

➤ Factor B (Temperatura) Humedad Final (%)

Factor	Medias	Rangos*
B1	4,46	A
B2	3,47	B

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

- Factor C (Flujo de alimentación) Humedad Final (%)

Factor	Medias	Rangos*
C2	4,02	A
C1	3,20	B

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

- Factor A (Concentración de encapsulantes) Actividad Antioxidante ($\mu\text{mol Trolox/g}$)

Factor	Medias	Rangos*
A1	1880,14	A
A2	1647,35	B

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

- Factor B (Temperatura de secado) Actividad Antioxidante ($\mu\text{mol Trolox/g}$)

Factor	Medias	Rangos*
B1	2060,76	A
B2	1733,72	B

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

- Factor B (Temperatura) Flavonoides Totales (mg EC/g)

Factor	Medias	Rangos*
A1	86,35	A
A2	83,35	B

*Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

- Factor A (Concentración de encapsulantes) Polifenoles Totales (mg EAG/g)

Factor	Media	Agrupación
B1	73,2675	A
B2	54,8750	B

Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

➤ Factor B (Temperatura) Polifenoles Totales (mg EAG/g)

Factor	Medias	Rangos*
B1	99,36	A
B2	70,35	B

Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

➤ Factor C (Flujo de alimentación) Polifenoles Totales (mg EAG/g)

Factor	Medias	Rangos*
C1	87,1504	A
C2	82,5600	B

Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, según DMS ($p > 0,05$)

Anexo 3. Determinación de Actividad Antioxidante por el Método ABTS+

• **Extracción de las muestras**

Se pesó 0,3 g de muestra y se adicionó 5 ml de la solución extractora (70% metanol, 30% agua bidestilada y 0,1% ácido fórmico). Las muestras de la bebida de café se agitaron por 1 minuto en el agitador de tubos, luego se colocaron en el baño ultrasónico por 10 minutos. Se centrifugaron las muestras a 5700 rpm por 10 minutos, finalmente se filtró el sobrenadante y se recolectó en un balón volumétrico ámbar de 25 ml. Se realizaron tres extracciones adicionales a cada muestra siguiendo la misma metodología, hasta obtener una extracción total. Las muestras se almacenaron en refrigeración hasta la medición. Este extracto se utilizó para cuantificar el contenido de fenoles y flavonoides totales, actividad antioxidante y compuestos fenólicos.

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{ABTS}_{\text{muestra y/o patrón trolox}} \\
 & = \mathbf{ABTS}_{\text{solución de trabajo inicial}} - \mathbf{ABTS}_{\text{muestra 45 min}}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Anexo 4. Determinación de Flavonoides Totales

• **Cuantificación en el espectrofotómetro UV-VIS**

Para determinar el contenido total de flavonoides se realizó una dilución de 20^{-1} al extracto de café, seguido de eso se tomó 1 ml de la muestra diluida, posteriormente

se añadió 4 ml de agua destilada y se homogenizó. Luego se agregó 0,3 ml de nitrito de sodio al 5% y las muestras fueron agitadas en un vórtex. Finalmente, después de haber pasado 5 minutos se añadió 0,3 ml de cloruro de aluminio al 10%, el cual reposó 5 minutos. Pasado el tiempo se adicionó 2 ml de NAOH 1N reactivo el cual cambió a las soluciones de tonalidad amarilla a rosa. Luego se aforó a 10 ml con agua destilada y se homogenizó las muestras. La absorbancia se leyó a 490 nm por duplicado.

Anexo 5. Determinación de humedad

Se empleó la metodología de que se muestra en Anexo 17. Esta norma establece el método para determinar el contenido de humedad mediante la pérdida por calentamiento en café soluble. Las mediciones se expresaron en gramos para después determinar el porcentaje de humedad de las muestras, siguiendo la Ecuación 19.

$$Pc = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} * 100 \quad (19)$$

Siendo:

Pc = Pérdida por calentamiento, en porcentaje de masa

m = Masa de la cápsula, en g

m_1 = Masa de la cápsula y la muestra, antes del calentamiento, en g

m_2 = Masa de la cápsula y la muestra, después del calentamiento, en g

Anexo 6. Balance de Masa y Energía

BALANCE DE MASA

Entrada = Salida

$$\dot{m}aWa_1 + \dot{m}pwp_1 = \dot{m}aWa_2 + \dot{m}pwp_2 \quad (20)$$

Donde:

- Flujo másico del aire (Aire seco que ingresa a la cámara de secado)

$$\dot{m}_a = \frac{m_{café} * (w_{p1} - w_{p2}) * (C_{pw} * \Delta T_p + h_{fg})}{t * n_s * C_{p_a} * \Delta T_a} \quad (21)$$

Donde:

– $m_{café}$ = Masa de café a secar

$$m_{café} = \rho_{café} * v_{café}$$

Determinación de $\rho_{café}$

$$m_{café} = 1168,47 \frac{kg}{m^3} * 0,001m^3; m_{café} = 1,20kg$$

– $w_{p1} - w_{p2}$ = Humedad inicial y final del café

– t = Tiempo de secado

Partiendo del flujo de alimentación de 10 ml/min cuando se atomiza 1000 ml de café concentrado = **1,69 h**

– C_{pw} = Calor específico del vapor de agua

– ΔT_p = Cambio de temperatura de café en el secador

$$T_{p1} = 36 \text{ °C}$$

T_{p2} = Temperatura de secado (cámara) = Diferencia de temperatura media logarítmica (MLDT)

$$MLDT = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)} \quad (22)$$

Dónde

ΔT_{max} = Diferencia entre la gota y el aire de entrada

ΔT_{min} = Diferencia de temperatura entre la gota y el aire de salida

Reemplazando datos en la ecuación 25:

$$MLDT = \frac{(150 - 36) - (80 - 36)}{\ln\left(\frac{150 - 36}{80 - 36}\right)}; MLDT = T_{p2} = 73,53 \text{ °C}$$

- hfg = Entalpía de vapor de agua
- Cpa = Calor específico del aire atmosférico
- ΔTa = Cambio de temperatura del aire del secador

$$\Delta Ta = (Ta1 - Ta2); \Delta Ta = (150 \text{ °C} - 80 \text{ °C}); \Delta Ta = 70 \text{ °C}$$

Dónde

Ta_1 = Temperatura de entrada a la cámara de secado

Ta_2 = Temperatura de salida a la cámara de secado

- ns = Eficiencia térmica global

$$nglobal = \left[\frac{T1 - T2}{T1 - To} \right] * 100\%; nglobal = \left[\frac{150 - 80}{150 - 0} \right] * 100\%; nglobal = 61,4\%$$

Se reemplaza los datos en la Ecuación 24.

$$\dot{m}a = \frac{1,20kg * (1,75 - 0,035) \frac{Kg H2O}{Kg s.s} * (1,88 \frac{KJ}{Kg * K} * 37,53K + 2372,24 \frac{KJ}{Kg})}{1,69h * 0,614 * 1,010 \frac{KJ}{Kg * K} * 70K}; \dot{m}a = 127,09 \frac{Kg a.s}{h}$$

- Humedad absoluta del aire que entra a la cámara de secado

$$Tbs = 36 \text{ °C}$$

$$HR\% = 20\%$$

Tabla psicrométrica (Figura)

$$Wa_1 = 0,010 \frac{kg_2O}{kg a.s}$$

- Flujo másico de alimentación

$$\dot{m}p = \frac{\rho v}{t}; \dot{m}p = \frac{1368,47 \frac{kg}{m^3}}{100 \text{ min}} * 60 \frac{\text{min}}{h}; \dot{m}p = 0,82 \frac{kg}{h}$$

- Humedad del producto

$$wp_1 = 1,75 \frac{kg H_2O}{kg s.s}$$

$$wp_2 = 0,035 \frac{kg H_2O}{kg s.s}$$

Se reemplaza los datos en la Ecuación 23.

$$\begin{aligned} & 127,09 \frac{Kg a.s}{h} * 0,010 \frac{Kg H_2O}{Kg a.s} + 0,82 \frac{kg}{h} * 1,75 \frac{Kg H_2O}{Kg s.s} \\ & = 127,09 \frac{Kg a.s}{h} Wa_2 + 0,82 \frac{kg}{h} * 0,035 \frac{Kg H_2O}{Kg s.s} \end{aligned}$$

$$Wa_2 = 0,012 \frac{Kg H_2O}{Kg a.s}$$

BALANCE DE ENERGÍA

$$\dot{m}pH_{p1} + \dot{m}aH_{a1} = \dot{m}pH_{p2} + \dot{m}aH_{a2} + QL$$

(23)

- Entalpía del aire (Ha)

$$Ha_1 = Cpa_1(Ta_1 - To) + W_1\lambda \quad (24)$$

$$Ha_2 = Cpa_2(Ta_2 - To) + W_2\lambda \quad (25)$$

Donde:

- Calor específico del aire de entrada

$$Cpa_1 = 1,005 + 1,88Wa_1; \quad Cpa_1 = 1,005 + 1,88 \left(0,010 \frac{kg H_2O}{kg a.s} \right); \quad Cpa_1 = 1,023 \frac{KJ}{Kg * K}$$

- Calor específico del aire de salida

$$Cpa_2 = 1,005 + 1,88Wa_2; \quad Cpa_2 = 1,005 + 1,88(0,012 \frac{Kg \ H2O}{Kg \ a.s}); \quad Cpa_2 = 1,038 \frac{KJ}{Kg * K}$$

– Calor latente del aire y producto

$$\left. \begin{aligned} \lambda(18,29 \text{ } ^\circ C) &= 2459 \frac{KJ}{Kg} \\ \lambda(73,53 \text{ } ^\circ C) &= 2324,25 \frac{KJ}{Kg} \end{aligned} \right\} \text{Obteniendo de la interpolaci3n y resta de} \\ \text{entre las entalpias del vapor saturado} \\ \text{(H}_v\text{) y liquido (H}_c\text{).}$$

Se reemplaza los datos en la Ecuaci3n 26 y 27.

$$\begin{aligned} Ha_1 &= 1,023 \frac{KJ}{Kg * K} (150 - 0) K + 0,010 \frac{Kg \ H2O}{Kg \ a.s} * 2459 \frac{KJ}{Kg}; \quad Ha_1 \\ &= 176,69 \frac{KJ}{Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ha_2 &= 1,041 \frac{KJ}{Kg * K} (80 - 0) K + 0,019 \frac{Kg \ H2O}{Kg \ a.s} * 2324,25 \frac{KJ}{Kg}; \quad Ha_2 \\ &= 110,13 \frac{KJ}{Kg} \end{aligned}$$

• **Entalpía del producto (H_p)**

$$Hp_1 = Cpp_1(Tp_1 - T_o) + wp_1 Cp_w(Tp_1 - T_o) \quad (26)$$

$$Hp_2 = Cpp_2(Tp_2 - T_o) + wp_2 Cp_w(Tp_2 - T_o) \quad (27)$$

Donde:

– Calor específico del producto. Modelo propuesto por Siebel (1892)

$$C_{pp_1} = 0,837 + 3,349X_{w_1}; C_{pp_1} = 0,837 + 3,349(0,032); C_{pp_1} \\ = 0,94 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$C_{pp_2} = 0,837 + 3,349X_{w_2}; C_{pp_2} = 0,837 + 3,349(0,64); C_{pp_2} \\ = 2,98 \frac{kJ}{kg * K}$$

– Calor específico del agua

$$C_{p_w} = 4,18 \frac{kJ}{kg H_2O * K}$$

Se reemplaza los datos en la Ecuación 28 y 29.

$$H_{p_1} = 0,94 \frac{kJ}{kg * K} (36 - 0)K + 1,75 \frac{kg H_2O}{Kg s.s} \\ * 4,18 \frac{kJ}{kg H_2O * K} (36 - 0) K; H_{p_1} = 281,38 \frac{kJ}{kg}$$

$$H_{p_2} = 2,98 \frac{kJ}{kg * K} (73,53 - 0)K + 0,035 \frac{kg H_2O}{Kg s.s} * 4,18 \frac{kJ}{kg H_2O * K} (73,53 - 0) K; H_{p_2} \\ = 251,18 \frac{kJ}{kg}$$

Se reemplaza los datos en la Ecuación 30.

$$0,82 \frac{kg}{h} * 281,38 \frac{kJ}{kg} + 127,09 \frac{kg}{h} * 176,69 \frac{kJ}{kg} \\ = 0,82 \frac{kg}{h} * 251,18 \frac{kJ}{kg} + 127,09 \frac{kg}{h} * 110,13 \frac{kJ}{kg} + QL$$

30

$$QL = 8483,87 \frac{kJ}{kg}$$

Cálculo de eficiencia global:

$$n_{global} = \left[\frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_o} \right] * 100\%;$$

$$n_{global} = 61,4\%$$

Anexo 7. Propiedades del Vapor Saturado

Table A.4.2 Properties of Saturated Steam

Temperature (°C)	Vapor pressure (kPa)	Specific volume (m ³ /kg)		Enthalpy (kJ/kg)		Entropy (kJ/[kg °C])	
		Liquid	Saturated vapor	Liquid (H _l)	Saturated vapor (H _v)	Liquid	Saturated vapor
0.01	0.6113	0.0010002	206.136	0.00	2501.4	0.0000	9.1562
3	0.7577	0.0010001	168.132	12.57	2506.9	0.0457	9.0773
6	0.9349	0.0010001	137.734	25.20	2512.4	0.0912	9.0003
9	1.1477	0.0010003	113.386	37.80	2517.9	0.1362	8.9253
12	1.4022	0.0010005	93.784	50.41	2523.4	0.1806	8.8524
15	1.7051	0.0010009	77.926	62.99	2528.9	0.2245	8.7814
18	2.0640	0.0010014	65.038	75.58	2534.4	0.2679	8.7123
21	2.487	0.0010020	54.514	88.14	2539.9	0.3109	8.6450
24	2.985	0.0010027	45.883	100.70	2545.4	0.3534	8.5794
27	3.567	0.0010035	38.774	113.25	2550.8	0.3954	8.5156
30	4.246	0.0010043	32.894	125.79	2556.3	0.4369	8.4533
33	5.034	0.0010053	28.011	138.33	2561.7	0.4781	8.3927
36	5.947	0.0010063	23.940	150.86	2567.1	0.5188	8.3336
40	7.384	0.0010078	19.523	167.57	2574.3	0.5725	8.2570
45	9.593	0.0010099	15.258	188.45	2583.2	0.6387	8.1648
50	12.349	0.0010121	12.032	209.33	2592.1	0.7038	8.0763
55	15.758	0.0010146	9.568	230.23	2600.9	0.7679	7.9913

(Continued)

Fuente: Singh & Heldman (2014)

Anexo 8. NTE INEN 1114. Determinación de Humedad por Calentamiento en Café Soluble

Anexo
Café

CDU: 663.933		INEN		AL 02.06-324	
Norma Técnica Ecuatoriana	CAFÉ TOSTADO MOLIDO. DETERMINACIÓN DE PERDIDA POR CALENTAMIENTO	INEN 1114	1984-04		
1. OBJETO					
1.1 Esta norma establece el método para determinar el contenido de humedad y otras materias volátiles, por calentamiento a $100 \pm 2^\circ\text{C}$ (pérdida por calentamiento), en el café soluble.					
2. TERMINOLOGIA					
2.1 Pérdida por calentamiento. En el café soluble y para efectos de esta norma, es la pérdida de una determinada cantidad de masa, dentro de las condiciones del presente método descrito.					
3. RESUMEN					
3.1 El método se basa en calentar el café soluble a $100 \pm 2^\circ\text{C}$, en dos periodos de calentamiento, y pesar.					
4. INSTRUMENTAL					
4.1 Estufa, con regulador de temperatura, ajustada a $100 \pm 2^\circ\text{C}$.					
4.2 Desecador, con cloruro de calcio u otro deshidratante adecuado.					
4.3 Cápsula de platino, o de otro material inalterable a las condiciones del ensayo, de fondo plano, con diámetro de 85 mm y altura de 25 mm.					
4.4 Balanza analítica. Sensible al 0,1 mg.					
5. PREPARACION DE LA MUESTRA					
5.1 Se homogeniza la muestra, invirtiendo varias veces el recipiente que lo contiene.					
5.2 La cantidad de muestra de café soluble, extraída dentro de un lote determinado, deberá ser representativa y no deberá exponerse al aire mucho tiempo.					
5.3 El material que se use para este ensayo deberá estar completamente limpio y seco.					
(Continúa)					

lado por

Anexo 10. NTE INEN 1122. Requisitos de Café Soluble o Instantáneo

Anexo
Instant

CDU: 663.935 ICS: 67.140.20		INEN		CIRU: 3121 AL 02.06-403	
Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	CAFÉ SOLUBLE REQUISITOS	NTE INEN 1122:2013	Tercera revisión 2013-02		
1. OBJETO					
1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el café soluble o instantáneo.					
2. DEFINICIONES					
Para los propósitos de esta norma se aplican las siguientes definiciones y las que se encuentran en la NTE INEN-ISO 3509.					
2.1 Café soluble (café instantáneo o extracto de café deshidratado). Es el producto que resulta de la deshidratación del extracto acuoso, obtenido exclusivamente de granos de café recientemente tostados y molidos, por métodos físicos, usando el agua como único elemento transportador.					
2.2 Extracto acuoso de café. Producto obtenido exclusivamente del café tostado y molido por métodos físicos usando agua como único elemento transportador.					
2.3 Café soluble atomizado. Es el café instantáneo que ha sido obtenido por un proceso en el cual el extracto acuoso de café es atomizado en atmósfera caliente y transformado en partículas secas por evaporación del agua.					
2.4 Café soluble aglomerado. Es el café instantáneo que ha sido obtenido por un proceso en el cual las partículas secas de café instantáneo se unen para formar partículas más grandes.					
2.5 Café liofilizado o deshidratado al frío. Es el café instantáneo que ha sido obtenido por un proceso en el cual el producto en estado líquido es congelado y el hielo es removido por sublimación.					
2.6 Café soluble descafeinado. Es el café instantáneo obtenido exclusivamente de granos de café descafeinados, recientemente tostados y molidos, (ver nota 1).					
2.7 Café soluble Tornado. Es el café instantáneo obtenido exclusivamente de granos de café recientemente tostados y molidos, añadido azúcar en cantidades declaradas.					
2.8 Sucedáneos del café. Son aquellos productos de origen vegetal (soya, higo, achicoria u otros), que desecados, tostados con o sin azúcar y molidos, permiten con el agua caliente, preparar una infusión cuyo aspecto imita a la del café.					
2.9 Sucedáneos del café soluble. Son los productos solubles en agua, que resulta de la deshidratación del extracto acuoso de los sucedáneos del café.					
3. CLASIFICACION					
3.1 Por su materia prima. El café soluble o instantáneo se clasifica en:					
3.1.1 Café soluble sin descafeinar, y que se designará como "café soluble".					
3.1.1 Café soluble descafeinado, y que se designará como "café soluble descafeinado".					
3.2 Por su proceso de elaboración. El café soluble o instantáneo, sin descafeinar o descafeinado, se clasifica en:					
NOTA 1. El nivel máximo de contenido de cafeína debe declararse en las especificaciones del café descafeinado.					
(Continúa)					

de o

Anexo 12. Plantilla de Análisis de Aceptabilidad



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE AGROINDUSTRIA
Ibarra-Ecuador



HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

**“EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE ENCAPSULACIÓN, TEMPERATURA Y
FLUJO DE ALIMENTACION DE SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LA
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN CAFÉ ARÁBIGO Coffea arábica L.
VARIEDAD CASTILLO”.**

INSTRUCCIONES:

- Para la apreciación de cada una de las muestras, tómese el tiempo necesario.
- Analice detalladamente cada una de las características a evaluarse (color, aroma, sabor y aceptación final).
- Tener en cuenta la codificación de la cada una de las muestras.
- Beber agua al terminar de evaluar cada muestra, para que no exista combinación con muestras anteriores.
- Para la puntuación marque con una “X” en el recuadro correspondiente a cada muestra anteriormente degustada.
- Su sinceridad es muy importante, hágalo con total honestidad.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE AGROINDUSTRIA
Ibarra-Ecuador



1. COLOR

Escala	MUESTRA							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Me gusta mucho								
Me gusta								
Ni me gusta ni me disgusta								
No me gusta								
No me gusta mucho								

2. AROMA

Escala	MUESTRA							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Me gusta mucho								
Me gusta								
Ni me gusta ni me disgusta								
No me gusta								
No me gusta mucho								

3. SABOR

Escala	MUESTRA							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Me gusta mucho								
Me gusta								
Ni me gusta ni me disgusta								
No me gusta								
No me gusta mucho								

A) PRUEBA DE ACEPTACIÓN









Escala	MUESTRA							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Me gusta mucho								
Me gusta								
Ni me gusta ni me disgusta								
No me gusta								
No me gusta mucho								









Λ

Anexo 13. Registro Fotográfico

POLVO DE CAFÉ CASTILO DE CADA TRATAMIENTO			
			
Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
			
Tratamiento 5	Tratamiento 6	Tratamiento 7	Tratamiento 8

POLVO DE CAFÉ CASTILO

			
<p>Café verde</p>	<p>Café Tostado</p>	<p>Enfriamiento de los granos de Café</p>	<p>Desgasificación del café tostado</p>
			
<p>Molienda del café</p>	<p>Filtración del extracto de café</p>	<p>Evaporación del extracto</p>	<p>Encapsulación del café</p>

			
<p>Atomización de café</p>	<p>Obtención del producto seco</p>	<p>Empaque y etiquetado</p>	<p>Almacenamiento de muestras</p>
			
<p>Determinación de concentración</p>		<p>Determinación de Humedad</p>	

Simbología

h = Hora

min = Minutos

$m. s. n. m$ = Metros sobre el nivel del mar

m/s = Metros sobre segundos

rpm = Revoluciones por minuto

μm = Micrómetro

kPa = Kilo pascales

Pa = Pascales

m^3 = Metros cúbicos

% = Porcentaje

ml = Mililitro

\bar{X} = Media aritmética o promedio

Atm = Atmósfera

ΣX^2 = Sumatoria de los rangos al cuadrado

r = Número de degustadores

t = Tratamientos

CV = Coeficiente de variación

CM = Cuadrado medio

DCA = Diseño completamente al azar

DMS = Diferencia mínima significativa

ns = No significativo

TPC = Contenido de polifenoles totales

TFC = Contenido de flavonoides totales

$MLDT$ = Diferencia de temperatura media logarítmica

AA = Actividad antioxidante

DE = Equivalencia de dextrosa

GA = Goma arábiga

MD = Maltodextrina

$\%HRE$ = Humedad relativa de equilibrio

C_s : Calor húmedo

T_p : Temperatura del producto

T_o : Temperatura de referencia

w : Contenido de agua del producto

λ : Calor latente de vaporización

C_{pw} : Calor específico del agua

C_{pp} : Calor específico del producto

n_{global} = Eficiencia global

V'_a = Volumen específico del aire seco

V'_w = Volumen específico del vapor de agua

V'_m = Volumen específico del aire saturado

T_A = Temperatura absoluta

T_{bs} = Temperatura de bulbo seco

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo

R_w = Constante de los gases para el vapor de agua

p_w = Presión parcial del vapor de agua

p_B = Presión total o presión barométrica del aire húmedo

p_a = Presión parcial ejercida por el aire seco

x_w = Presión parcial del agua

x_a = Presión parcial del aire

ϕ = Humedad relativa

ρ_w = Densidad del vapor de agua en el aire

ρ_s = Densidad del vapor de agua saturado

\dot{m}_a = Flujo del aire seco que ingresa al secador

W_{a1} = Humedad absoluta del aire que ingresa al secador

W_{a2} = Humedad absoluta del aire que sale al secador

w_{p1} = Contenido de agua del producto de alimentación que ingresa al secador

w_{p2} = Contenido de agua del producto seco que sale del secador

\dot{m}_p = Flujo de producto que ingresa al secador

H_{p1} = Entalpía del producto a la entrada del secador

H_{p2} = Entalpía del producto a la salida del secador

H_{a1} = Entalpía del aire a la entrada del secador

H_{a2} = Entalpía del aire a la salida el secador

Q_L = Pérdida del calor del secador