UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Elaboración de un producto cosmético empleando compuestos orgánicos extraídos de la borra de café.

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Melanie Arliss Rosales Car

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Elaboración de un producto cosmético empleando compuestos orgánicos extraídos de la borra de café.

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Melanie Arliss Rosales Car

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2022

Vo.Bo.:

(f) _____

Ana Regina Cruz Serré

Tribunal Examinador

(f) _____

Ana Regina Cruz Serré

(f) _____

Gamaliel Giovanni Zambrano

(f) _____

Carmen Alicia Ortiz Pineda

Fecha de aprobación: Guatemala 13 de junio de 2022.

PREFACIO

El presente trabajo de graduación se lo dedico principalmente a Dios y a la Virgen María por brindarme la sabiduría y paciencia necesarias para culminar con esta etapa tan especial de mi vida.

A mis papás, David y Mónica, por apoyarme con mucho amor y sacrificio durante este camino y haberme cultivado los valores para convertirme en la persona y ahora profesional que tanto anhelé ser.

A mis hermanos, Davicito y Lili, por darme ánimos y acompañarme en todo momento. A mis primos; Andreé, Freeny, Dari, Guiss y Meli. Y a toda mi familia; abuelos, tíos y sobrino, por ser una parte esencial en mi vida.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Núñez, por asesorarme en todo momento, al Ingeniero Zambrano por sus consejos, a mi asesora la Ingeniera Ana Regina Cruz que sin su ayuda este trabajo no hubiese sido posible, al Ingeniero Andrés Hernández por haber confiado en mí desde el inicio de la investigación, a la Licenciada Ana Luisa y a todos los catedráticos que contribuyeron a mi formación profesional.

Por último, agradezco a mis amigos con quienes he tenido la suerte de compartir estos cinco años llenos de desvelos, llantos, risas y, sobre todo, buenos momentos. Especialmente a Rocío, Memo, Isa y Sofi.

ÍNDICE

Página

Prefacio……..……i
Lista de cuadros…….……iii
Lista de figuras…….……....v
Resumen……..……....vii
I. Introducción……1
II. Objetivos……..2
III. Justificación…….3
IV. Marco teórico……...4
A. Café *Coffea arabica*……4
B. Borra de café……...4
C. La piel…….7
D. Radicales libres y estrés oxidativo……..9
E. Antioxidantes……..……..10
F. Cosméticos……20
G. Operaciones Unitarias……...…27
H. Estadística…….31
V. Metodología……..33
VI. Resultados…….36
VII. Análisis de resultados……42
VIII. Conclusiones……46
IX. Recomendaciones……..47
X. Bibliografía……..…...……48
XI. Anexos...……52

LISTA DE CUADROS

Página

1. Cuadro 1. Composición química de la borra de café…….5
2. Cuadro 2. Mecanismo de acción de los antioxidantes……12
3. Cuadro 3. Clasificación de los productos cosméticos…….....20
4. Cuadro 4. Especificación de límites microbianos.……..……..…21
5. Cuadro 5. Elección de la forma farmacéutica según tipo de piel y beneficio obtenido……..……..23
6. Cuadro 6. Características de operación de distintos equipos para reducción de tamaño……..30
7. Cuadro 7. Factores que maximizan la concentración de cafeína (ppm) en aceite de borra de café para un cosmético extraído con etanol…….36
8. Cuadro 8. Factores que maximizan la concentración de ácido clorogénico (ppm) en aceite extraído de borra de café para un cosmético facial empleando como solvente hexano……...36
9. Cuadro 9. Condiciones de operación generales para maximizar la extracción de aceite de borra de café…….....36
10. Cuadro 10. Composición del sérum facial……...39
11. Cuadro 11. Características físicas del sérum facial…….……39
12. Cuadro 12. Características físicas del aceite extraído de la borra del café…….…..39
13. Cuadro 13. Características del sérum facial fabricado comparadas con un sérum facial teórico…….……..39
14. Cuadro 14. Datos detallados del proceso de secado para extracción de cafeína y ácido clorogénico utilizando hexano como solvente de extracción…….……...52
15. Cuadro 15. Concentración de cafeína y ácido clorogénico (ppm) en muestras de aceite de borra de café utilizando hexano como solvente de extracción…….…….….52
16. Cuadro 16. Tiempo (±0.5) en minutos de reflujos en proceso de extracción…….……..53
17. Cuadro 17. Recopilación de datos obtenidos durante el proceso de evaporación…….…...53
18. Cuadro 18. Recopilación de datos obtenidos durante el proceso de secado de aceite para cosmético…….……53
19. Cuadro 19. Tiempo en minutos empleado para cada reflujo en el proceso de extracción.....54
20. Cuadro 20. Recopilación de datos obtenidos durante el proceso de evaporación……54
21. Cuadro 21. Concentración de cafeína en muestras de aceite de borra de café después de 1 semana de extracción utilizando etanol…….……63
22. Cuadro 22. Concentración de cafeína en muestras de aceite de borra de café después de 7 meses de extracción utilizando etanol……63
23. Cuadro 23. Disminución de la concentración de cafeína (%) de los extractos etanólicos, luego de 7 meses de almacenamiento…….……64
24. Cuadro 24. Disminución de la concentración de cafeína (%) de los extractos con hexano, luego de 8 meses de almacenamiento…….……..……..64
25. Cuadro 25. pH promedio de sérum facial…….……64

26. Cuadro 26. Masa y densidad promedio de sérum facial…….65
27. Cuadro 27. Tiempo (min) de reflujos en proceso de extracción…….65
28. Cuadro 28. Error típico de pendiente e intercepto de gráfica de concentración de cafeína (ppm) respecto al área obtenidos del HPLC……..65
29. Cuadro 29. Error típico de pendiente e intercepto de gráfica de concentración de ácido clorogénico (ppm) respecto al área obtenidos del HPLC……66

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Figura 1. Análisis elemental de los residuos……....6
2. Figura 2. Análisis bioactivo de los residuos…….……6
3. Figura 3. Cromatograma de HPLC utilizando como fase móvil metanol: agua……..7
4. Figura 4. Anatomía de la piel……8
5. Figura 5. Estructura covalente y numeración atómica de la cafeína (1,3,7-trimetilxantina)……...12
6. Figura 6. Partes del equipo de extracción sólido-líquido Soxhlet……..13
7. Figura 7. Influencia de la temperatura (ºC) en la extracción de cafeína……14
8. Figura 8. Concentración de cafeína respecto a diferentes diluciones de etanol…….…15
9. Figura 9. Cantidad de muestras requeridas para la verificación de la calidad……22
10. Figura 10. Análisis de influencia de tamaño de partícula y porcentaje de humedad en concentración de ácido clorogénico (ppm) de muestras extraídas con hexano…….37
11. Figura 11. Análisis de influencia de tamaño de partícula y porcentaje de humedad (m/m) en concentración de cafeína (ppm) de muestras extraídas con etanol al 95% pureza……37
12. Figura 12. Análisis de concentración de cafeína (ppm) respecto al porcentaje de humedad (m/m) de las muestras y al tiempo (min) de extracción…….38
13. Figura 13. Influencia de porcentaje de humedad en las muestras de borra de café y la naturaleza del solvente de extracción en la concentración de cafeína (ppm)…….38
14. Figura 14. Balance de masa y energía del proceso de producción de sérum facial……40
15. Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de sérum facial a partir de aceite extraído de borra de café……41
16. Figura 16. Análisis de concentración de cafeína (ppm) respecto al porcentaje de humedad (m/m) de las muestras y al tiempo (min) de extracción…….66
17. Figura 17. Ficha técnica de secador de bandejas……...67
18. Figura 18. Ficha técnica de molino de martillos……68
19. Figura 19. Ficha técnica de extractor y concentrador de aceite de borra de café…….69
20. Figura 20. Ficha técnica de tanque de agitación……70
21. Figura 21. Ficha técnica de embotelladora……71
22. Figura 22. Ficha técnica de etiquetadora……...72
23. Figura 23. Ficha técnica de torre de enfriamiento…….73
24. Figura 24. Curva de calibración de estándar de cafeína……74
25. Figura 25. Gráfica de concentración de cafeína (ppm) respecto al Área……..74
26. Figura 26. Curva de calibración de estándar de ácido clorogénico……75
27. Figura 27. Gráfica de concentración de ácido clorogénico (ppm) respecto al área calculada con HPLC……...75
28. Figura 28. Percoladora Hamilton Beach……76
29. Figura 29. Alimentación de borra de café en percoladora…….76

30. Figura 30. Sistema de percolación……77
31. Figura 31. Posición de parilla dentro de un horno Whirlpool……..77
32. Figura 32. Termómetro para horno……78
33. Figura 33. Borra de café seca……78
34. Figura 34. Determinación de porcentaje de humedad (m/m) empleando una balanza de humedad……79
35. Figura 35. Sistema de tamización de borra de café……....79
36. Figura 36. Borra de café en diferentes tamices……80
37. Figura 37. Sistema de extracción……80
38. Figura 38. Sistema de evaporación……81
39. Figura 39. Lectura de pH en muestra No. 3 de sérum facial……..81
40. Figura 40. Lectura de pH en muestra No. 2 de sérum facial……..82
41. Figura 41. Lectura de pH en muestra No.3 de sérum facial……82
42. Figura 42. Lectura de pH en muestra No.4 de sérum facial……83
43. Figura 43. Lectura de masa de envase para sérum facial……83
44. Figura 44. Lectura de masa de aceite extraído de borra de café……84
45. Figura 45. Centrífuga utilizada para la purificación de aceite para análisis HPLC……84
46. Figura 46. Muestra de extracto de borra de café para análisis de HPLC……85
47. Figura 47. Envase seleccionado para contener el sérum facial……..85
48. Figura 48. Etiqueta de sérum facial……86
49. Figura 49. Prensa para remoción de agua en exceso de borra de café……86

RESUMEN

Este estudio tuvo como finalidad cuantificar la concentración de la cafeína y ácido clorogénico presentes en la borra de café *Coffea arabica*, de la Región de oriente de Guatemala, específicamente de Jalapa, e identificar los parámetros que maximizan su concentración, para elaborar un producto cosmético que aproveche las bondades del aceite extraído de la borra de café y pueda cumplir con los requisitos del Reglamento Técnico Centroamericano de verificación de la calidad. Los análisis se realizaron con la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC por sus siglas en inglés) Agilent modelo 1100, aplicado a un detector UV-VIS. La separación cromatográfica se llevó a cabo en una columna ODS Hypersil 200 x 2.1 mm y tamaño de partícula 5 µm.

Los resultados mostraron que al realizar extracciones sólido-líquido a 95±05 ºC con etanol al 95% (v/v) y un tiempo aproximado de 181.5 ±0.005 minutos a muestras que contenían 5.88 ±0.005% (m/m) de humedad y un tamaño de partícula menor a 177 µm alcanzaron una concentración promedio de cafeína de 1046.35 ±97.165ppm. Por otro lado, se obtuvo una concentración máxima de 1.408±0.4195 ppm de ácido clorogénico con extracciones empleando hexano a 80±0.5 ºC en muestras que poseían las características mencionadas anteriormente. Por último, se formuló un sérum facial con presentación de 10±0.01 mL, con un pH de 5.88±0.005 que se compone de 10% (v/v) de aceite de borra de café, 5% (v/v) colágeno, 39% (v/v) aceite de Rosa de Mosqueta, 20% (v/v) aceite de Jojoba, 1% (v/v) conservante y 25% (v/v) de ácido hialurónico al 1%, para el cual se propusieron las etapas de secado, molienda, extracción sólido-líquido, evaporación, mezclado, embotellado y etiquetado para brindar una guía de la extracción de aceite de borra de café y la elaboración del cosmético a escala industrial.

I. INTRODUCCIÓN

La borra de café es el residuo sólido obtenido de la elaboración de café soluble que es descartado sin aprovechar los valiosos compuestos como polisacáridos, oligosacáridos, lípidos, ácidos alifáticos, aminoácidos, proteínas, alcaloides (como cafeína y trigonelina), minerales, compuestos fenólicos, lignina y melanoidinas que se pueden obtener de él realizando una extracción sólido-líquido, la cual consiste en la separación de componentes biológicamente activos, empleando un solvente y un equipo de extracción Soxhlet. Específicamente, en el método de extracción Soxhlet se mezcla el material sólido (en este caso la borra de café) y el disolvente (se empleó hexano y etanol), y la mezcla se mantiene durante el tiempo necesario para favorecer la transferencia del compuesto de interés del sólido al disolvente.

En consecuencia, el interés por encontrar alternativas para su uso ha aumentado, por lo que, la borra o bagazo del café se emplea para producir biodiésel, compostaje y biomasa. Sin embargo, uno de los productos que no ha sido ampliamente investigado es el cosmético.

La investigación acerca del uso de borra de café indica que la cafeína y los polifenoles en las formulaciones cosméticas han mostrado signos de mejora en el rendimiento de protección solar debido a una mayor protección de las células contra la radiación de luz ultravioleta, una disminución del proceso de fotoenvejecimiento de la piel y la capacidad de inhibir la expresión de fosfolipasas y ciclooxigenasas para reducir la intensidad del proceso inflamatorio. La cafeína, además de las características ligadas a la fotoprotección, también tiene la capacidad de aumentar la microcirculación de la sangre en la piel y el crecimiento del cabello a través de la inhibición de la actividad 5-alfa-reductasa.

La elaboración de un producto cosmético natural se basa en una serie de pasos que llevan a cabo transformaciones químicas y físicas, llamadas operaciones unitarias. Las operaciones unitarias básicas para elaborar un producto cosmético natural a partir de la borra de café son: secado, extracción, mezclado, embotellado y etiquetado.

Ya que se empleó como materia prima un compuesto que no presenta riesgos a la salud y además es abundante en nuestro país, el cosmético elaborado tiene una variedad de posibilidades en el mercado guatemalteco. Por lo que tiene el potencial de llegar a sustituir cosméticos sintéticos.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL

- Extraer compuestos orgánicos de la borra de café para elaborar un producto cosmético que cumpla con las normas establecidas por el reglamento técnico centroamericano de verificación de la calidad de productos cosméticos.

B. ESPECÍFICOS

- Identificar los compuestos orgánicos de la borra de café guatemalteco utilizando diferentes métodos analíticos, para ser empleados como materia prima en la formulación de un producto cosmético.
- Determinar las condiciones de operación que maximicen la extracción de los compuestos orgánicos de la borra de café utilizando el método de extracción sólido-líquido por lixiviación con el equipo Soxhlet.
- Proponer las operaciones unitarias necesarias para extraer compuestos que se utilicen en un cosmético que cumpla con las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas establecidas por el Reglamento Técnico Centroamericano de Verificación de la Calidad de Productos Cosméticos.

III. JUSTIFICACIÓN

La industria cafetalera es uno de los principales factores de desarrollo en Guatemala ya que para el año 2013/2014, el cultivo de Café generó alrededor de 405,517 empleos en el área rural y la exportación de café representó un ingreso de US$666, 827,213, lo que representa entre 4 al 5 % PIB. Esto equivale a un 16 % del PIB agrícola (ANACAFE, 2015). Con respecto al consumo local, para el 2019 el café instantáneo tiene una participación del 23% de los Q2.3 mil millones totales por venta y el 67% es café molido. Como consecuencia a la alta demanda de café, se produce una cantidad significativa de residuo sólido del café molido que no se aprovecha a cabalidad.

El impacto del sector de Cosméticos e Higiénicos se vio reflejado en la generación de más de 7,000 empleos directos y US$365 millones exportados a diciembre 2019, logrado con la innovación y trabajo de pymes que están distribuidas en 5 subsectores: aceites esenciales, fragancias, cosméticos, higiene, jabones y detergentes. Las exportaciones de cosméticos acumuladas a julio del 2020 tuvieron un valor de US$24.7 millones equivalente al 0.37% del total de exportaciones, siendo El Salvador, Honduras y Nicaragua los principales mercados internacionales.

Con el fin de aprovechar la capacidad antioxidante, antiinflamatoria y fotoprotectora de ciertos compuestos orgánicos de la borra que deja el café colado, el presente trabajo de investigación mostró los resultados de las extracciones de compuestos orgánicos, mediante el método de extracción sólido-líquido por lixiviación con el equipo Soxhlet para elaborar un producto cosmético, a escala de laboratorio, como una alternativa innovadora en la industria cosmética guatemalteca sin presentar efectos perjudiciales para la salud.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Café *Coffea arabica*

El café pertenece al género Coffea, de la familia Rubiacea del orden Rubiales. Actualmente existen más de 100 especies del género Coffea en el mundo, entre ellas existen dos especies de importancia comercial *Coffea arábica* L y *Coffea canephora* (Burgos, 2003).

Coffea arábica constituye el 75% del café de exportación y se produce en 60 países, la mayor parte en sur y centro América. La bebida de calidad se obtiene de Arábica, especie que se cultiva a mayor altitud y de la cual se han derivado las variedades comerciales de mayor calidad y aceptación en el mercado (Burgos, 2003).

1. Características físicas

Forma: El mercado tiene como base la forma de grano plano convexa, la cual se considera como la forma normal. Además, entre estos granos se pueden diferenciar los granos cortos y largos, los primeros tienen una relación largo/ancho, menor y en los segundos la relación es mayor (Burgos, 2003).

Tamaño: Esta característica se mide por medio de zarandas con perforaciones redondas o bien alargadas. Al emplear perforaciones redondas, el ancho del grano determina su paso por la perforación, en el caso de utilizar perforaciones alargadas, es el espesor el que determina el paso del grano por la perforación (Burgos, 2003).

Color: Los colores encontrados en el grano varían desde azules, verdes, amarillos hasta pardos. Con base al parámetro de color se puede saber la calidad del grano. Siendo el azul un indicativo de calidad alta, mientras que el amarillo y pardo indican una pobre calidad (Burgos, 2003).

B. Borra de café

La borra del café es el residuo de la extracción de los compuestos solubles del café molido, que queda en el filtro para colar café (Ballesteros, L., Teixeira, J. y Mussatto, S, 2014).

Con respecto a su composición química, la borra contiene en su mayoría polisacáridos. Los azúcares son polimerizados en celulosa y hemicelulosa, los cuales corresponden al 51.50% (p/p) de su composición en peso seco. A continuación, se presenta la composición química de la borra de café (Ballesteros, L., Teixeira, J. y Mussatto, S, 2014).

Cuadro 1. Composición química de la borra de café

Componentes químicos	Composición (g componente/100 g material seco)
Celulosa (glucosa)	12.40 ± 0.79
Hemicelulosa	39.10 ± 1.94
Arabinosa	3.60 ± 0.52
Manosa	19.07 ± 0.85
Galactosa	16.43 ± 1.66
Xilosa	No se detectó
Lignina	23.90 ± 1.7
Insoluble	17.59 ± 1.56
Soluble	6.31 ± 0.37
Grasas	2.29 ± 0.30
Proteínas	17.44±0.10
Nitrógeno	2.79±0.10
Carbono/nitrógeno (relación c/n)	16.91±0.10
Fibra dietética total	60.46±2.19
Insolubles	50.78 ±1.58
Solubles	9.68±2.70

(Ballesteros, L., Teixeira, J. y Mussatto, S, 2014).

Figura 1. Análisis elemental de los residuos

Residuo	FENT	CANT
Cáscara de guanábana	3,40±0,51	26,03±0,43
Cáscara de maracuyá	0,86±0,07	234,04±2,95
Cáscara de plátano	1,54±0,08	161,10±2,03
Cáscara de piña	2,78±0,42	82,11±0,97
Cáscara de lulo	2,68±0,11	146,37±1,79
Estopa de coco	1,10±0,06	691,05±10,12
Cáscara de tomate de árbol	1,26±0,37	72,56±0,84
Semilla de tomate de árbol	1,16±0,17	198,71±1,36
Vástago de tomate de árbol	1,24±0,06	131,37±0,99
Semilla de naranja	0,72±0,07	446,04±3,09
Semilla de mandarina	2,64±0,23	80,19±1,10
Semilla de uva	10,62±0,89	0,63±0,01
Cáscara de uva	6,69±0,47	1,33±0,01
Escobajos de uva	22,08±0,94	0,29±0,01
Sarmientos de uva	4,18±0,21	10,91±0,16
Borra de café	3,30±0,42	15,34±1,13
Cáscara del árbol de pan	188,40±7,14	32,93±1,01
Cáscara de la semilla del AP	48,40±1,69	104,29±4.73
Almendra de la semilla del AP	60,40±1,70	148,13±11,34

La Figura 1 muestra los resultados del análisis elemental de los residuos en base seca libre de cenizas. FENT: Fenoles totales, mg Ácido Gálico/g; CANT: Capacidad antioxidante, mg/mL de extracto (Rojas, Flórez & López, 2019).

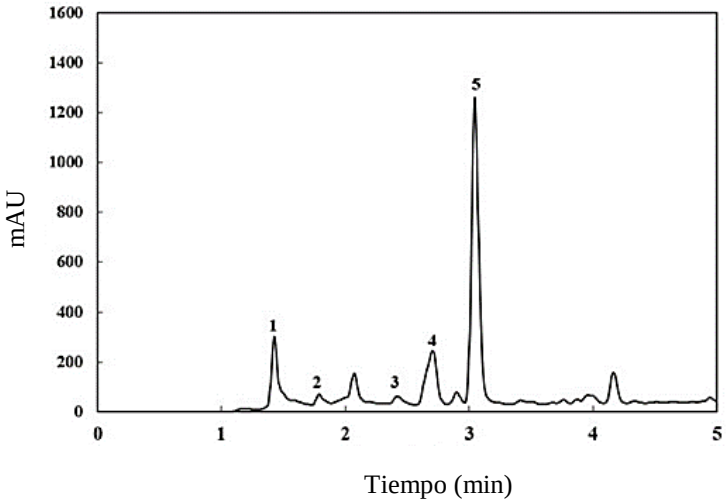
Figura 2. Análisis bioactivo de los residuos

Residuo	C*	H*	N*	S*	O*
Cáscara de guanábana	49,23±0,68	6,04±0,42	0,55±0,01	0,28±0,03	43,90±0,09
Cáscara de maracuyá	48,40±0,97	7,27±0,08	1,36±0,02	0,06±0,01	42,91±0,18
Cáscara de plátano	47,78±0,36	6,07±0,26	1,02±0,01	0,36±0,03	44,77±0,15
Cáscara de piña	48,10±0,54	6,04±0,23	0,63±0,03	0,35±0,06	44,88±0,13
Cáscara de lulo	46,93±0,91	6,06±0,16	1,12±0,06	0,28±0,05	45,61±0,26
Estopa de coco	49,80±0,62	5,98±0,22	0,17±0,01	0,01±0,00	44,04±0,14
Cáscara de tomate de árbol	47,50±01,01	6,08±0,07	1,06±0,09	0,46±0,07	44,91±0,12
Semilla de tomate de árbol	48,22±0,63	6,03±0,19	0,62±0,02	0,26±0,10	44,87±0,33
Vástago de tomate de árbol	46,56±0,94	6,14±0,35	1,85±0,13	0,33±0,11	45,12±0,21
Semilla de naranja	50,13±0,82	6,01±0,27	0,37±0,02	0,04±0,00	43,45±0,18
Semilla de mandarina	47,88±0,38	6,01±0,09	0,69±0,08	0,11±0,01	45,32±0,16
Semilla de uva	57,57±0,51	8,07±0,42	2,67±0,12	0,19±0,01	31,50±2,09
Cáscara de uva	55,10±1,77	8,41±0,31	1,71±0,05	0,14±0,01	34,64±2,47
Escobajos de uva	50,82±2,09	7,54±0,38	1,12±0,09	0,07±0,01	40,45±2,35
Sarmientos de uva	50,82±1,89	7,57±0,45	0,77±0,07	0,07±0,01	40,77±1,89
Borra de café	48,05±0,19	5,99±0,11	0,51±0,11	0,11±0,01	45,34±0,23
Cáscara del árbol de pan	43,59±0,90	5,55±0,17	0,98±0,14	0,34±0,04	40,85±0,45
Cáscara de la semilla del AP	46,40±0,61	5,78±0,10	0,65±0,09	0,16±0,01	42,85±0,19
Almendra de la semilla del AP	45,96±0,42	5,79±0,16	0,70±0,07	0,23±0,02	43,42±0,29

En la Figura 2 se muestra el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante de los residuos de frutas.

C: Carbono; H: Hidrógeno; N: Nitrógeno; S: Azufre; O: Oxígeno (Rojas, Flórez y López, 2019).

Figura 3. Cromatograma de HPLC utilizando como fase móvil metanol: agua



Pico No.	t_R (min)	λ_{max} (nm)	$[M + H]^+$ *(m/z)*	Compuesto
1	1.4	268	138	Trigonelina
2	1.8	271	171	Ácido Gálico
3	2.4	272	155	Ácido Protocatéquico
4	2.6	325	355	Ácido Clorogénico
5	3.0	274	195	Cafeína

Elaboración propia basada en: (Choi y Koh, 2017).

C. La piel

Es el órgano que reviste nuestro cuerpo, brindando una protección de barrera con el medio externo y protegiéndonos de la radiación ultravioleta y de agentes infecciosos (Benítez & Povedano, 2020). Algunas funciones de la piel son las siguientes:

Protección: Es una barrear semipermeable que protege los tejidos de la abrasión, bacterias, deshidratación y radiación UV (Benítez & Povedano, 2020).

Queratogénesis: Función de la piel para la formación de la queratina, proteína encargada de impermeabilizar y proteger (Benítez & Povedano, 2020).

Melanogénesis: Función que permite la formación de la melanina, un pigmento que brinda las diferentes tonalidades de la piel y protección a las radiaciones solares (Benítez & Povedano, 2020).

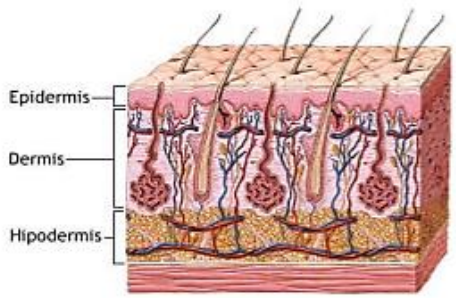
1. Estructura histológica de la piel

Está constituida por una capa externa, llamada epidermis, conformada por tejido epitelial (capas de células unidas como ladrillos conformando un muro). La epidermis cuenta con componentes hidrosolubles, los cuales pueden ser extraídos de la piel, esto explica la capacidad que posee esta capa para la retención de agua y control de la flexibilidad. Por otra parte, esta característica dificulta también el paso de productos aplicados en la piel (Benítez & Povedano, 2020).

Bajo la epidermis, se encuentra la dermis, tejido conectivo y rico en colágeno, elastina y proteoglicanos, además de vasos sanguíneos, receptores nerviosos, glándulas sudoríparas y sebáceas y folículos pilosos (Benítez & Povedano, 2020).

Subyacente a la dermis, se encuentra la hipodermis, tejido rico en tejido adiposo, separado por tabiques fibrosos. Este tejido contiene pocos vasos sanguíneos (Benítez & Povedano, 2020).

Figura 4. Anatomía de la piel



(Benítez & Povedano, 2020).

2. Clasificación de la piel

Para emplear los productos adecuados es importante reconocer el tipo de piel. Generalmente, se define a la piel en dos formas:

a. Según el tipo: normal, seca, grasa o mixta
b. Según el estado: deshidratada o sensible (Benítez & Povedano, 2020).

3. Tipos de piel

a. Piel normal: También llamada eudérmica, hace referencia a una piel que presenta poros finos, buena circulación, textura aterciopelada, suave y lisa, sin tensiones ni brillos (Benítez & Povedano, 2020).
b. Piel seca: También conocida como xerosis cutánea, es un tipo de piel que a menudo se encuentra agrietada, áspera, rugosa, menos elástica y con escamas. Se asocia generalmente con una defunción de la producción de lípidos a nivel de la epidermis. Por lo que, no puede retener la humedad necesaria y deriva en un deterioro de la función de barrera (Benítez & Povedano, 2020).

c. Piel grasa: Se caracteriza por la hiperproducción de sebo, conocida como seborrea. Se observan poros dilatados, piel brillante fundamentalmente en la zona media del rostro e imperfecciones cutáneas como puntos negros y espinillas (Benítez & Povedano, 2020).

d. Piel mixta: Los tipos de piel varían entre la zona T (frente, mentón y nariz) y las mejillas. Se caracteriza por una zona T grasa con poros agrandados, mientras la piel de las mejillas varía entre normal y seca (Benítez & Povedano, 2020).

4. Estados de la piel:

a. Piel sensible: Es un síndrome definido por la aparición de sensaciones desagradables (ardor, dolor y hormigueo) en respuesta a estímulos que normalmente no deberías provocarlas. Estas sensaciones no pueden explicarse por lesiones atribuibles a ninguna enfermedad de la piel. La piel sensible puede afectar a todas las localizaciones del cuerpo, especialmente la cara (Misery, *et al*, 2017).

b. Piel deshidratada: Es un estado en el que se experimenta déficit de agua. Afecta a todos los tipos de pieles y puede ser transitorio. Aparecen sensaciones de incomodidad, pequeñas arrugas y asperezas, tez apagada o carente de luminosidad (Misery, *et al*, 2017).

5. Piel del contorno de ojos

La piel que conforma el contorno de los ojos es extremadamente delicada y hay que prestarle mucha atención a la hora de aplicar productos cosméticos, no sólo porque involucra a los ojos, sino también porque es mucho más fina que la del resto de la cara, ya que la dermis de esta zona posee el estrato granuloso y el estrato córneo más delgados. Aloja 22 músculos que están en constante actividad debido al pestañeo permanente y a los movimientos oculares, lo que contribuye a la pérdida de firmeza. Además, las glándulas sudoríparas y sebáceas están en cantidades reducidas, provocando que la piel sea más débil y se encuentre desprotegida. Es por eso que, la contaminación y la exposición al sol pueden afectarla de manera sistemática, resecando la piel y destruyendo las fibras de colágeno y elastina, lo que deriva en el envejecimiento y la aparición de arrugas (Benítez & Povedano, 2020).

D. Radicales libres y estrés oxidativo

Los radicales libres son sustancias que derivan de compuestos incompletamente oxidados que han sufrido una combustión parcial y que tienen, en su estructura, grupos de oxígeno capaces de iniciar, en la superficie de las membranas celulares o incluso dentro de las células, reacciones de oxidación agresivas. Los radicales libres provienen tanto de los procesos que tienen lugar en el organismo (catabolismo incompleto, producción de energía, desintoxicación hepática, etc.) como del entorno exterior (humo de los cigarrillos, aire contaminado, alimentos, medicamentos, agua de pozo/de grifo, etc.) (Benítez & Povedano, 2020).

Son átomos o moléculas pequeñas que poseen un electrón desapareado en el orbital más externo, que le otorga alta capacidad reactiva debido a que, al tratar de obtenerlo de otra molécula, desencadena una reacción

en cadena oxidando los compuestos moleculares de las células: dañan ácidos nucleicos, lípidos y proteínas, conduciendo al estrés oxidativo (Benítez & Povedano, 2020).

Las especies reactivas más frecuentes son el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el radical hidroxilo (OH^-), anión superóxido (O_2^-), el radical óxido nítrico ($\cdot NO$) y el ozono (O_3) (Benítez & Povedano, 2020).

En ácido nucleicos producen mutaciones y carcinogénesis, modificaciones oxidativas de las bases, fragmentaciones y reordenamientos cromosómicos; en lípidos alteran la permeabilidad de la membrana por peroxidación lípida, causando edema y muerte células; por último, en proteínas oxidan aminoácidos, provocan entrecruzamientos de cadenas peptídicas y formación de grupos carbonilo (Benítez & Povedano, 2020).

El estrés oxidativo es la alteración en el equilibrio entre la producción de especies reactivas al oxígeno y la capacidad de un sistema biológico de reparar el daño inducido por estas especies. El envejecimiento prematuro se produce a causa de este estrés oxidativo que induce deshidratación, pérdida de firmeza y elasticidad de la piel, lo que la vuelve susceptible a la aparición de arrugas como consecuencia de la disminución de la producción de colágeno, elastina y ácido hialurónico (Benítez & Povedano, 2020).

Los radicales libres del oxígeno se clasifican de la siguiente forma:

1. Radicales libres primarios:

Son formados por sistemas enzimáticos y desempeñan funciones biológicamente importantes (Benítez & Povedano, 2020).

2. Radicales libres secundarios:

Pueden originarse por la reacción de dos radicales primarios entre sí o por la transferencia de un electrón de un radical primario a un átomo de una molécula orgánica. Su vida media es más larga que la de los primarios. En las células y el plasma sanguíneo existe un complicado sistema de antioxidantes que impiden la producción de radicales secundarios. Los principales átomos de las biomoléculas son: carbono, nitrógeno, oxígeno y azufre (Benítez & Povedano, 2020).

Intermediarios estables relacionados con los radicales libres del oxígeno: si bien no son radicales libres, son especies generadoras de estos, o resultan de la reducción o metabolismo de los mismos. En este grupo se encuentran el oxígeno singlete, el peróxido de hidrógeno, ácido hipocloroso y el peroxinitrito (Benítez & Povedano, 2020).

E. Antioxidantes

La piel humana está dotada de una serie de enzimas antioxidantes que protegen a las células de los efectos dañinos de los radicales libres. Enzimas como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa y las enzimas de biosíntesis del glutatión (GSH) protegen los tejidos de los radicales libres. Además, las moléculas

antioxidantes, como las vitaminas A, C y E, ralentizan el proceso de envejecimiento, ya sea impidiendo que los radicales libres oxiden las moléculas biológicas sensibles o reduciendo la formación de radicales libres y apagando las especies reactivas de oxígeno ya formadas (Oresajo, *et al*, 2009).

Los niveles de estos antioxidantes, así como de las enzimas antioxidantes, se reducen con la edad y con diversos factores de estrés ambiental, como la exposición a los rayos UV. La reposición de estos antioxidantes ya sea por aplicación tópica o por ingestión dietética, puede proteger la piel del envejecimiento (Oresajo, *et al*, 2009).

El nivel de antioxidantes dietéticos o tópicos conseguidos en la piel varía con el antioxidante individual y también con la absorción y otros factores (Oresajo, *et al*, 2009).

La cafeína, el ácido cafeico, el ácido quínico, el ácido clorogénico y el ácido ferúlico, que se encuentran en los cereales, las frutas y las verduras, son potentes antioxidantes y protegen la piel de los daños inducidos por los rayos UV. El ácido ferúlico se utiliza como agente fotoprotector en combinación con otros antioxidantes como la vitamina C (Oresajo, *et al*, 2009).

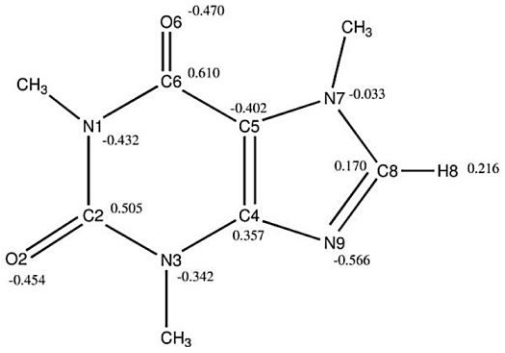
Un extracto botánico de cereza de café entera contiene una mezcla de estos potentes antioxidantes polifenólicos naturales de las plantas y también tiene efectos fotoprotectores (Oresajo, *et al*, 2009).

La fuente más abundante son los granos, las frutas y las semillas de café. Las fuentes comerciales se extraen de las semillas de café semillas y del proceso de fermentación (Oresajo, *et al*, 2009). Algunos ejemplos de antioxidantes son:

1. Cafeína:

La cafeína se utiliza cada vez más en los cosméticos debido a su elevada actividad biológica y a su capacidad de penetrar la barrera cutánea. Este alcaloide se utiliza con frecuencia como sustancia modelo hidrófila en la penetración de la piel humana y animal. La cafeína tiene potentes propiedades antioxidantes porque ayuda a proteger las células contra la radiación UV y ralentiza el proceso de fotoenvejecimiento de la piel. Además, la cafeína contenida en los cosméticos aumenta la microcirculación de la sangre en la piel (Herman y Herman, 2013).

Figura 5. Estructura covalente y numeración atómica de la cafeína (1,3,7-trimetilxantina).



En la Figura 5 también se indican las cargas parciales atómicas de todos los átomos, excepto la de los grupos metilo (Tavagnacco, *et al*, 2011).

2. Ácido Clorogénico:

Los Ácidos Clorogénicos donan átomos de hidrógeno para reducir los radicales libres e inhibir las reacciones de oxidación. Después de donar átomos de hidrógeno, los ácidos clorogénicos se oxidan a sus respectivos radicales fenoxilo y estos radicales fenoxilo se estabilizan rápidamente por estabilización de resonancia (Liang y Kitts, 2015).

Como reacción en cadena de los radicales libres, la autooxidación puede dividirse en tres procesos distintos iniciación, propagación y terminación

Cuadro 2. Mecanismo de acción de los antioxidantes

Iniciación	$RH \rightarrow R\cdot + H\cdot$	(1)
Propagación	$R\cdot + O_2 \rightarrow ROO\cdot$	(2)
	$ROO\cdot + RH \rightarrow ROOH + R\cdot$	(3)
Terminación	$ROO\cdot + ROO\cdot \rightarrow ROOR + O_2$	(4)
	$ROO\cdot + R\cdot \rightarrow ROOR$	Productos no radicales (5)
	$R\cdot + R\cdot \rightarrow R\cdot R$	(6)

Durante la etapa de iniciación se forma un radical alquilo ($R\cdot$) a partir de un ácido graso insaturado (RH) (Reacción 1). Una vez formado, un radical alquilo ($R\cdot$) reacciona muy rápidamente con el oxígeno de un radical peroxilo ($ROO\cdot$) (Reacción 2). El segundo paso de la propagación, la abstracción de un radical peroxilo ($ROO\cdot$) para generar hidroperóxido (ROOH), y otro radical ($R\cdot$), es el paso que determina la velocidad (Reacción 3). Los pasos de propagación pueden ser más complicados que la simple transferencia y adición (Juncan,2011).

Las reacciones terminan cuando los radicales reaccionan entre sí, formando productos más estables que no son capaces de propagar las reacciones en cadena (Reacciones 4- 6) (Juncan,2011).

3. Métodos de extracción de antioxidantes usados en cosméticos

La extracción se basa en la separación de componentes biológicamente activos, empleando un solvente y un proceso de extracción adecuado.

a. Equipo Soxhlet:

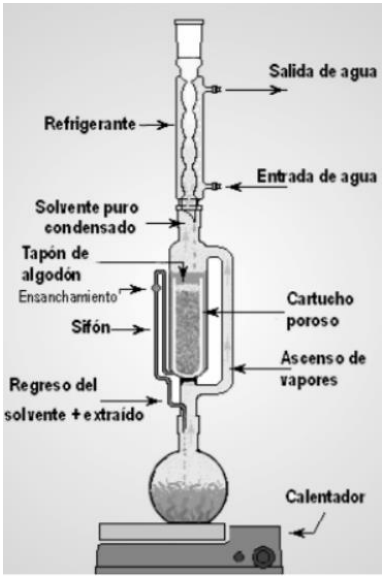
El proceso para extraer compuestos orgánicos de la borra del café se basa en la interacción de la muestra y un disolvente, que posteriormente se recupera y la verificación del rendimiento obtenido. El equipo Soxhlet tiene como función recircular los vapores condensados con ayuda de un sifón a la fuente de disolvente que se encuentra en evaporación continua, arrastrando los principios activos de la materia prima (Caldas, 2012).

Para llevar a cabo una extracción empleando equipo Soxhlet se debe:

- Introducir la sustancia sólida en un cartucho poroso que se coloca dentro del recipiente.
- Adosar un balón a dicho recipiente donde se coloca el volumen de solvente que se utilizará.
- Colocar un condensador en el extremo superior del recipiente (Caldas, 2012).

El solvente se calienta, los vapores ascienden por el tubo, se condensan en el refrigerante y caen dentro del recipiente impregnando al sólido que se encuentra en el cartucho. El recipiente se va llenando lentamente de líquido hasta que llega al tope del tubo y se descarga dentro del balón. Repetir hasta que la extracción se completa. El solvente de la extracción se evapora, recuperando así a la sustancia deseada (Caldas, 2012).

Figura 6. Partes del equipo de extracción sólido-líquido Soxhlet



(Valencia, 2018).

1) Ventajas y desventajas del método Soxhlet

Ventajas:

- Alta capacidad de recuperación e instrumentación simple
- No se requiere filtración posterior
- El disolvente y la muestra se encuentran en contacto continuo (Caldas, 2012).

Desventajas:

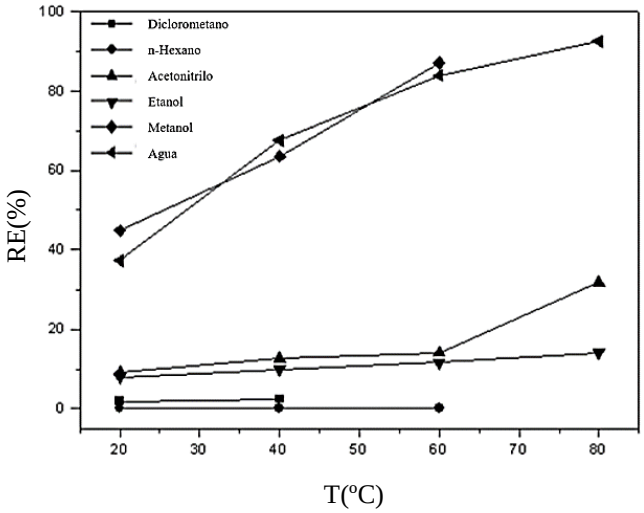
- Es un proceso lento e imposible de acelerar.
- Se requiere una cantidad considerable de disolvente
- No puede emplearse para analitos que se descompongan con el calor o reaccionen (Caldas, 2012).

b. Efecto de la temperatura en la extracción de cafeína

En el análisis de Bi, Zhou & Ho, se evaluaron diferentes temperaturas de extracción que iban de 20ºC a 80ºC, mientras que el tiempo de extracción se fijó en 60 minutos. Los resultados se muestran en la Fig. 6. La eficacia de extracción de cafeína (RE) aumentó con el incremento de la temperatura de 20ºC a 80ºC (Bi *et al*, 2010).

El calentamiento resultó ser un método eficiente para la extracción de cafeína (Bi *et al*, 2010).

Figura 7. Influencia de la temperatura (ºC) en la extracción de cafeína



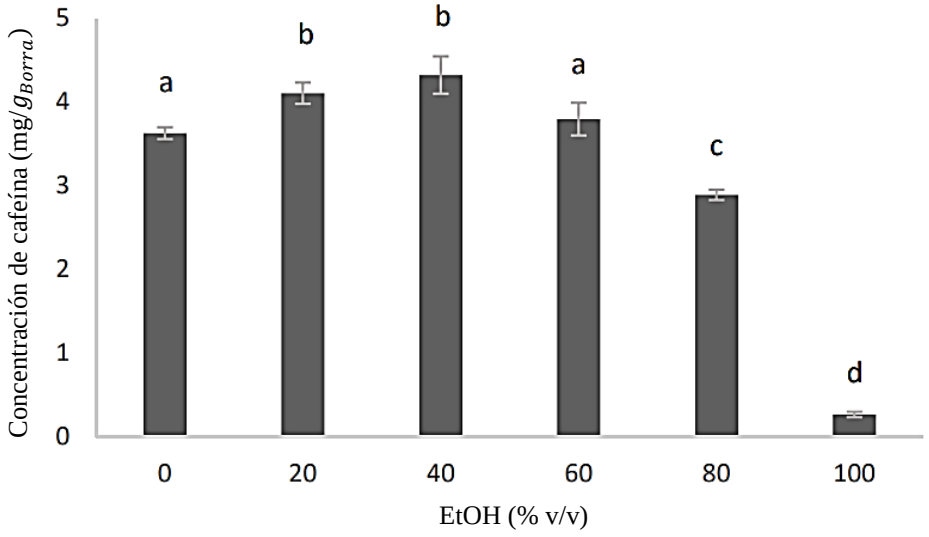
Elaboración propia basada en: (Bi *et al*, 2010).

c. Efecto de la naturaleza del solvente en la extracción de cafeína

Se ensayaron soluciones hidroalcohólicas, etanol puro, agua pura, diclorometano y acetato de etilo. La influencia del disolvente hidroalcohólico con diferentes relaciones EtOH/agua (0/100 a 100/0 v/v) se muestra en la Figura 7.

Se observaron condiciones óptimas con la solución hidroalcohólica al 40% de etanol (4,32 mg/g borra de café) en comparación con el 100% de agua (3,63 mg/g borra de café) o el 100% de etanol (0,26 mg/g borra de café) (Vandeponseele, *et al*, 2021).

Figura 8. Concentración de cafeína respecto a diferentes diluciones de etanol.



Elaboración propia basada en: (Vandeponseele, *et al*, 2021).

La cafeína extraída para el diclorometano (1,7 mg/g borra de café) y el acetato de etilo (0,5 mg/g borra de café) son peores que la solución hidroalcohólica optimizada (4,32 mg/g borra de café) (Vandeponseele, *et al*, 2021).

Por lo tanto, se recomienda encarecidamente un disolvente polar, como el disolvente a base de agua, para la extracción eficaz de la cafeína de las matrices de café en poco tiempo (Vandeponseele, *et al*, 2021).

Además, Bustamante et al. han destacado que la cafeína presenta varios grupos funcionales con diferentes capacidades de enlace de hidrógeno, lo que explica la afinidad por el disolvente de base acuosa (Bustamante, *et al*, 2002).

Por lo tanto, podemos plantear la hipótesis de que el etanol puede disminuir la polaridad del agua, manteniendo las fuertes interacciones de enlace de hidrógeno entre el agua y la cafeína (Vandeponseele, *et al*, 2021).

Por lo tanto, las extracciones podrían realizarse con un 20% de EtOH para minimizar la proporción de disolvente orgánico. En su caso, se realizaron los siguientes experimentos con disolvente hidroalcohólico con 40% de etanol (Vandeponseele, *et al,* 2021).

4. Métodos analíticos

Generalmente, el uso de antioxidantes en los cosméticos se hace como una mezcla de estos compuestos, y la combinación de antioxidantes aporta un aumento de su poder antioxidante (Juncan,2011).

De esta manera los procesos de determinación son difíciles, debido a las interferencias que pueden aparecer, y finalmente pueden aparecer errores, en cuanto a la expresión de los resultados finales (Juncan,2011).

Los métodos de análisis de antioxidantes son múltiples, y dependen la mayoría de las veces del equipo de laboratorio, y también de la sensibilidad que se pretenda obtener a través del análisis (Juncan,2011).

Los métodos de análisis de antioxidantes más importantes utilizados en cosmética son

- Métodos espectrofotométricos
- Métodos electroquímicos
- Métodos cromatográficos (Juncan,2011).

Los métodos de análisis cromatográficos más utilizados son:

- Cromatografía de gases
- Cromatografía en capa fina
- Cromatografía líquida de alto rendimiento (Juncan,2011).

a. Cromatografía HPLC

La cromatografía es una técnica analítica basada en la separación de moléculas debido a las diferencias en su estructura y/o composición (Kupiec, 2004).

En general, la cromatografía consiste en mover una muestra a través del sistema sobre una fase estacionaria. Las moléculas de la muestra tendrán diferentes afinidades e interacciones con el soporte estacionario, lo que conduce a la separación de las moléculas. Los componentes de la muestra que presentan interacciones más fuertes con la fase estacionaria se moverán más lentamente a través de la columna que los componentes con interacciones más débiles. Se pueden separar diferentes compuestos a medida que se mueven a través de la columna (Kupiec, 2004).

La cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) es un tipo de cromatografía líquida que se utiliza para separar y cuantificar compuestos que se han disuelto en una solución (Kupiec, 2004).

La HPLC se utiliza para determinar la cantidad de un compuesto específico en una solución. En la HPLC y la cromatografía líquida, donde la solución de la muestra está en contacto con una segunda fase sólida o líquida, los diferentes solutos de la solución de la muestra interactuarán con la fase estacionaria como se ha descrito. Las diferencias de interacción con la columna pueden ayudar a separar los diferentes componentes de la muestra entre sí (Kupiec, 2004).

1) Instrumentación de HPLC

La instrumentación de HPLC incluye una bomba, un inyector, una columna, un detector y un integrador o sistema de adquisición y visualización (Kupiec, 2004).

El corazón del sistema es la columna donde se produce la separación. Dado que la fase estacionaria puede estar compuesta por partículas porosas de tamaño micrométrico, se requiere una bomba de alta presión para mover la fase móvil a través de la columna (Kupiec, 2004).

El proceso cromatográfico comienza con la inyección del soluto en el inyector situado en el extremo de la columna. La separación de los componentes se produce a medida que los analitos y la fase móvil se bombean a través de la columna (Kupiec, 2004).

Finalmente, cada componente sale de la columna como un pico en la pantalla de datos. La detección de los componentes que salen es importante, y el método utilizado para la detección depende del detector utilizado (Kupiec, 2004).

La respuesta del detector a cada componente se muestra en un registrador gráfico o en la pantalla del ordenador y se conoce como cromatograma. Para recoger, almacenar y analizar los datos cromatográficos, se suelen utilizar integradores y otros equipos de procesamiento de datos (Kupiec, 2004).

2) Fase móvil y depósito

El tipo y la composición de la fase móvil afectan a la separación de los componentes.

Se utilizan diferentes disolventes para los distintos tipos de HPLC. Para la HPLC de fase normal, el disolvente suele ser no polar y, en la HPLC de fase inversa, el disolvente suele ser una mezcla de agua y un disolvente orgánico polar (Kupiec, 2004).

La pureza de los disolventes y de las sales inorgánicas utilizadas en la fase móvil es primordial. Una regla general es utilizar el disolvente de mayor pureza disponible y práctico en función de la aplicación concreta.

Los depósitos de disolvente más comunes son tan simples como botellas de vidrio con tubos que los conectan a la entrada de la bomba (Kupiec, 2004).

3) Bomba

Se necesitan bombas de alta presión para empujar la fase móvil a través de la fase estacionaria empaquetada. Para garantizar la reproducibilidad y la precisión se necesita una presión de bombeo constante (normalmente de unos 1000-2000 psi). Las bombas suelen ser robustas, pero hay que realizar un mantenimiento adecuado para mantener esa característica. La incapacidad de generar presión, las presiones elevadas o las fugas podrían indicar que la bomba no está funcionando correctamente. Un mantenimiento adecuado del sistema de bombeo minimizará el tiempo de inactividad (Kupiec, 2004).

4) Inyectores

El inyector puede ser un sistema de inyección simple o un sistema de inyección automatizado. Un inyector para un sistema HPLC debe proporcionar la inyección de la muestra líquida dentro del rango de 0,1-100 mL de volumen con alta reproducibilidad y bajo alta presión (hasta 4000 psi). En el caso de la cromatografía líquida, las muestras líquidas pueden inyectarse directamente y las muestras sólidas sólo deben diluirse en el disolvente adecuado (Kupiec, 2004).

5) Detectores

Hay muchos tipos diferentes de detectores que pueden utilizarse para la HPLC. El detector se utiliza para detectar la presencia de un compuesto que pasa a través de él y para proporcionar una señal electrónica a un dispositivo de adquisición de datos. Los principales tipos de detectores utilizados en la HPLC son el índice de refracción (RI), el ultravioleta (UV-Vis) y la fluorescencia, pero también hay detectores de matriz de diodos, electroquímicos y de conductividad. Cada detector tiene sus propios conjuntos, limitaciones y tipos de muestra para los que es más eficaz. La mayoría de las aplicaciones en el análisis de fármacos utilizan detectores que responden a la absorción de la radiación ultravioleta (o de la luz visible) por parte del soluto al pasar por la célula de flujo dentro del detector. El reciente desarrollo de las denominadas técnicas hibridadas ha mejorado la capacidad de separar e identificar múltiples entidades dentro de una mezcla. Estas técnicas incluyen la cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS), la cromatografía líquida-espectrometría de masas-espectrometría de masas (LC-MS- MS), la cromatografía líquida-espectroscopia infrarroja (LC-IR) y la cromatografía líquida-resonancia magnética nuclear (LC-NMR). Estas técnicas suelen implicar la separación cromatográfica seguida de la identificación de los picos con un detector tradicional como el UV, combinada con la identificación posterior del compuesto con la EM, el IR o la RMN (Kupiec, 2004).

6) Sistemas de adquisición y visualización de datos

Dado que la señal del detector es electrónica, el uso de técnicas modernas de adquisición de datos puede ayudar al análisis de la señal. El sistema de adquisición de datos de la mayoría de los sistemas HPLC es un ordenador (Kupiec, 2004).

El ordenador integra la respuesta del detector a cada componente y la coloca en un cromatógrafo que es fácil de leer e interpretar (Kupiec, 2004).

También se pueden aplicar otras características más avanzadas a un sistema cromatográfico. Entre estas características se encuentran los inyectores automáticos controlados por ordenador, los controladores de gradientes de varias bombas y los colectores de fracciones de muestra (Kupiec, 2004).

7) Columnas

La columna o fase estacionaria es el núcleo de cualquier sistema cromatográfico. Las columnas están disponibles en el mercado en diferentes longitudes, tamaños de orificio y materiales de relleno. El uso de la combinación correcta de longitud y material de relleno en correlación con la fase móvil adecuada puede ayudar a la separación más eficaz de un compuesto de la muestra. Existe una gran variedad de dimensiones de columnas, entre las que se incluyen las preparatorias, las de calibre normal, las de calibre pequeño y pequeño y las capilares. Las diferentes dimensiones de columna pueden utilizarse para diferentes tipos de separaciones y pueden utilizar diferentes materiales de relleno y velocidades de flujo. Los materiales de relleno más utilizados para las separaciones por HPLC son los basados en sílice (Kupiec, 2004).

Es esencial lavar una columna con una fase móvil de alta fuerza de elución después de las corridas de muestras. Cuando una columna no está en uso, se tapa para evitar que se seque. Las muestras con partículas deben ser filtradas y, siempre que sea posible, debe utilizarse una columna de protección. La regeneración de la columna puede dar algo de vida a la columna, pero el mantenimiento preventivo es la clave para evitar la desecación prematura (Kupiec, 2004).

8) Métodos de calibración

En el análisis cuantitativo se pueden utilizar tres métodos de calibración diferentes, cada uno con sus propios beneficios y limitaciones: estándar externo (std.), estándar interno y el método de adición de estándar (Kupiec, 2004).

a) Estándar externo

La precisión de este método depende de la reproducibilidad del volumen de inyección. Para llevar a cabo este método, se preparan soluciones estándar de concentraciones conocidas del compuesto de interés con un estándar que es similar en concentración a la incógnita. Se inyecta una cantidad fija de muestra. A continuación, se traza la altura o el área del pico frente a la concentración de cada compuesto. El gráfico debe ser lineal y pasar por el origen (Kupiec, 2004).

b) Estándar interno

Aunque cada método es eficaz, el método del patrón interno tiende a producir los resultados más exactos y precisos. En este método, se añade una cantidad igual de un estándar interno, un componente que no está presente en la muestra, tanto a la muestra como a las soluciones estándar. El estándar interno seleccionado debe ser químicamente similar, tener un tiempo de retención similar y derivar de forma similar al analito. Además, es importante asegurarse de que el estándar interno sea estable y no interfiera con ninguno de los componentes de la muestra. El estándar interno debe añadirse antes de cualquier preparación de la muestra para poder evaluar la eficacia de la extracción. La cuantificación se consigue mediante el uso de proporciones de la altura o el área del pico del componente con respecto al estándar interno (Kupiec, 2004).

F. Cosméticos

La FDA (Food and Drug Administration), un producto cosmético es una sustancia destinada a ser aplicada a diversas partes superficiales del cuerpo (epidermis, sistema capilar y piloso, uñas, labios y órganos genitales externos) o con los dientes y las mucosas de la cavidad bucal, con el fin exclusivo o propósito principal de limpiarlos, perfumarlos, promover el atractivo o alterar la apariencia (Food and Drug Administration, 2021). De igual manera, el Reglamento Técnico Centroamericano define como cosmético a toda sustancia o preparado destinado a ser puesto en contacto con las diversas partes superficiales del cuerpo humado (epidermis, sistemas piloso y capilas, uñas, labios y órganos genitales externos) o con los dientes y las mucosas bucales, con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto y corregir los olores corporales y/o protegerlos o mantenerlos en buen estado (Reglamento Técnico Centroamericano, 2021).

1. Clasificación de los productos cosméticos

Para efectos de control sanitario y de trámite de registro, los cosméticos se clasifican como se muestra en el siguiente cuadro. No se consideran cosméticos los productos con actividad terapéutica ya que estos se catalogan como medicamentos (Forero, 1998).

Cuadro 3. Clasificación de los productos cosméticos.

Clasificación	Productos
Cosméticos para niños	Talcos, aceites, jabones
Cosméticos para el área de los ojos	Cremas, delineadores, lápices
Cosméticos para la piel	Cremas, limpiadoras, polvos faciales
Cosméticos para los labios	Labiales, brillos, lápices
Cosméticos para el aseo e higiene corporal	Jabones, geles, baños espumosos
Desodorantes y antitranspirantes	Cremas, talcos, lociones
Cosméticos capilares	Acondicionadores, champús.

Cosméticos para las uñas	Esmaltes, cremas, removedores de cutícula.
Cosméticos de perfumería	Colonia, loción
Productos para la higiene bucal y dental	Cremas dentales, aromatizantes bucales
Productos para el bronceado, protección solar y autobronceadores	Cremas, productos antisolares
Depilatorios	Ceras, productos depilatorios
Productos para el blanqueo de la piel	Mascarillas faciales, productos exfoliantes

(Forero, 1998).

2. Reglamento Centroamericano para la Verificación de la Calidad de Productos Cosméticos.

a. Límites microbianos

Deben efectuarse a todos los cosméticos, excepto a los que no sean susceptibles a la contaminación microbiológica por la propia naturaleza del cosmético (ej. Perfumes con alto contenido de alcohol, productos con más de 10% de clorhidrato de aluminio, productos oleosos, productos con base de cera, productos que contiene peróxidos) (Reglamento Técnico Centroamericano, 2008).

Cuadro 4. Especificación de límites microbianos expresados en UFC/g o UFC/ cm3

Producto	Determinación	Especificación
Para bebé	Recuento Total de mesófilos aerobios	$\leq 10^2$
	Recuento total de Mohos y Levaduras	$\leq 10^2$
Para el contorno de ojos	Recuento total de Mesófilos aerobios	No más de $5x10^2$
	Recuento total de Mohos y Levaduras	$\leq 10^2$
Todos los otros	Recuento total de Mesófilos aerobios	$\leq 10^3$
	Recuento total de Mohos y Levaduras	$\leq 10^2$

(Reglamento Técnico Centroamericano, 2021).

Figura 9. Cantidad de muestras requeridas para la verificación de la calidad

N°	Cantidad Grupo			
		Muestra	Contramuestra	Total
1	Jabones	4	4	8
2	Productos para baño de inmersión (sales, espumas, etc.)	4	4	8
3	Productos para el cabello y el cuero cabelludo	4	4	8
4	Productos desodorantes y antitranspirantes	4	4	8
5	Productos para la higiene dental y bucal	4	4	8
6	Productos para después del afeitado	4	4	8
7	Productos depilatorios	4	4	8
8	Cremas, emulsiones, lociones, geles y aceites perfumadas o no	4	4	8
9	Mascarillas corporales o faciales	4	4	8
10	Productos para maquillar y desmaquillar	4	4	8
11	Productos para uñas y cutícula	4	4	8
12	Productos para el área de los ojos	5	5	10
13	Productos bloqueadores y bronceadores	4	4	8
14	Perfumes, aguas de tocador, aguas de colonia	4	4	8

(Reglamento Técnico Centroamericano, 2021).

3. Riesgo cosmético

El riesgo cosmético debe ser evaluado según:

a. Condiciones de uso:

- Aplicación regular y prolongada, por ejemplo, los productos para cuidados personales (desodorantes, acondicionadores, cremas de tratamiento, etc) (Agencia Nacional de regulación, control y vigilancia sanitaria, 2016).
- Aplicación ocasional, generalmente de productos con una función específica, como exfoliantes (Agencia Nacional de regulación, control y vigilancia sanitaria, 2016).
- Aplicación regular, durante un período de tiempo limitado, como los productos que se enjuagan (Agencia Nacional de regulación, control y vigilancia sanitaria, 2016).

b. Área de contacto:

- Áreas específicas y limitadas de la piel como perfumes y esmaltes.
- Aplicación extensa sobre la piel, como productos para el cuidado del rostro y cuerpo.
- Aplicación sobre mucosas como lápiz de labios, dentífricos, jabones.
- Área de los ojos como sombras, delineadores y cremas.
- Aplicación en el cabello, con o sin enjuague (Agencia Nacional de regulación, control y vigilancia sanitaria, 2016).

c. Tipos de reacciones que pueden ser observadas:

1) Irritación:

Se llevan a cabo reacciones que se restringen al área que está en contacto directo con el producto como ardor, picazón e irritación, pudiendo llegar hasta a la corrosión y destrucción del tejido (Agencia Nacional de regulación, control y vigilancia sanitaria, 2016).

2) Sensibilización:

Corresponde a una alergia, que es una reacción de efecto inmediato (de contacto o urticaria) o tardío (hipersensibilidad). Abarca mecanismos inmunológicos y puede aparecer en otras áreas además del área donde fue aplicado. Por lo tanto, es importante insistir en que en el campo de la inmunología no solo se debe verificar si un producto puede desencadenar una respuesta alérgica en personas previamente sensibilizadas, sino también verificar si el propio producto es o no capaz de inducirle una reacción alérgica al consumidor (Agencia Nacional de regulación, control y vigilancia sanitaria, 2016).

3) Efecto sistémico:

Resultante del pasaje de cualesquiera ingredientes del producto a la circulación general, directamente por vía oral, inhalatoria, transcutánea o transmucosa, metabolizados o no. Puede aparecer la necesidad de evaluar el riesgo de los ingredientes que constituyen la fórmula (Agencia Nacional de regulación, control y vigilancia sanitaria, 2016).

4. Sérums

Los sérums son formulaciones a base de aceite o agua con altas concentraciones de principio activo. Debido a que su formulación no es necesariamente una emulsión, no quiere emulsionantes, los cuales dañan los principios activos de la fórmula. Generalmente, este tipo de preparado tiene pocos ingredientes correctamente seleccionados para optimizar la disponibilidad del ingrediente activo, el cual puede ser una vitamina, un factor de crecimiento, un extracto botánico, entre otros. Este tipo de formulación proporciona rápida absorción y gran penetración. Debido a su alta concentración de principio activo, suele indicarse en el tratamiento de pieles más dañadas. Además, al no tener acabado oleoso no deja la piel grasa, por lo que puede utilizarse sólo o ser el paso previo a la aplicación de una crema o emulsión (Benítez & Povedano, 2020).

Cuadro 5. Elección de la forma farmacéutica según tipo de piel y beneficio obtenido

Forma farmacéutica	Tipo de piel	Beneficio
Crema	Pieles maduras y secas	Hidratación profunda
Emulsión	Pieles jóvenes	Hidratación y rápida absorción
Gel	Pieles grasas	Efecto criógeno y desinflamante
Sérum	Pieles altamente dañadas	Buena penetrabilidad y altas concentraciones de activos

(Benítez & Povedano, 2020).

a. Características del PH de Sérum

El pH representa la concentración de iones de hidrógenos libres (H+) en una solución. Concretamente, el pH se define como el logaritmo negativo (base diez) de la concentración de H+. Se utiliza como medida de la relación acidez-alcalinidad con una escala que va de 0 a 14, siendo 0 el valor más ácido y 14 el más básico (Lukic, Pantelic y Savic, 2021).

Se ha reconocido que el pH ácido de la superficie de la piel es un factor que regula el mantenimiento de la homeostasis del estrato córneo y la permeabilidad de la barrera (Lukic, Pantelic y Savic, 2021).

Las funciones más importantes del pH ácido parecen estar relacionadas con el proceso de diferenciación de los queratinocitos, la formación y la función de los lípidos epidérmicos y la envoltura lipídica de los corneocitos, el mantenimiento del microbioma de la piel y, en consecuencia, las alteraciones y enfermedades cutáneas. Como factores extrínsecos reconocidos que afectan al pH de la piel, los productos de aplicación tópica podrían contribuir al mantenimiento de la salud cutánea mediante el control del valor del pH de la piel (Lukic, Pantelic y Savic, 2021).

Los conocimientos obtenidos sobre el pH de la piel podrían utilizarse en la formulación de productos tópicos más eficaces, lo que contribuiría al desarrollo de los denominados productos "para el mantenimiento de la salud de la piel". Existe un alto nivel de acuerdo en que los productos tópicos faciales deben estar acidificados y poseer un pH en el rango de 4 a 6 (Lukic, Pantelic y Savic, 2021).

b. Materia Prima para sérum faciales

1) Colágeno

Es una proteína fibrosa de alto peso molecular, formada por un alto porcentaje de glicina, prolina e hidroxiprolina, en estructura de triple hélice, que se separan al desnaturalizarse. En cosmética se utiliza tanto el colágeno nativo como el hidrolizado. Las alteraciones en las fibras de colágeno favorecen la aparición de las arrugas. Al aplicar colágeno sobre la piel, se induce a la formación de nuevas fibras de colágeno por estimulación de los fibroblastos (Azcona, 2004). Se investigó que el colágeno tiene la mayor concentración máxima de uso reportada, se utiliza hasta en un 96% en productos para el cuidado de la piel de la cara y el cuello (Chairman, *et al*, 2017).

2) Ácido hialurónico

El ácido hialurónico es un glucosaminoglicano, componente de la matriz extracelular de la piel. Su estructura se compone de unidades repetidas de ácido D-glucurónico y D-N-acetil-glicosaminoglicano (Juncan, 2011).

Sus funciones en el organismo incluyen facilitar el transporte extracelular de iones y nutrientes, participar en el control de la hidratación de los tejidos de la piel y la lubricación por medio del tejido sinovial de las articulaciones. Se produce de manera endógena en la membrana celular de los fibroblastos a través de enzimas especializadas y se degrada por la acción de radicales libres y de enzimas hialuronidasas por hidrólisis (Juncan, 2011).

Esta síntesis de ácido hialurónico con el tiempo va disminuyendo mientras su degradación aumenta, lo que trae consecuencias visibles en nuestra piel como la pérdida de volumen y aparición de arrugas. Por esta razón, actualmente se incluye más en distintas formulaciones para tratar el envejecimiento, porque además de ser eficaz contra las arrugas y líneas de expresión faciales, ha demostrado seguridad e inocuidad (Juncan, 2011).

El ácido hialurónico funciona en los cosméticos como agentes acondicionadores de la piel en concentraciones de hasta el 2% (Becker, *et al*, 2009).

3) Conservante

La etilhexilglicerina de Kumar Organic Product está aprobada a nivel mundial, es vegana y no contiene gluten. La etilhexilglicerina no es pegajosa y se absorbe rápidamente en la piel, por lo que brinda una sensación de limpieza en la piel. Además, potencia a la eficacia antimicrobiana de otros conservantes comúnmente utilizados y permite al formulador utilizar menores concentraciones del conservante cosmético. Inhibe el crecimiento y la multiplicación de las bacterias causantes del mal olor (Stone, 2022).

Su uso máximo permitido dentro de la formulación es de hasta 1% (Stone, 2022).

d. Aceites esenciales

1) Aceite de jojoba

Este aceite se extrae de las semillas de la jojoba (Simmondsia chinensis y Simmondsia californica, fam. Buxáceas), una planta originaria de los desiertos de Sonora y el Mojave, que crece principalmente en climas desérticos, Argentina, Sur de California, Norte Mejico, Arizona, e Israel. El contenido en aceite de la semilla fresca es de aproximadamente un 55 %. A diferencia de otros aceites de orígen vegetal y animal, no está compuesto de triglicéridos, sinó de ésteres de ácidos grasos con alcoholes grasos, por lo que se conoce como cera líquida. Está compuesto casi en su totalidad por ácidos grasos de cadena larga monoinsaturados (gadoleico y erúcico). Tiene una alta penetrabilidad en la piel. Es muy estable a la oxidación por la presencia de tocoferoles naturales en forma de vitamina E. Tiene la capacidad de disolver el sebum, especie de cera que se acumula en los folículos pilosos y que es el principal responsable de las pieles grasas. Tiene aplicación en productos cosméticos y cosmiátricos como emoliente y sobreengrasante (especialmente para piel seca y sensible y atópica, en productos para el cuidado de la piel como cremas, lociones, maquillajes, aceites corporales, etc…) y como agente acondicionador para el cabello seco (en preparados capilares, como lociones, champús, etc…) (Acofarma, 2022).

La dosificación del aceite de jojoba virgen puede llegar hasta un 20% en la formulación del cosmético (Acofarma, 2022).

2) Aceite de Rosa de Mosqueta

El aceite de rosa mosqueta proviene de las semillas de la especie *Rosa aff. rubiginosa L.*, originaria de Europa Central, aunque actualmente está expandida por América, Asia y norte de África (Benítez & Povedano, 2020).

En cuanto a su composición química, posee un alto porcentaje de ácidos grasos esenciales poliinsaturados, entre los que se destacan el ácido cis-linoléico y alfalinoléico. También posee flavonoides, vitamina C, taninos, betacaroteno y ácido transretinoico (Benítez & Povedano, 2020).

En cosmética, se utiliza debido a su efecto sobre pieles fotoenvejecidas, ya que disminuye arrugas superficiales y decolora manchas en aquellas pieles que han sufrido gran exposición a las radiaciones solares. Los ácidos grasos que la componen favorecen la hidratación, y particularmente, sus ácidos insaturados participan en la síntesis de las prostagladinas, generación de membrana y procesos relacionados a la regeneración celular, estimulando la epitelización (Benítez & Povedano, 2020).

Además de actuar sobre las capas externas de la piel, el aceite de rosa mosqueta ejerce acción revitalizante sobre los fibroblastos y las células productoras de colágeno, elastina y ácido hialurónico, para otorgarle firmeza y elasticidad a la piel. Presenta una textura ligera no grasa, por lo que la piel logra absorberlo fácilmente (Benítez & Povedano, 2020).

Se recomienda la adición de 0.5% al 5% del aceite, sin embargo, en concentraciones mayores no presenta efectos negativos (DPS, 2022).

e. Extractos naturales

1) Extracto de borra de café

La industria del café ha experimentado un crecimiento constante y, como consecuencia, se generan grandes cantidades de residuos en todo el mundo (Sousa, *et al*, 2015).

Uno de los principales residuos del café es la borra, que es el residuo sólido obtenidos tras la preparación de las bebidas de café (Sousa, *et al*, 2015).

Son comunes las referencias a su uso como abono orgánico en cultivos domésticos, especialmente en jardines (Sousa, *et al*, 2015).

Se han hecho diferentes intentos de valorizar este flujo de residuos de la industria del café. El café es conocido como una valiosa fuente de fitoquímicos biológicamente activos, como los compuestos fenólicos y la cafeína (Sousa, *et al*, 2015).

Además, la borra de café reveló ser una buena fuente de compuestos antioxidantes, mostrando una correlación directa con la actividad antioxidante (Sousa, *et al*, 2015).

El contenido de cafeína cuantificado en nuestras muestras puede ser utilizado en aplicaciones farmacéuticas, dependiendo del lugar de acción, la dosis y el momento de la exposición al fármaco (Sousa, *et al*, 2015).Además, la borra de café presentó una actividad inibitoria contra S. aureus y E. coli (Sousa, *et al*, 2015).

Estos hallazgos abren la posibilidad de evaluar los productos químicos de borra de café como compuestos bioactivos en diferentes aplicaciones alimentarias y farmacéuticas (Sousa, *et al*, 2015).

G. Operaciones Unitarias

El concepto de operación unitaria es el siguiente: mediante el estudio sistemático de estas operaciones en sí mismos —operaciones que evidentemente constituyen la trama de la industria y las líneas de producción— se unifica y simplifica el tratamiento de todos los procesos (McCabe, Smith y Harriott, 2007).

Cuando se habla de operaciones básicas, estas se refieren a aquellas operaciones basadas en procesos físicos y químicos, que se llevan a cabo en las distintas industrias. Dichas operaciones se centran en el movimiento de materia o flujo, sin que se produzca ningún tipo de reacción química, en un estado llamado estacionario, es decir, donde las propiedades se mantienen constantes en el tiempo (Machuca y Hervás, 2014).

Por ellos, se definen las operaciones unitarias como aquellos conjuntos de procesos, de carácter físico como químico, aplicados a una determinada cantidad de materia determinada (Machuca y Hervás, 2014).

1. Secado

El secado se describe como un proceso de eliminación de substancias volátiles para producir un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido, es decir; en la microestructura de este (Pérez, 2013). Cuando un sólido húmedo es sometido a secado, dos procesos ocurren simultáneamente:

- Transferencia de energía (en forma de calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie. La transferencia de energía, en forma de calor, de los alrededores hacia el sólido húmedo puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación y en algunos casos se puede presentar una combinación de estos efectos (Pérez, 2013).

- Transferencia de humedad interna hacia la superficie del sólido. El movimiento de humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física dentro del sólido, la temperatura y su contenido de humedad. En una operación de secado cualquiera de estos procesos puede ser el factor que determine la velocidad de secado. A partir de la transferencia de calor hacia un sólido húmedo, un gradiente de temperatura se desarrolla

dentro del sólido mientras la evaporación de la humedad ocurre en la superficie. La evaporación produce una migración de humedad desde adentro del sólido hacia la superficie (Pérez, 2013).

Vaporización El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el aire. En este caso la presión del vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica (Pérez, 2013).

a. Secadores de bandeja o armario

Está formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar(Fito, *et al*, 2016).

Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor haciéndole pasar previamente por el calentador constituido por un haz de tubos por cuyo interior circula normalmente vapor de agua. Los tabiques distribuyen uniformemente el aire sobre las pilas de bandejas (Fito, *et al*, 2016).

Por medio del conducto de salida se evacua continuamente aire húmedo y a través de la abertura de entrada penetra aire fresco. Al final del ciclo de secado, normalmente largo, se saca de la cámara al conjunto de los bastidores para proceder a la descarga del producto seco y a una nueva carga (Fito, *et al,* 2016).

Cuando las características del material y su manejo lo permiten, se utilizan bandejas perforadas en las que el aire circula a través de la capa de sólidos, con lo que se consigue aumentar la superficie de sólido expuesta a la acción del aire y disminuyendo consiguientemente la duración del ciclo de secado (Fito, *et al,* 2016).

El secado de este equipo puede ser:

- De flujo horizontal, si el aire circula paralelamente al lecho a secar.
- De flujo transversal, si el aire circula perpendicularmente al lecho a secar.

Los secadores de bandejas son útiles para secar pequeñas cargas de productos valiosos. En general se aplican cuando la capacidad necesaria no excede de 25 a 50 kg/h de producto seco (Fito, *et al*, 2016).

2. Molienda

El objetivo de la molienda es producir pequeñas partículas a partir de otras más grandes. Las partículas más pequeñas son deseadas por su gran superficie o bien por su forma, tamaño o número. Los molinos están diseñados para controlar el tamaño de las partículas más grandes en sus productos, pero en cambio las más finas no están bajo control. En algunos tipos de molinos, los finos se reducen a un mínimo, pero no se eliminan totalmente. Si la alimentación es homogénea, tanto por lo que se refiere a las formas de las partículas como a sus estructuras físicas y químicas, entonces las formas de las unidades individuales en el producto pueden ser casi uniformes; por otro lado, los granos en los diversos tamaños de un solo producto pueden diferir considerablemente en la forma (Coulson y Richardson, 2019).

El término *molino* se utiliza para describir una gran variedad de máquinas de reducción de tamaño para servicio intermedio. Los molinos comerciales son molinos de martillos e impactores, máquinas de rodadura-compresión, molinos de frotación y molinos de volteo forma (Coulson y Richardson, 2019).

a. Molino de martillos

Todos estos molinos contienen un rotor que gira a gran velocidad en el interior de una coraza cilíndrica. Por lo general el eje es horizontal. La alimentación entra por la parte superior de la coraza, se trocea y cae a través de una abertura situada en el fondo. En un molino de martillos, las partículas se rompen por una serie de martillos giratorios acoplados a un disco rotor. Una partícula de alimentación que entra en la zona de molienda no puede salir sin ser golpeada por los martillos. Se rompe en pedazos, que se proyectan contra la placa yunque estacionaria situada dentro de la coraza, rompiéndose todavía en fragmentos más pequeños. Estos a su vez son pulverizados por los martillos y son impulsados a través de una rejilla o un tamiz que cubre la abertura de descarga (Coulson y Richardson, 2019).

Los martillos pueden ser barras rectas de metal con los extremos planos o alargados, o bien afilados para formar un borde cortante. Los molinos de martillo con reducción de tamaño intermedio forman un producto con un tamaño de partículas de 25 mm (1 in.) a 20 mallas. En los molinos de martillo para una molienda fina, la velocidad periférica de los extremos de los martillos alcanza 110 m/s (360 ft/s); estas máquinas reducen de 0.1 a 15 toneladas/ha tamaños más finos que 200 mallas. Los molinos de martillo pulverizan casi cualquier producto: sólidos fibrosos duros como corteza de un árbol o piel, virutas de acero, pastas húmedas blandas, arcilla viscosa y roca dura. Para obtener una reducción de finos, están limitados a los materiales más blandos. A continuación, se muestran las características de diferentes molinos (Coulson y Richardson, 2019).

Cuadro 6. Características de operación de distintos equipos para reducción de tamaño

Equipo	Tamaño de la alimentación (mm)	Tamaño del producto (mm)	Relación de reducción	Capacidad (tons/h)	Consumo energético (kW)
Trituradoras giratorias	200-2000	25-250	8	100-500	100-700
Trituradoras de mandíbulas	100-1000	25-100	8	10-1000	5-200
Trituradoras de conos	50-300	5-50	8	10-1000	20-250
Trituradoras de impacto	50-300	1-10	40	10-1000	100-2000
Molinos de barras	5-20	0.5-2	10	20-500	100-4000
Molinos de bolas	1-10	0.01-0.1	100	10-300	50-5000
Molinos de martillos	5-30	0.01-0.1	400	0.1-5	1-100
Molinos de chorro	1-10	0.003-0.05	300	0.1-2	2-100

(Walas, 1990).

3. Evaporación

El objetivo de la evaporación es concentrar una solución consiste en un soluto no volátil y un solvente volátil. Esto se realiza vaporizando una parte del solvente para producir una solución concentrada de licor espeso. La evaporación se diferencia del secado ya que el residuo es un líquido- a veces altamente viscoso- en lugar de un sólido; difiere de la destilación en que el vapor está compuesto generalmente de un solo componente y, aunque el vapor fuera una mezcla, en la evaporación no se intenta separar el vapor en fracciones; difiere de la cristalización en que su interés reside en concentrar una solución y no en formar cristales (McCabe, Smith y Harriott, 2007).

La mayoría de los evaporadores se calientan con vapor de agua que condensa sobre tubos metálicos. Generalmente el vapor es de baja presión, inferior a 3 atm absolutas, y con frecuencia el líquido que hierve se encuentra a un vacío moderado, con presión tan baja hasta de 0.05 atm absolutas. Al reducir la temperatura de ebullición del líquido, aumenta la diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido en ebullición y, por lo tanto, aumenta la velocidad de transferencia de calor en el evaporado (McCabe, Smith y Harriott, 2007).

Cuando se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente del líquido en ebullición se condensa y desecha. Este método recibe el nombre de evaporación de simple efecto (McCabe, Smith y Harriott, 2007).

4. Mezclado

Primero, hay que tener en cuenta que agitación y mezcla no son sinónimos. La agitación se refiere al movimiento inducido de un material en una manera específica, normalmente en un patrón circulatorio dentro de algún tipo de contenedor. La mezcla es una distribución aleatoria, dentro y a través una de otra, de dos o más fases inicialmente separadas (McCabe, Smith y Harriott, 2007).

El término *mezcla* se aplica a una variedad de operaciones, que difieren ampliamente en el grado de homogeneidad del material "mezclado" (McCabe, Smith y Harriott, 2007)

H. Estadística

1. Desviación estándar

Es una medida de centralización o dispersión para variables de razón y de intervalo. Informa de la media de las distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable (Universidad nacional del Callao, 2020).

$$s = \sqrt{\frac{(x_i - \overline{x_1})^2 + \cdots}{n-1}}$$

En donde,
$\bar{x}_1$ = media de un grupo de datos
n = número de datos totales
x_i = dato teórico

2. Media

La media o valor promedio es quizá la medida de posición más importante para una variable, pues proporciona una medida de la ubicación central de los datos (Anderson *et al*, 2015).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots}{n}$$

En donde,
X_n = dato calculado
N = número de datos

3. Propagación de error de sumas y restas

$$R = A + B - C$$
$$\delta R = \sqrt{(\delta A)^2 + (\delta B)^2 + (\delta C)^2}$$

En donde:

A, B y C: Son los valores que se suman o se restan

$\delta A, \delta B, \delta C =$ Son las propagaciones de error de los valores que se suman o se restan.

(Durazno, 2017).

4. Propagación de error de multiplicación y división

$$R = \frac{A * B}{C}$$

$$\delta R = |R| \sqrt{(\frac{\delta A}{A})^2 + (\frac{\delta B}{B})^2 + (\frac{\delta C}{C})^2}$$

En donde:

A, B y C: Son los valores que se multiplican o divide $\delta A, \delta B, \delta C =$ Son las propagaciones de error de los valores que se multiplican o dividen

R= Al resultado de la multiplicación o división de los valores.

(Durazno, 2017).

V. METODOLOGÍA

Se estudió el efecto de un tamaño de partícula menor a 177 µm (mesh 80) y un tamaño mayor a 354 µm (mesh 45) de la borra de café, tiempos de 181.5 y 130 minutos de extracción, porcentajes de 3.64, 5.08, 16.88 y 40.97 de humedad en la borra de café y, por último, etanol al 95% (v/v) y hexano grado reactivo como solventes de extracción en la cantidad de compuestos orgánicos extraídos de la borra de café.

Se analizaron 3 muestras para determinar el tamaño de partícula que maximiza la extracción de ácido clorogénico, 4 muestras para determinar el tamaño de partícula que maximizan la extracción de cafeína, 5 muestras para observar el efecto del tiempo de extracción y 6 muestras para identificar el efecto de la polaridad del solvente de extracción. La cantidad de muestras seleccionadas otorgaron validez estadística al obtener promedio y desviación estándar de los resultados. Por otra parte, no se buscó validar un método sino realizar un experimento explorativo, por lo que, no fue imperativo llevar a cabo un análisis factorial.

A. Recolección de borra de café

1. Agregar ½ de taza (36g) de café molido y 10 tazas de agua pura a la percoladora "Hamilton Beach" de 40 tazas (10 L) de capacidad (ver figuras 27 y 28).
2. Esperar a que el ciclo de percolación finalice. Se registró un tiempo de ciclo de 16 minutos aproximadamente.

B. Extracción de agua de la borra de café

1. Exprimir la borra de café recolectada, empleando filtros de papel para café.
2. Escurrir la borra de café durante 10 horas.

C. Secado

El equipo empleado en esta etapa es una estufa de gas con horno marca "Whirlpool".

1. Para un horneado por convección (Whirlpool, 2018), colocar la parrilla en la segunda posición (ver Figura 30).
2. Situar la muestra dentro del horno y se fija una temperatura de 145°C (Ver Figura 31).
3. Retirar la borra de café hasta alcanzar una humedad menor al 5% m/m. La temperatura de secado se medirá con un termómetro para horno marca "Taylor" (Ver Figura 32).
4. Calcular el porcentaje de humedad m/m, usando la balanza del laboratorio de operaciones unitarias (ver Figura 33)

D. Determinación de humedad

1. Configurar un método de secado (ver Figura 33). Seleccionar una temperatura de secado de 120ºC con un criterio de desconexión de 30 minutos para obtener una humedad constante.
2. A continuación, verificar que la balanza se encuentre nivelada y forrar el plato de la balanza con aluminio para evitar mancharlo.
3. Finalmente, colocar la muestra y cerrar la balanza. El resultado que brinda la balanza de humedad se expresa en porcentaje de humedad de la muestra (m/m).

E. Selección de tamaño de partícula

1. Seleccionar tres diferentes tamaños de tamiz, para establecer la relación entre el tamaño de partícula de la borra de café y la concentración (ppm) de la cafeína y ácido clorogénico (Ver Figura 34)
2. Escoger los tamices disponibles con menor tamaño para disminuir la granulometría de la materia prima y obtener un mayor contacto entre el soluto y el solvente (Suárez & Carriel, 2017) (ver Figura 35).

Lixiviación

1. Armar el sistema de extracción siguiendo la descripción de la Figura 6.
2. Elaborar un cartucho de papel filtro para introducir de 5 a 6 gramos de muestra seca en el equipo Soxhlet.
3. Adicionar el solvente que permitirá extraer los compuestos orgánicos de interés.
4. Evaporar la solución a 80ºC y 95ºC dependiendo del solvente, llevando a cabo una leve agitación para garantizar un calentamiento homogéneo.
5. Evitar la pérdida de calor en la evaporación, forrar el balón con aluminio (Figura 36). La cantidad de reflujos se modificará con el objetivo de comparar su efecto en la concentración (ppm) de cafeína y ácido clorogénico.

F. Purificación de extracto para análisis

1. Purificar el extracto obtenido en el proceso de lixiviación empleando un equipo de evaporación con recirculación de agua de enfriamiento, como se observa en la Figura 37.
2. La evaporación se lleva a cabo a 80ºC y 95ºC, dependiendo del solvente utilizado en la extracción, hasta observar el cese de condensación de solvente.
3. Someter el producto obtenido de la primera evaporación a una segunda evaporación en la campana de extracción a 80ºC, utilizando únicamente una estufa, para garantizar la remoción completa de solvente.
4. Trasvasar la sustancia purificada a un tubo de ensayo limpio.
5. Centrifugar la muestra usando una centrifugadora Fisher Scientific modelo 228 con velocidad constante de 3500 rpm (ver Figura 44) para retirar el material orgánico sólido que se encuentra en la superficie.

G. Análisis de extracto

1. Evaluar características como color, textura y olor.
2. Diluir en 5mL de agua destilada para determinar la concentración (ppm) de cafeína y ácido clorogénico empleando un HPLC con columna metanol: agua (ver Figura 45).

H. Elaboración de sérum

1. Verter el aceite extraído de la borra de café con concentración (ppm) de cafeína y ácido clorogénico conocida, junto con los aceites seleccionados en los envases de vidrio (ver Figura 42 y 46), y colocar la etiqueta correspondiente (ver Figura 47).

I. Instalación de prensa y recipiente de plástico para el almacenamiento de borra de café en Café Barista

1. Instalar la prensa y recipiente de plástico afuera de las instalaciones de Café Barista para llevar a cabo la deshidratación y almacenamiento de la borra de café que se empleará como materia prima del proceso de elaboración de sérum facial.

J. Capacitación del personal de Café Barista para el manejo correcto de la prensa y recipiente de plástico para almacenamiento de borra de café

1. Brindar un curso breve sobre cómo ingresar la borra de café en la prensa.
2. Indicar cómo debe ser operada la prensa para retirar el exceso de agua de la borra de café.
3. Alertar al personal de Café Barista sobre los riesgos de una mala manipulación del equipo.
4. Enseñar cómo debe ser trasladada la borra de café prensada hacia el recipiente de plástico para mantener la inocuidad de la borra y para evitar pérdidas durante el traslado.

K. Almacenamiento de borra de café en cafeterías seleccionadas.

En esta etapa, la tarea debe ser realizada por el personal de Café Barista

1. Colocar toda la borra de café generada durante el día en Café Barista, dentro de la prensa que cuenta con una malla metálica con tamaño de partícula <177 micras (ver Figura 48), que la empresa encargada de realizar el cosmético brindará.
2. Girar manualmente la manecilla para remover el exceso de agua de la borra de café. Realizar el prensado una vez al día, al finalizar la jornada laboral.
3. Trasladar la borra de café prensada a un recipiente de acero plástico sellado.

L. Acopio de la borra de café en Café Barista

Este proceso será realizado por la empresa encargada de elaborar el producto cosmético.

1. Recoger la borra de café prensada, y trasladarla hacia el lugar de procesamiento del sérum facial. La recolección de la borra de café se hará cada 3 días.
2. Limpiar la prensa y verificar que no queden residuos sólidos de la borra de café.
3. Instalar otro recipiente de plástico para el almacenamiento de la borra de café.

VI. RESULTADOS

Cuadro 7. Factores que maximizan la concentración de cafeína (ppm) en aceite de borra de café para un cosmético facial extraído con etanol.

Masa de borra de café para extracción (±0.002g)	Porcentaje de humedad (m/m) en borra de café (±0.005%)	Tamaño de partícula de borra de café (µm)	Aceite de borra de café extraído (g ±0.002g)	Concentración de cafeína (±97.165ppm)
9.3415	5.88	<177	1.7347	1046.35

Para identificar el porcentaje de humedad (m/m) en la borra de café y el tamaño de partícula (µm) que maximizan la concentración de cafeína se analizó el comportamiento de los datos expuestos en el Cuadro 15. Respecto a la masa de borra de café necesaria para la extracción, el aceite de borra de café extraído y la concentración de cafeína promedio fueron calculados haciendo uso de los datos del Cuadro 22. Los factores que se muestran son válidos para extracciones realizadas a 95ºC, durante 181.5 minutos con etanol al 95% de pureza y evaporaciones de 4 horas a 95ºC.

Cuadro 8. Factores que maximizan la concentración de ácido clorogénico (ppm) en aceite extraído de borra de café para un cosmético facial empleando como solvente hexano.

Masa de borra de café para extracción (±0.001g)	Humedad de borra de café (±0.005%)	Tamaño de partícula de borra de café para extracción (µm)	Aceite de borra de café extraído (±0.001g)	Concentración de ácido clorogénico (ppm)
3.35	5.08	<177	1.2217	1.408±0.420

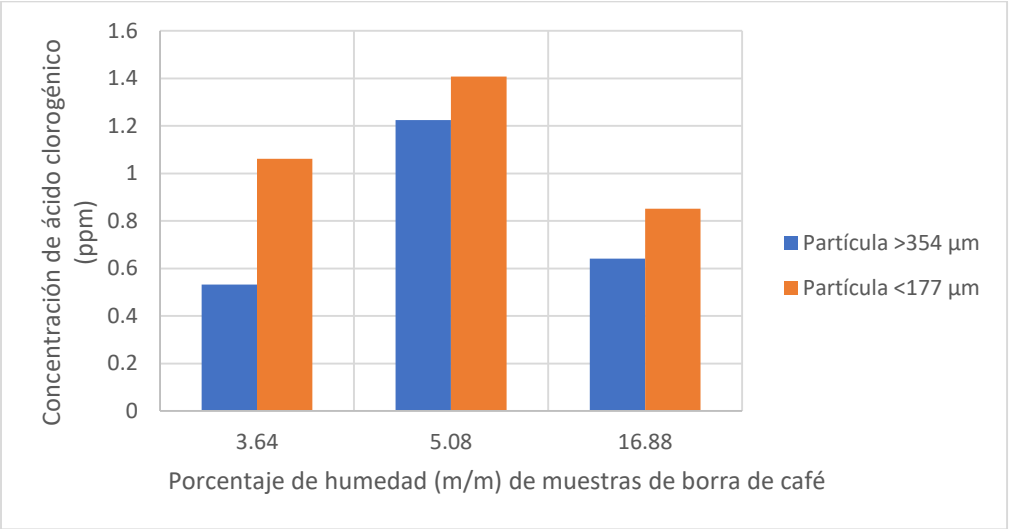
En el Cuadro 8 se muestran los factores que maximizan la concentración (ppm) de ácido clorogénico en el aceite de borra de café extraído con hexano grado reactivo como solvente de extracción, los cuales fueron analizados e identificados tomando como base los datos expuestos en el Cuadro 15. Estos resultados pueden aplicarse a extracciones realizadas con hexano grado reactivo a 80ºC durante 193 minutos y evaporaciones de 75 minutos a 80ºC.

Cuadro 9. Condiciones de operación generales para maximizar la extracción de aceite de borra de café

Humedad de la borra de café (±0.005%)	Tiempo de proceso de extracción (±0.5 min)	Tamaño de partícula que permite mayor extracción (µm)	Solvente de extracción
5.88	181.5	<177	Etanol

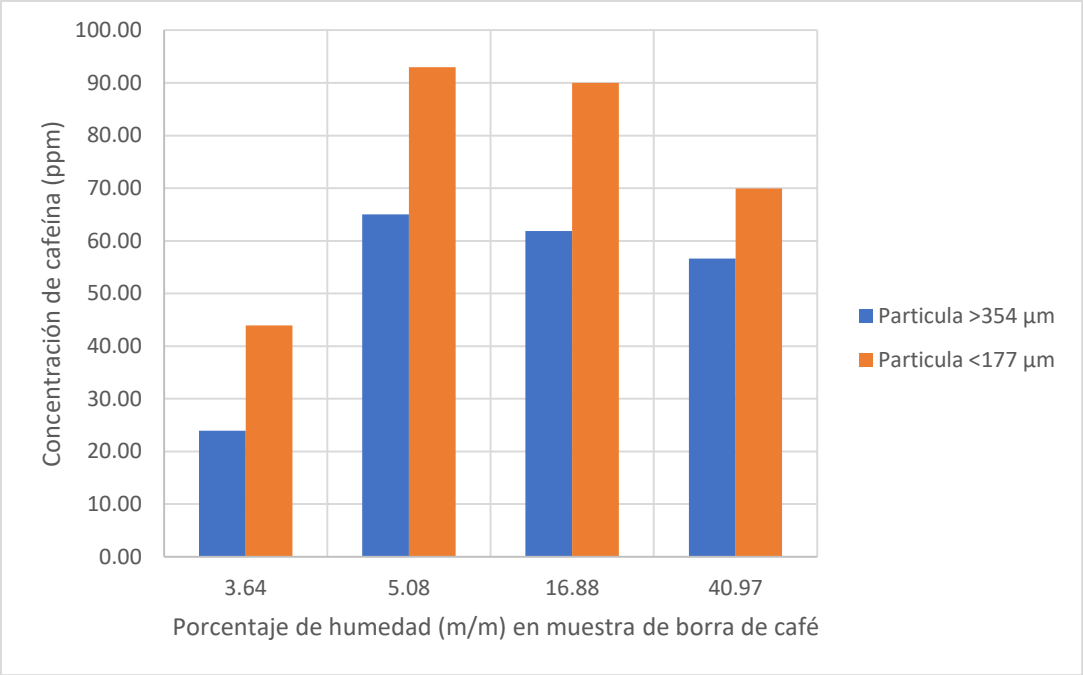
Las condiciones de operación generales para maximizar la extracción de aceite de borra de café, se identificaron con el análisis de los datos que se muestran en el Cuadro 15, y las gráficas que se muestran a continuación. Aplican a extracciones con etanol al 95% de pureza.

Figura 10. Análisis de influencia de tamaño de partícula y porcentaje de humedad en concentración de ácido clorogénico (ppm) de muestras extraídas con hexano.



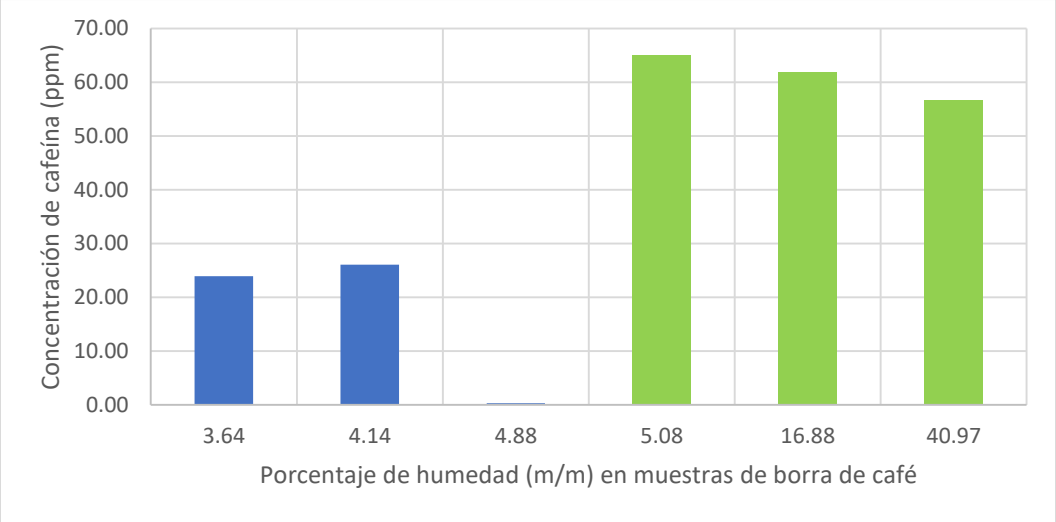
El análisis de la relación entre la concentración de ácido clorogénico (ppm), el tamaño de partícula y el porcentaje de humedad (m/m) de las muestras de borra de café para identificar los factores que maximizan la concentración (ppm) de ácido clorogénico, se realizó gráficamente como se muestra en la Figura 10 tomando como referencia los datos que se observan en el Cuadro 15.

Figura 11. Análisis de influencia de tamaño de partícula y porcentaje de humedad (m/m) en concentración de cafeína (ppm) de muestras extraídas con etanol al 95% pureza.



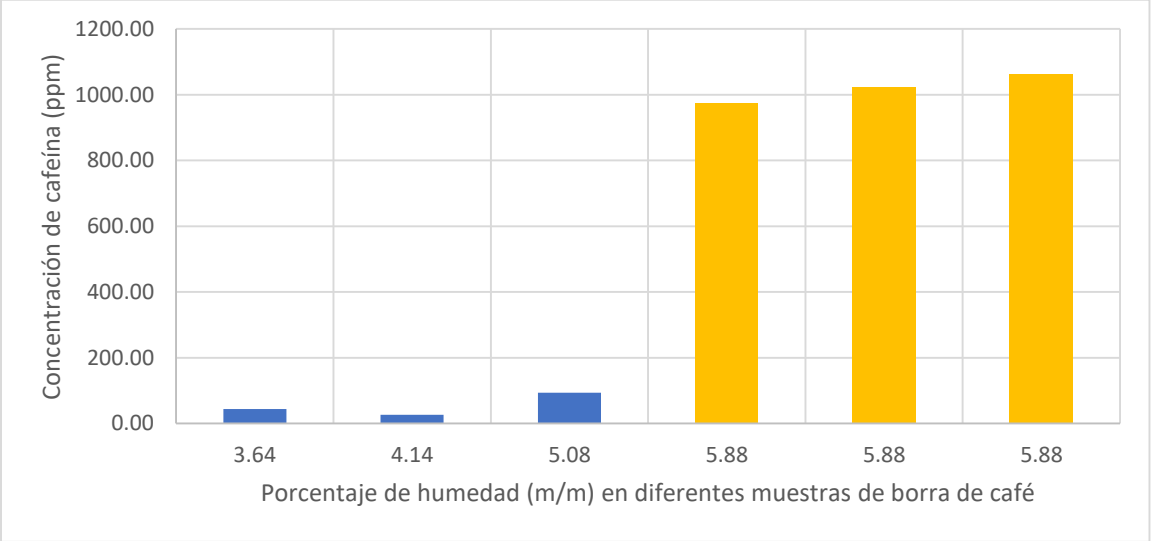
El análisis de la relación entre la concentración de cafeína (ppm), el tamaño de partícula y el porcentaje de humedad (m/m) de las muestras de borra de café se realizó gráficamente como se muestra en la Figura 11 tomando como referencia los datos que se observan en el Cuadro 15 para determinar los factores que maximizan la concentración de cafeína (ppm) en las muestras de borra de café.

Figura 12. Análisis de concentración de cafeína (ppm) respecto al porcentaje de humedad (m/m) de las muestras y al tiempo (min) de extracción.



El análisis de la relación entre la concentración de cafeína (ppm), el porcentaje de humedad (m/m) de las muestras de borra de café y el tiempo de extracción (min) se realizó gráficamente como se muestra en la Figura 12 tomando como referencia los datos que se observan en el Cuadro 15 para determinar los factores que maximizan la concentración de cafeína (ppm) en las muestras de borra de café. Las columnas de color verde representan las extracciones con duración de 181.5 minutos, y las columnas azules representan tiempos de extracción menores a 130 minutos.

Figura 13. Influencia de porcentaje de humedad en las muestras de borra de café y la naturaleza del solvente de extracción en la concentración de cafeína (ppm)



El análisis de la influencia de la naturaleza del solvente de extracción en la concentración de cafeína (ppm) tomó como referencia las concentraciones de cafeína (ppm) del Cuadro 15 que se muestran como columnas de color azul, las cuales se obtuvieron utilizando hexano grado reactivo a 80ºC y las concentraciones de cafeína (ppm) de las extracciones con etanol al 95% de pureza a 95ºC del Cuadro 21, que se visualizan como columnas de color amarillo.

Cuadro 10. Composición del sérum facial

Materia Prima	Composición % (v/v)
Aceite de borra de café	10
Colágeno	5
Aceite de Rosa de Mosqueta	39
Aceite de Jojoba	20
Conservante	1
Ácido hialurónico al 1%	25

La formulación del sérum facial se obtuvo experimentalmente para obtener las características físicas necesarias que se muestran en el Cuadro 10. Todos los aceites utilizados se encuentran diluidos en bases oleosas, por lo que no aportan agua a la formulación.

Cuadro 11. Características físicas del sérum facial

Masa (±0.003g)	Volumen (±0.01mL)	pH (±0.005)	Densidad (g/mL)
8.53	10	5.88	0.853

Los resultados expuestos en el Cuadro 11 se basan en el promedio de las cantidades que se muestran en los cuadros 25 y 26. Aplica para una población total de 10 sérums con las composiciones observadas en el Cuadro 10.

Cuadro 12. Características físicas del aceite extraído de la borra del café

Masa de aceite de borra de café (±0.002g)	Volumen (±0.01mL)	Densidad (g/mL)	Color	Olor	Textura
1.7347	1.3	1.3344	Café oscuro	A café	Oleosa

La masa de aceite de borra de café extraída con etanol al 95% (v/v) a 95±5ºC se muestra en el Cuadro 12 y se basa en el promedio de las cantidades que se muestran en el Cuadro 18. Respecto al color del aceite, éste se puede observar en la Figura 43.

Cuadro 13. Características del sérum facial fabricado comparadas con un sérum facial teórico

Características	Sérum facial elaborado	Límites teóricos
Volumen mínimo (mL)	10	10
Cantidad de muestras mínimas para verificación de calidad (unidades)	10	10
Valor de pH ideal	5.88	4-6
Concentración máxima %(v/v) de colágeno	5	1-5
Concentración máxima %(v/v) de conservante	1	1
Concentración máxima %(v/v) de aceite de jojoba	20	1-20
Concentración máxima %(v/v) de aceite de ácido hialurónico	1	0.2-2
Concentración máxima %(v/v) de aceite de rosa de mosqueta	39	0.5-5

Como se observa en el Cuadro 13, el sérum facial elaborado cumple con las características mínimas del RTCA como el volumen y la cantidad de sérum para la verificación de la calidad. Además, los componentes se encuentran dentro del rango de concentración recomendado por diversos estudios que se pueden ver en el apartado de marco teórico.

Figura 14. Balance de masa y energía del proceso de producción de sérum facial

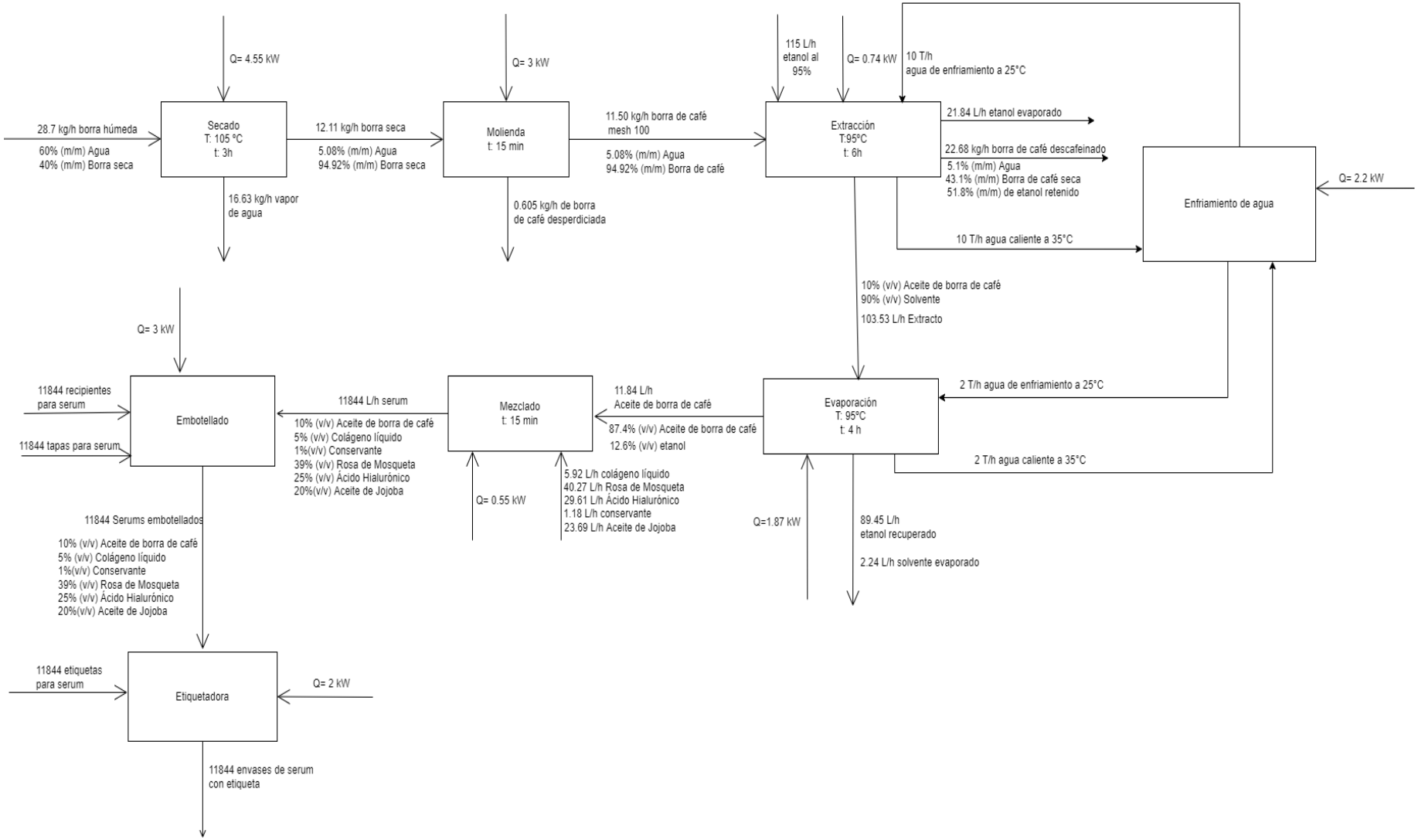
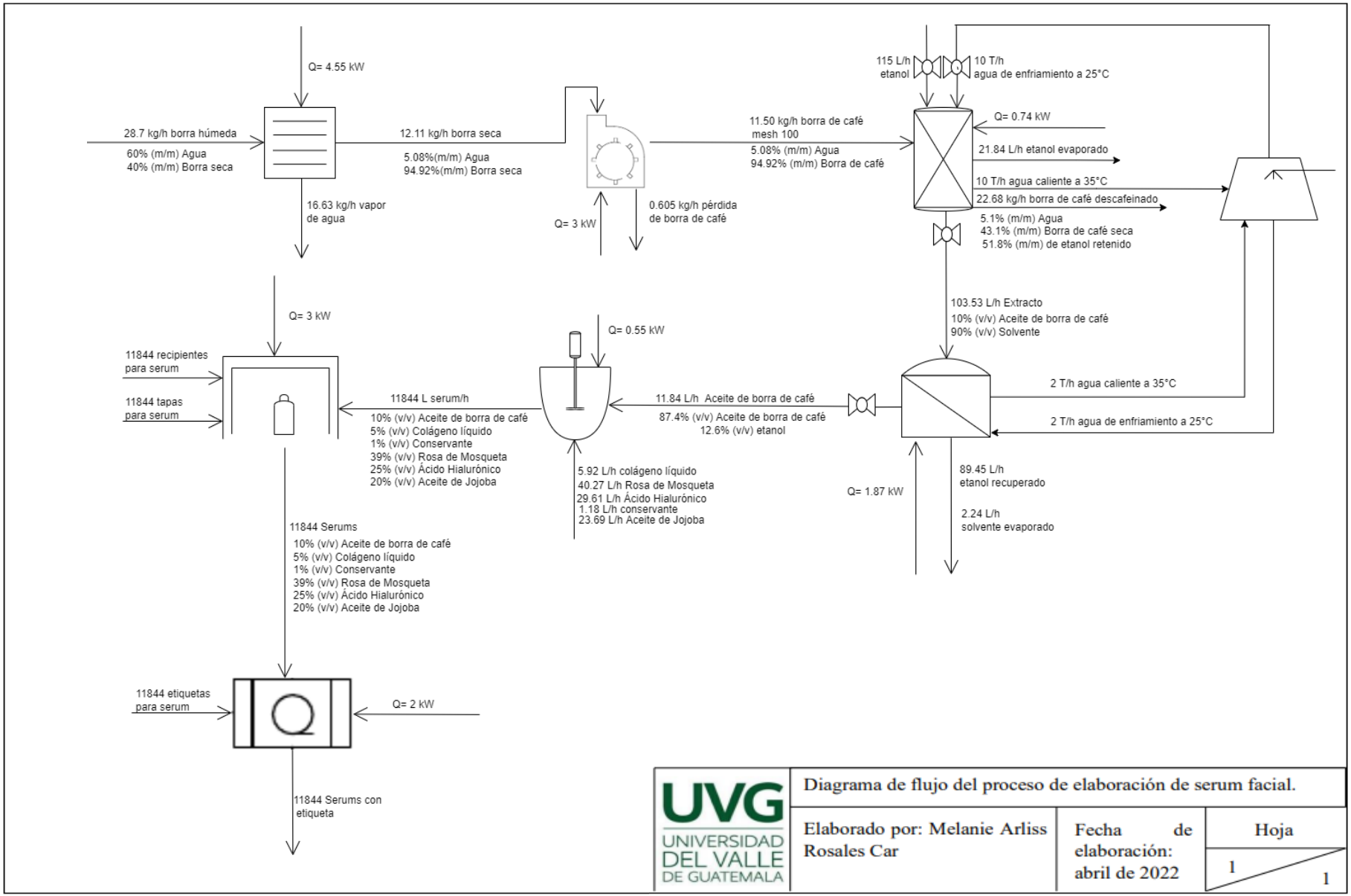


Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de sérum facial a partir de aceite extraído de borra de café



VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según Choi y Koh, se identificó que dentro de los compuestos orgánicos que conforman el aceite de borra de café, se encuentran: compuestos fenólicos, como el ácido gálico, el ácido protocatecúico y el ácido clorogénico, y compuestos nitrogenados, como la trigonelina y la cafeína (ver Figura 3). Sin embargo, la cafeína fue el compuesto más abundante, seguido del ácido clorogénico. Por tal razón, el presente estudio se enfoca en cuantificar únicamente la concentración de cafeína y ácido clorogénico e identificar los parámetros que maximizan su extracción.

Uno de los factores analizados fue la naturaleza del solvente, para describir la influencia de la polaridad en los compuestos de interés. Se observó en la Figura 13 que al utilizar un solvente con alta polaridad como lo es el etanol, se obtuvieron concentraciones de cafeína mayores (900-1100 ppm) comparadas con las obtenidas con hexano (0.20-95 ppm). Esto se debe a que las moléculas de etanol se unen por puentes de hidrógeno a los átomos N9 (ver Figura 5) de las moléculas de cafeína adyacente. Tanto el átomo de anillo N9, como los átomos de oxígeno carbonilo O2 y O6 pueden servir como receptores de enlaces de hidrógeno(Tavagnacco, *et al*, 2011).

La interacción de las moléculas de solventes polares con la cafeína está dominada en gran medida por los dos átomos de oxígeno y el átomo de nitrógeno en la posición 9, debido a la metilación completa de los grupos amino secundarios. Aunque la cafeína es polar, también es relativamente hidrofóbica debido a sus caras débilmente hidratantes, por lo que es posible extraer una concentración mínima de cafeína utilizando hexano como solvente. Sin embargo, el hexano no permite que tenga lugar la solubilización de la cafeína como se lleva a cabo en la extracción con etanol. Por último, a diferencia del etanol, el hexano sí presenta riesgos a la salud y al ambiente, por lo que no se recomienda como solvente de extracción de cafeína para un cosmético

Cabe mencionar que diversos estudios muestran que al realizar extracciones de cafeína utilizando como solvente de extracción una dilución de etanol, se obtienen concentraciones mayores que al utilizar etanol puro, como se muestra en la Figura 8. A pesar de conocer estos resultados, se decidió trabajar con etanol puro debido a la naturaleza del cosmético elaborado. Ya que el sérum facial se formuló únicamente con compuestos oleosos, el uso de agua como parte del solvente de extracción no favorece la homogeneización de la mezcla final debido a la diferencia de solubilidades. Además, el uso de agua da lugar a la formación de microorganismos que puedan poner en riesgo la salud de la piel.

Respecto a la extracción de ácido clorogénico, se observó que éste se vio beneficiado al utilizar hexano como solvente de extracción (ver Cuadro 15) a pesar de su naturaleza apolar. Esto se vio influenciado por la preparación de los estándares del HPLC. Ya que, los picos de la cafeína y el ácido clorogénico se encuentran muy cerca entre sí en el cromatograma (ver Figura 3), al tener concentraciones de cafeína superiores a 900 ppm, es posible que hayan impedido leer las concentraciones de ácido clorogénico al ser estas menores a 5 ppm aproximadamente. Por lo que, se recomienda analizar las muestras con estándares separados para no tener interferencias y cuantificar la concentración de ácido clorogénico utilizando diferentes condiciones de operación del HPLC como una fase móvil compuesta de una mezcla de dos solventes, A y B. En donde A consta de agua con 2mM de ácido fosfórico, pH de 2.7 y 5% metanol y B consta de metanol conteniendo 5% de 2mM de ácido fosfórico y pH de 3.9. Se recomienda utilizar el gradiente A-B (75/25) y detectar a una longitud de onda de 325 nm (López, 2008).

También se analizó el comportamiento de la concentración de cafeína y ácido clorogénico respecto a la cantidad de agua que poseían las muestras de borra de café. Se obtuvo una concentración de 93±4.380 ppm de cafeína como se observa en la Figura 11 y una concentración de 1.408±0.420 ppm de ácido clorogénico (ver Figura 10) al analizar una muestra con 5.088±0.005% (m/m) de humedad. Para extracciones sólido-líquido de materiales orgánicos como la borra de café, el secado permite romper la pared celular facilitando el acceso directo al solvente en el interior de la estructura del sólido. Por consiguiente, la relación de

porcentaje de humedad respecto a la concentración de cafeína y ácido clorogénico es inversamente proporcional porque se maximiza el área de transferencia de masa que propicia un mejor fluido interfacial.

Al contrario, como se observa en el Cuadro 15 se obtuvo una concentración de 90±4.243 ppm de cafeína al analizar una muestra con 16.88±0.005% (m/m) de humedad, la cual es relativamente alta para una muestra que contenía una humedad arriba del 5±0.005% (m/m). El resultado se vio influido principalmente por la cantidad de borra de café utilizada en el proceso de extracción, ya que la muestra con 16.88±0.005% (m/m) de humedad poseía 2 gramos más de borra para análisis que la muestra con 5.088±0.005% (m/m) de humedad. De igual manera, la muestra que posee un 40.94±0.005% (m/m) de humedad también presenta concentraciones altas de cafeína debido a la cantidad de borra de café empleada durante la extracción sólido-líquido, ya que como se muestra en el cuadro 15 para ésta muestra se utilizaron aproximadamente 10g. Por ende, se recomienda mantener constante la masa de borra de café empleada durante la extracción para identificar realmente la influencia del porcentaje de humedad en las muestras respecto a la concentración de cafeína y ácido clorogénico. Para obtener un análisis más homogéneo, se realizó nuevamente la gráfica de porcentaje de humedad respecto a la concentración de cafeína, pero sin considerar el dato atípico de la muestra de 40.94±0.005% (m/m) de humedad (ver Figura 16).

Por su parte, otro factor que influyó drásticamente en la extracción de cafeína fue el tamaño de partícula de la borra de café, como se ve en la Figura 11. De igual manera, se observaron resultados similares en la extracción de ácido clorogénico (ver Figura 10). Las muestras de borra de café con un tamaño de partícula menor a 177 µm (mesh 80) muestran concentraciones mayores que aquellas con tamaños de partícula mayores a 354 µm (mesh 45), independientemente de la humedad analizada. Esto se debe a la pobre penetración del solvente en el tejido vegetal de partículas con un tamaño mayor a 354 µm, puesto que las paredes celulares actúan como barreras que dificultan la transferencia de masa. Por lo que, el tamaño de partícula de la borra debe ser menor a 177 µm para maximizar la concentración de cafeína y ácido clorogénico.

Por último, en la Figura 12 se observó que las extracciones que tuvieron un tiempo de aproximadamente 101.75±0.5 minutos, equivalentes a 4 recirculaciones en el equipo de extracción Soxhlet, presentaron concentraciones de cafeína menores a 27 ppm, claramente se muestra una diferencia respecto a las extracciones que tomaron un promedio de 181.5±0.5 minutos equivalentes a 10 recirculaciones, ya que estas presentaron concentraciones mayores a 56 ppm de cafeína. Por lo que, como era de esperar, el tiempo de extracción que maximiza la concentración de cafeína es en promedio de 181.5±0.5 minutos, lo cual equivale a 10 recirculaciones.

Luego de identificar las condiciones de operación que maximizan la concentración de cafeína, se determinaron las operaciones unitarias necesarias para elaborar el producto cosmético a una escala mayor. Como se mencionó anteriormente, el secado de la muestra de borra de café sí influye directamente en la extracción de cafeína y ácido clorogénico, por lo que es indispensable iniciar con este proceso. Se calculó que el flujo másico de borra de café que ingresaría al proceso es de 28.7 kg/h (ver Figura 14), si se recolecta la materia prima de 2 Café Barista de la ciudad de Guatemala. A escala laboratorio, se trabajó con una temperatura de 145°C durante 2 horas para obtener una borra con 5% (m/m) de humedad. Sin embargo, al escalar el proceso, esta temperatura provoca un consumo energético elevado. Por tal razón, se recomienda trabajar a una temperatura de 105°C para garantizar la evaporación del agua en la borra de café. Ya que el producto seco no excede los 50 kg/h, se seleccionó un secador de 5 bandejas alcanzar una humedad de 5.88±0.005% (m/m) aproximadamente, del cual se elaboró una ficha técnica que se muestra en la Figura 17 y que contiene las características necesarias del equipo requerido en el proceso. Llevando a cabo el Cálculo 1, se obtuvo que la masa de borra seca sería de 12.11 kg por hora.

Para alcanzar un tamaño de partícula menor a 177 µm (mesh 80) de una muestra con poca humedad, se seleccionó un molino de 16 martillos con una velocidad máxima de 1750 rpm como se muestra en la ficha técnica elaborada (Figura 18) la cual se ajusta a los requerimientos del proceso. Este tipo molino permite reducir el tamaño de partícula hasta 10 µm (mesh 1250) al igual que el molino de bolas y molino Jet (ver Cuadro 4), la diferencia radica en que el molino seleccionado también es capaz de reducir el tamaño de

partícula hasta 177 µm de un flujo de 12.11 kg/h de borra de café, pero consumiendo una menor cantidad de energía que los otros molinos. Como se observa en el diagrama de bloques (ver Figura 14), se asumió una pérdida del 5±0.005% (m/m) del producto seco debido a la formación de polvos.

Posteriormente, el flujo de 11.50 kg/h de borra de café molido se transporta hacia el extractor y concentrador, el cual utiliza agua de enfriamiento proveniente de la torre de enfriamiento que se observa en la Figura 23. Como se expone en el Cuadro 7, el mejor solvente para la extracción es el etanol, por lo tanto, en esta operación se decidió alimentar 115 L/h de etanol al 95% (v/v), siguiendo la relación de 10L solvente/ kg de borra de café utilizada en los análisis a escala laboratorio. Como se observa en la ficha técnica de la Figura 19, se seleccionó este equipo ya que posee dentro de su configuración un evaporador de simple efecto con la capacidad de separar el aceite de borra de café del etanol. La ventaja de contar con un evaporador dentro de la configuración del equipo y no fuera de este, es que se evita la pérdida de aceite en tuberías durante el traslado hacia otro evaporador. El volumen de aceite de borra que se produce en la evaporación será de 11.84 L por hora, como se ve en el Cálculo 10.

Después de extraer y concentrar el aceite proveniente de la borra de café, se procede a realizar el sérum facial. En la siguiente etapa se alimenta aceite de Rosa de Mosqueta ya que ejerce una acción revitalizante sobre los fibroblastos y las células productoras de colágeno, elastina y ácido hialurónico para otorgarle firmeza y elasticidad a la piel; Colágeno, porque este induce a la formación de nuevas fibras de colágeno por estimulación de los fibroblastos al ser aplicado sobre la piel; Aceite de Jojoba el cual será el encargado de disolver la cera que se acumula en los folículos pilosos el cual es el principal responsable de las pieles grasas; Ácido Hialurónico al 1% para tratar el envejecimiento, porque es eficaz contra la aparición de arrugas y líneas de expresión faciales; conservante Kopcerin®, el cual es eficaz contra bacterias, levaduras y moho y es un componente suave para la piel ya que se encuentra libre de parabenos y por último, el aceite de borra de café, que ha demostrado ser una buena fuente de compuestos antioxidantes como la cafeína y el ácido clorogénico. La cafeína reduce la mezcla de radicales libres en las células de la piel y el ácido clorogénico reduce los radicales libres e inhibe las reacciones de oxidación al donar sus átomos de hidrógeno. La mezcla toma lugar en un tanque de acero inoxidable revestido internamente con resina epoxifenólica, para el cual se elaboró una ficha técnica que muestra las especificaciones del equipo (ver Figura 20), en donde se mezclan con un agitador vertical. En el Cuadro 10, se observa la composición del sérum facial para obtener un producto cosmético de 10±0.5 mL con pH de 5.88±0.005. La piel tiene un pH de aproximadamente 5.5 con el cual mantiene un entorno hostil para los microorganismos patógenos. El mismo entorno ácido es necesario para el mantenimiento de la piel, por tal razón, los cosméticos debido a su uso cotidiano pueden llegar a contribuir al mantenimiento de la salud de la piel, a través del control del valor del pH. De modo que, se formuló cuidadosamente el sérum facial para tener un pH dentro del rango que se considera adecuado (4-6).

Se elaboró un sérum facial ya que este tipo de formulación contiene una alta concentración de principios activos que proporcionan una rápida absorción y gran penetración. Además, no es necesario el uso de emulsificante, el cual puede modificar la textura del cosmético y perjudicar el principio activo. De igual manera, al no poseer dentro de la formulación compuestos que contengan agua, se limita la proliferación de los microorganismos que puedan perjudicar la piel. Pese a ello, se hizo necesario el uso de etanol como solvente de extracción debido a su característica antiséptica que impide el desarrollo de posibles microorganismos que procedan de la borra de café, previniendo infecciones en la piel. Adicionalmente, se propuso el uso de conservante Kopcerin® el cual es eficaz contra bacterias, levaduras y moho, es un componente suave para la piel ya que se encuentra libre de parabenos y lo más importante, es soluble en aceite. Por último, el Reglamento Técnico Centroamericano indica que las pruebas microbiológicas deben efectuarse a todos los cosméticos, excepto a los que no sean susceptibles a la contaminación microbiológica por la propia naturaleza del cosmético como los productos oleosos.

La etapa siguiente a la elaboración del sérum facial es la de embotellamiento, en donde se utiliza un sistema de llenado automático que puede llenar de 25-60 botellas de vidrio por minuto, de la cual se elaboró una ficha técnica que se muestra en la Figura 21 y que contiene las características necesarias del equipo requerido en el proceso. El material seleccionado para los recipientes del sérum facial fue el vidrio porque no es poroso,

es impermeable, no se degrada y es químicamente inerte. Esto significa que está destinado a proteger el contenido del oxígeno y humedad. Adicionalmente, cuenta con una canica de piedra natural (ver Figura 46) la cual distribuye de forma suave el producto, evitando estiramientos de la piel al aplicarlo con los dedos.

Por último, el producto terminado se traslada a la etapa de etiquetado. Para esta operación se realizó una ficha técnica de una etiquetadora (ver Figura 22) que satisface la cantidad de envases de sérum producidos. El Reglamento Técnico Centroamericano establece que las etiquetas para los cosméticos deben indicar la composición del producto, el nombre y país de la persona que elaboró el cosmético, la fecha de caducidad e información que indique al consumidor el uso correcto del producto. Como se observa en la Figura 47, la etiqueta elaborada para el sérum facial sí cumple con las directrices.

Por otro lado, se realizó un análisis de estabilidad de la concentración de cafeína de las muestras de aceite extraído luego de haber sido almacenadas a 10 ºC durante 8 meses. Como se observa en el Cuadro 24, las muestras extraídas con hexano presentan una disminución máxima del 46.81% en la concentración de cafeína respecto al tiempo, lo cual lleva a la inactivación del mecanismo de acción de la cafeína y al decrecimiento de la eficacia de la formulación preparada. De igual forma, las muestras extraídas con etanol presentan un decrecimiento de hasta el 36% de la concentración de cafeína luego de haber sido almacenadas 7 meses a 18ºC (ver Cuadro 23). Por lo tanto, se recomienda utilizar el cosmético antes de los 3 meses de haber sido producido. El análisis de estabilidad también se llevó a cabo en las muestras que contenían ácido clorogénico. Sin embargo, luego de 8 meses, no hubo lecturas que mostraran la presencia del ácido clorogénico en las muestras.

La principal fuente de error se considera de tipo sistemático, puesto que se atribuye a factores relacionados a la cristalería, a la balanza de humedad, a la balanza analítica, al potenciómetro; por lo que se producen de manera constante a lo largo de las mediciones. Sin embargo, sí afectan la precisión de los resultados. A raíz de ello, se recomienda calibrar todos los equipos antes de realizar cada medición.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se extrajo 1046.35 ±97.165ppm de cafeína en 1.7347 ±0.002g de aceite de borra de café utilizando etanol al 95% (v/v) como solvente de extracción y una concentración máxima de 1.408 ±0.420 ppm de ácido clorogénico en 1.2217±0.001g de aceite extraído de borra de café utilizando hexano.
2. Se identificó cafeína y ácido clorogénico utilizando la técnica analítica de cromatografía líquida de alta resolución empleando un cromatógrafo Agilent modelo 1100 con columna ODS Hypersil 200 x 2.1 mm y tamaño de partícula de 5 µm leyendo a una longitud de onda de 273 nm para cafeína y una longitud de onda de 325nm para ácido clorogénico, para la elaboración de un producto cosmético.
3. El sérum facial posee una masa de 8.53±0.003g, un volumen de 10±0.01mL, un pH de 5.88±0.005 y se formuló utilizando 10% (v/v) de aceite de borra de café, 5% (v/v) de colágeno, 30% (v/v) de aceite de Rosa de Mosqueta, 20% (v/v) de aceite de jojoba, 10% (v/v) de conservante y 25% (v/v) de ácido hialurónico al 1%. El producto se fabricó cumpliendo con lo establecido en el reglamento técnico centroamericano y aplicando las buenas prácticas de laboratorio
4. Se determinó que una humedad de 5.88±0.005% (m/m) en la borra de café, un tiempo de extracción de 181.5±0.5 minutos, un tamaño de partícula menor a 177 µm y etanol como solvente de extracción, son las condiciones de operación que maximizan la concentración de cafeína y cantidad de aceite de borra de café.
5. Se proponen como operaciones unitarias necesarias para extraer cafeína y ácido clorogénico, el secado de la borra de café empleando un secador de bandejas, molienda utilizando un molino de martillos, extracción sólido-líquido, evaporación con evaporador de simple efecto, mezclado en un tanque de acero inoxidable con un agitador vertical, embotellado y etiquetado.

IX. RECOMENDACIONES

1. Cuantificar la concentración de ácido clorogénico de las muestras de aceite de borra de café utilizando como fase móvil una mezcla de dos solventes, A y B. En donde A consta de agua con 2mM de ácido fosfórico, pH de 2.7 y 5% metanol y B consta de metanol conteniendo 5% de 2mM de ácido fosfórico y pH de 3.9. Se recomienda utilizar el gradiente A-B (75/25) y detectar a una longitud de onda de 325 nm para que la mezcla de que el pico de cafeína no interfiera en la lectura de ácido clorógenico (López, 2008).
2. Elaborar un producto cosmético que pueda incluir agua como dentro de la formulación, como jabón para manos, para realizar extracciones con diluciones de etanol como solvente de extracción y así poder observar la influencia del agua en la extracción de cafeína y ácido clorogénico.
3. Almacenar el aceite extraído de la borra de café a 10ºC y a temperatura ambiente (25ºC) durante 2, 4 y 6 meses para comparar la concentración de cafeína y ácido clorogénico, realizar un análisis de estabilidad respecto al tiempo y determinar si es necesario el proceso de refrigeración.
4. Realizar un análisis económico de la extracción de aceite de borra de café a nivel industrial para su aplicación en industrias cosméticas.
5. Utilizar como materia prima del proceso de extracción, borra de café generada en diferentes Cafés de la Ciudad de Guatemala para comparar las concentraciones de cafeína y ácido clorogénico con las obtenidas en el presente estudio.
6. Tomar como base el presente estudio para analizar la concentración (ppm) de cafeína y ácido clorogénico de diferentes tipos de café y compararlos con los resultados obtenidos para identificar la influencia del tipo de café en la extracción de cafeína y ácido clorogénico.
7. Estandarizar el proceso de manejo y almacenamiento de borra de café de acuerdo con el utilizado en Café Barista, para todos los Cafés que brinden borra de café como materia prima del producto cosmético.
8. Realizar el análisis y caracterización de la materia prima para identificar posibles riesgos microbianos que puedan comprometer la salud del consumidor.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Acofarma distribución, S.A. Fichas de información técnica. Aceite Jojoba. [2022].
2. Agencia Nacional de regulación, control y vigilancia sanitaria. 2016. Instructivo Externo. Criterios de evaluación para la categorización del riesgo de productos cosméticos para sistemas de control y vigilancia sanitaria. Ecuador. Dirección técnica de perfil de riesgos. 31 págs.
3. Álvarez, H. (2021). Diseño de experimentos. Experimentos multifactoriales. Obtenido de: https://www.academia.utp.ac.pa/
4. Amazon. *Bellaxx Máquina de prensa manual de miel cerrada para prensar cera, prensa de frutas, de acero inoxidable*. https://www.amazon.com/-/es/Bellaxx-prensador-apicultura-inoxidable-herramienta/dp/B07X3D46YJ [abril de 2022]
5. Anderson, D., Sweeney,D., Williams, T., Camm, J. y Cochran, J. (2015). *Estadística para negocios y economía. 12ª. Ed*, México DF, México, Cengage Learning
6. Azcona, L. 2004. «Cosmética antiarrugas. Selección de activos». *Farmacia Profesional*. 18 (1): 50-54.
7. Ballesteros, L., Teixeira, J. y Mussatto, S. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food and Bioprocess Technology, 7*(10), 3493-3508.
8. Becker, Lilian, et al. 2009. «Final report of the sasfety assessment of hyaluronic acid, potassium hyaluronate, and sodium hyaluronate».*Int J Toxicol.*28(4): 5-67.
9. Benítez, María y Povedano, María. 2020. *Principios activos utilizados en la formulación de cosméticos antienvejecimiento para el contorno de ojos.* Tesis Universidad Católica de Córdoba, Argentina.58 págs.
10. Bi, Wentao, *et al*. 2010. «Decaffeination of coffee bean waste by solid-liquid extraction».*Korean Journal of Chemical Engineering.*28(1): 221-224.
11. Burgos, E. 2003. *Determinación de los tipos de café coffea arabica, que se producen en la región del trifinio-Guatemala y descripción de sus sistemas productivos. Estudio de la zona cafetalera que comprende altitud entre 800-1200 msnm* (tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
12. Bustamante, P, *et al.* 2002. «Thermodynamic origin of the solubility profile of drugs showing one or two maxima against the polarity of aqueous and nonaqueous mixtures: Niflumic acid and caffeine». *J. Pharm. Sci.* 91(3):874-83.

13. Caldas, A. 2012. *Optimización, escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido* (Tesis de grado). Universidad de Cuenca, Ecuador.
14. Chabot Delrieu Associés. *Máquina etiquetadora automática.* [2022]
15. Chariman, Wilma, *et al. Safety Assessment of Skin and Connective Tissue-Derived Proteins and Peptides as Used in Cosmetics*. https://www.cir-safety.org [2022].
16. Choi, Bogyoung y Koh, Eunmi. 2017. «Spent coffee as a rich source of antioxidative compounds». *Food Sci Biotechnol.*26(4): 921-927
17. Coulson y Richardon. 2019. «Chapter 5- Particle size reduction and enlargement». *Coulson and Richardson's Chemical Engineering. Volume 2a: Particulate Systems and Particle Technology. Sixth Edition*. Butterwoth-Heinemann. Pág. 205-280.
18. DPS, Mexicana. *Ficha Técnica de Aceite Rosa Mosqueta.* https://dps.com.mx [2022]
19. Durazno,R. *Propagación de error*. http://rdurazo.ens.uabc.mx/ [2022]
20. Fito, Pedro. 2016. «2. Tipos de secadores utilizados en las industrias agroalimentarias». *Introducción al secado de alimentos por aire caliente.* España: Editorial Universitat Politècnica de València. Pág. 21
21. Foods and Drugs Administration (FDA). *Foods and drugs Administration.* Obtenido de Colorantes y cosméticos: https://www.fda.gov/downloads/ForIndustry/ColorAdditives/ColorAdditivesinSpecificProducts/InCosmetics/UCM488463.pdf. [20 de Noviembre, 2020].
22. Foods and Drugs Administration. *Cosmetics Overview.* https://www.fda.gov/industry/regulated-products/cosmetics-overview. [2020]
23. Forero, M. 1998. *Registro Sanitario de los Productos Cosméticos.* https://repository.urosario.edu.co [Marzo, 2022]
24. Gutiérrez, M & Droguet, M. (2002). *La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor.* https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2733/5CROMGASES.pdf
25. Herman, A y Herman, AP. 2013. «Caffeine's mechanisms of action and its cosmetic use» *Skin Pharmacol Physiol*. 26(1): 8-14.
26. Iceq. *Cabinet Tray Dryer*. https://www.zslceq.com. [Marzo 2022].
27. Joston. Pilot Extractor and Concentrator Plant. http://www.jostonindustry.com [Marzo, 2022]
28. Juncan, Anca-Maria. 2011. *Analysis of some antioxidants used in cosmetics by chromatographic methods.*Tesis de Babes-Bolyai Universidad. Rumania, Cluj-Napoca. 57 págs.

29. Kupiec, Tom. 2004. «Quality-Control Analytical Methods:Hig (h-Performance Liquid Chromatography» *International Journal of Pharmaceutical Compounding*. 8(3): 223-227.
30. Liang, Ningjian y Kitts, David. 2015. «Role of Clorogenic Acids in Controlling Oxidative and Inflammatory Stress Conditions». *Nutrients.*8(1): 1-20
31. López, José. *Cuantificación de cafeína, trigonelina y ácido clorogénico por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).* https://bdigital.zamorano.edu/ [2022]
32. Lukic,M.; Pantelic, I. y Savic, S.D. 2021. «Towards Optimal pH of the Skind and Topical Formulations: From the Current State of the Art to Tailored Products». *Cosmetics.*8(69):1-18.
33. Machuca, D y Hervás, M. «Capítulo 2. Principios de las operaciones unitarias». *Operaciones unitarias y proceso químico. QUIE0108.* España: IC Editorial
34. Marcano, D. *Introducción a la química de los colorantes.* Academia de Ciencias Físicas, matemáticas y naturales. http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19390/1/colorantes%20listo%20%2Bisbn.pdf. [2018].
35. McCabe, W.;Smith,J y Harriott, P. 2007. «Definiciones y principios» *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Séptima Edición.* México: Libros McGraw-Hill de México. Págs. 1-4.
36. Misery,Laurent, *et al*. 2017. «Definition of sensitive skin: An expert position paper from the special interest group on sensitive skin of the International Forum for the study of itch». *Medical Journal.* 97(1). 4-6
37. Mr.Qui. *Productos.* https://envasesmrqui.com [2022].
38. Pérez, Yonatan. 2013. *Determinación experimental de la eficiencia de un secador de túnel rotatorio en proceso discontinuo utilizando grano de café tipo Arábigo en pergamino.* Tesis Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 105 págs.
39. Qiangzhong. *Mixing Equipment*. https://www.wzqiangzhong.com [Marzo 2022]
40. Reglamento Técnico Centroamericano. *Productos Cosméticos. Verificación de la Calidad.* https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/verificacion_de_la_calidad_de_cosmeticos.pdf. [2021]
41. Reliance. *Filling Machines.* https://www.tradewheel.com [2022].
42. Rojas, A; Flórez, C & López, D. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. Revista Cubana de Química, 31(3), 31-52. Extraído de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100031
43. Sousa, C, *et al*. 2015.«Coffee industrial waste as a natural source of bioactive compounds with antibacterial and antifungal activities» *The Battle against microbial pathogens*.Formatex Research Center S.L.págs. 131-136.

44. SPX Cooling Technologies, INC. *2017. MD Torre de enfriamiento. Datos técnicos y especificaciones.* Kansas. SPX Cooling Technologies, INC. 40 págs.
45. Stone, Elijah. *Kopcerin (Ethylhexylglycerin) for Skin Care Formulations.* https://www.koplusa.com [2022].
46. Suárez, J & Carriel, J. (2017). *Extracción y caracterización de colorante natural a partir de la borra de café* (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
47. Tavagnacco, Letizia, *et al*.2011. «Molecular Dynamics Simulation Studies of Caffeine Aggregation in Aqueous Solution » *J Phys Chem B.* 115(37): 10957-10966
48. Oresajo, Christian, *et al.* 2009. «Antioxidants and Skin Aging: A Review». *Cosmetic Dermatology.* 22(11): 563- 570
49. Organization The essential chemical industry. (20 de noviembre de 2020). *Colorants.* https://www.essentialchemicalindustry.org/materials-and -applications/colorants.html
50. Universidad Nacional del Callao. (20 noviembre de 2020). *Capítulo 6: Desviación estándar.* https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_JUNIO_2012/IF_CALDERON%20OTOYA_FCA/capitulo%206%20y%207.pdf
51. Valencia, M. (2018). *Métodos de extracción de aceite esencial de la semilla de moringa (moringa oleífera)* (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
52. Vandeponseele , A, *et al*. 2021. «Influential Parameters of the Caffeine Extraction from Spent Coffee Grounds: From Brewing Coffee Method to the Waste Treatment Conditions » *Clean Technol.* 3: 335-350.
53. Veyco. *Molino de Martillos Serie MMV.* https://molinosymezcladoras.com.mx [Marzo, 2022].
54. Walas, Stanley. 1990. «Chapter 12. 4 Equipment for size reduction » *Chemical Process Equipment.* Butterwoth-Heinemann.págs. 341-351.
55. Worsfold, P., Townshend, A. & Poole, C. (2005). SPECTROPHOTOMETRY | Overview, *Encyclopedia of Analytical Science (Second edition).* 318-321

XI. ANEXOS

A. Datos originales

Cuadro 14. Datos detallados del proceso de secado para extracción de cafeína y ácido clorogénico utilizando hexano como solvente de extracción.

Masa de borra húmeda (±1.00g)	Masa de borra seca (±0.001g)	Porcentaje de humedad en borra seca (±0.005% m/m)	Tiempo de secado (±0.5 min)
242	14.684	3.64	96
400	20.745	4.14	122
264	16.312	4.88	96
317	22.362	5.08	130
402	75.589	16.88	60
366	160.849	40.97	30

La masa de borra seca (±0.001g) y el porcentaje de humedad (±0.005% m/m) de las muestras de borra seca que se exponen en el Cuadro 14 fueron obtenidos variando el tiempo de secado. Las muestras de borra de café húmeda se sometieron a una temperatura de 145±5 ºC.

Cuadro 15. Concentración de cafeína y ácido clorogénico (ppm) en muestras de aceite de borra de café utilizando hexano como solvente de extracción.

No. Muestra	Masa de borra de café para extracción (±0.001g)	Humedad de borra de café (±0.005 % m/m)	Tamaño de partícula (mesh)	Número de reflujos	Concentración de cafeína (ppm)		Concentración de ácido clorogénico (ppm)
					1 semana	8 meses	1 semana
9	5.00	4.88	N/A	4	0.283±0.769	0.748±0.770	0
10	5.39	3.64	45	4	23.915±1.349	26.06±1.432	0.532±0.4183
11	5.05	3.64	80	4	43.956±2.178	35.459±1.815	1.062±0.4189
12	5.00	4.14	20	4	26.08±1.433	58.454±2.817	0.251±0.4181
13	5.23	5.08	30	8	65±3.110	61.823±2.968	1.224±0.4192
14	3.35	5.08	100	10	93±4.380	87.705±4.138	1.408±0.4195
15	7.22	16.88	30	10	61.851±2.969	32.898±1.708	0.641±0.4184
16	5.16	16.88	100	10	90±4.243	61.823±2.968	0.852±0.4186
17	10.02	40.97	20	10	56.61±2.735	31.566±1.653	0
18	8.69	40.97	80	10	59.919±2.882	51.579±2.512	0

En el Cuadro 15 se muestra la influencia del porcentaje de humedad en las muestras de borra de café, el tamaño de partícula (mesh) y el número de reflujos sobre la concentración de cafeína y ácido clorogénico (ppm) extraídas utilizando hexano como solvente de extracción a 80±0.5 ºC.

Cuadro 16. Tiempo (±0.5) en minutos de reflujos en proceso de extracción.

	Número de reflujos									
No. Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	23	41	22	21	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	26	12	11	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11	54	26	25	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12	24	33	30	22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13	14	16	15	16	16	17	17	17	N/A	N/A
14	25	25	25	24	17	15	17	17	14	14
15	33	14	38	19	18	16	16	17	18	19
16	19	20	16	18	18	18	20	21	21	17
17	27	31	18	15	17	17	18	18	18	19
18	25	29	18	13	27	12	13	13	12	12

En el Cuadro 16 se muestra la duración en minutos, de cada reflujo en el proceso de extracción de cafeína y ácido clorogénico empleando un equipo Soxhlet y hexano grado reactivo como solvente de extracción a 80±0.5 ºC.

Cuadro 17. Recopilación de datos obtenidos durante el proceso de evaporación

No. Muestra	Evaporación 1		Evaporación 2	
	Tiempo (±0.5 min)	Masa final de aceite de borra (±0.001 g)	Tiempo (±0.5 min)	Masa final de aceite de borra (±0.001 g)
9	265	0.3604	N/A	N/A
10	167	0.7112	63	0.2717
11	161	0.827	63	0.0567
12	150	1.8487	60	0.2334
13	134	2.4974	52	1.0332
14	139	1.3536	60	1.2217
15	134	1.7403	60	0.6092
16	140	1.7542	61	0.7795
17	30	1.6735	56	0.3916
18	134	1.0332	52	0.5814

Se puede observar en el Cuadro 17 el tiempo total (min) de las evaporaciones a las que fueron sometidas los extractos compuestos de hexano y aceite de la borra de café. Las evaporaciones se llevaron a cabo a una temperatura de 80±0.5 ºC y se realizaron para eliminar el solvente previo al análisis de cuantificación de cafeína y ácido clorogénico en el HPLC.

Cuadro 18. Recopilación de datos obtenidos durante el proceso de secado de aceite para cosmético

No. Muestra	Masa de borra húmeda (±1.00 g)	Masa de borra seca (±0.001 g)	Porcentaje de humedad en borra seca (±0.005% m/m)	Tiempo de secado (±0.5 min)
1	930	59.684	5.88	180
2	876	55.5088	5.88	180
3	373	20.1976	5.23	115
4	396	23.1066	5.13	128
5	301	18.3209	5.09	125
6	1041	62.6525	5.42	195

En el Cuadro 18 se muestra la masa de borra seca (±0.001 g) y el tiempo de secado (±0.5 min) al intentar obtener un porcentaje de humedad (±0.005% m/m) del 5% (m/m). El proceso de secado se realizó a 145±0.5 ºC.

Cuadro 19. Tiempo en minutos empleado para cada reflujo en el proceso de extracción

No. Muestra	Número de reflujos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	28	31	21	20	33	16	14	16	15
2	30	26	18	39	25	19	18	14	16	20
3	25	19	30	26	27	27	25	21	20	19
4	39	28	25	25	22	23	24	23	25	24
5	25	29	18	13	27	12	13	13	12	12
6	35	21	20	19	18	19	23	18	21	20
7	24	25	15	22	14	21	23	23	23	23
8	20	26	14	12	18	23	14	14	13	23

En el Cuadro 17 se muestra la duración en minutos(±0.5), de cada reflujo en el proceso de extracción de cafeína y ácido clorogénico empleando un equipo Soxhlet y etanol al 95% (v/v) como solvente de extracción a 95±0.5 ºC.

Cuadro 20. Recopilación de datos obtenidos durante el proceso de evaporación

No. Muestra	Evaporación 1		Evaporación 2	
	Tiempo (±0.5 min)	Masa final de aceite de borra (±0.001 g)	Tiempo (±0.5 min)	Masa final de aceite de borra (±0.001 g)
1	196	2.6087	240	1.47615
2	196	2.6087	240	1.47615
3	196	2.6154	240	1.99325
4	196	2.6154	240	1.99325
5	220	2.3894	240	1.6964
6	220	4.2642	240	3.5563
7	220	2,6844	240	1.994
8	220	2,3964	240	1.6602

Se puede observar en el Cuadro 20 el tiempo total (min) de las evaporaciones a las que fueron sometidas los extractos compuestos de etanol y aceite de la borra de café. Las evaporaciones se llevaron a cabo a una temperatura de 95±0.5 ºC y se realizaron para eliminar el solvente previo al análisis de cuantificación de cafeína y ácido clorogénico en el HPLC.

B. Cálculos de muestra

Cálculo 1. Base de cálculo para flujo másico (kg/h) de borra de café húmeda

Este cálculo tomó como referencia los resultados estadísticos del consumo de café del plan de negocios realizado por María Crespo, 2014.

Según, María Crespo, las personas entre 20 y 34 años de la Ciudad de Guatemala toman de 1 a 2 tazas de café a la semana. El 32% de los encuestados indicó que prefiere Café Barista y el 36% indicó que visitan cafeterías una vez a la semana.

En el municipio de Guatemala hay 245,828 personas entre 20 y 34 años (INE,2018), de las cuales el 37% corresponde a un nivel socioeconómico medio-alto (Crespo, 2014).

Por lo que, la cantidad total de personas del municipio de Guatemala entre 20 y 34 años que toman 1 taza de café a la semana en 1 Café Barista (suponiendo una taza de 12 onzas), con un nivel socioeconómico medio-alto es de:

$$245{,}828\ personas\ entre\ 20-34\ años * (37\%\ nivel\ socioeconómico\ medio\ a\ alto) * (32\%\ prefieren\ \ Café\ Barista) * (36\%\ visitan\ cafés\ 1\ vez\ a\ la\ semana) = 10{,}478\ personas\ objetivo$$

De acuerdo a, Specialty Coffee Association of America, una buena elaboración de café conlleva el uso de 55 gramos de café molido por litro de agua.

$$1\ taza\ de\ 12\ onz * \left(\frac{1L}{33.814\ onz}\right) * \left(\frac{55\ g\ café\ molido}{1L}\right) = 19.52\frac{g\ café\ molido}{taza\ de\ 12\ onz}$$

Suponiendo que se utiliza esa cantidad de café molido por taza, se calcula la cantidad de café molido empleado a la semana por 1 Café Barista en la ciudad de Guatemala.

$$19.52\frac{g\ café\ molido}{taza\ de\ 12\ onz} * (10{,}478\ personas\ objetivo) = 204{,}518.7\ g\ borra\ de\ café$$

Se supone que la borra de café se recolecta de 2 Café Barista de la ciudad de Guateamala, por ende, se duplica la cantidad de café molido producido, obteniendo así:

$$204{,}518.7\ g\ café\ molido * 2 = 409{,}037\ g\ de\ café\ molido = 409\frac{kg\ café\ molido}{semana}$$

Se toma como base el resultado obtenido en el cálculo 3 para obtener la cantidad de borra húmeda que ingresa al proceso por hora. Suponiendo que 1 semana tiene 40 horas laborales. Se tiene que

$$409\frac{kg\ café\ molido}{semana} * \left(\frac{1\ semana}{40\ horas}\right) = 10{,}226\frac{kg}{h}café\ molido$$

Suponiendo que el café molido seco representa el 35.63% (m/m) de la borra de café húmeda y el agua representa el 64.4% (m/m), se obtiene la masa de borra húmeda por hora.

$$\dot{m}\ borra\ húmeda = \frac{10{,}226\frac{kg}{h}café\ molido * (0{,}644)}{0.3563} + 10{,}226\frac{kg}{h}café\ molido$$

$$\dot{m}\ borra\ húmeda = 28{,}7\frac{kg}{h}\ borra\ de\ café\ húmeda$$

Cálculo 2. Balance de masa de borra de café en proceso de secado

Ecuación 1: Balance de masa general

$$Entrada + Generación = Acumulación + Salida$$

$$Entrada = (\dot{m}\ borra\ de\ café\ húmeda) * \left(\%\ \left(\frac{m}{m}\right) borra\ seca\right)$$

$$Generación = 0$$

$$Salida = \dot{m}\ borra\ seca * \left(\%\ \left(\frac{m}{m}\right) borra\ seca\right)$$

$Acumulación = 0$
$Entrada = Salida$

$$\left(28.7\frac{kg}{h}\ borra\ de\ café\ húmeda\right) * \left(40\%\ \left(\frac{m}{m}\right) borra\ seca\right) = \dot{m}\ borra\ seca * \left(94.92\%\ \left(\frac{m}{m}\right) borra\ seca\right)$$

$$\dot{m}\ borra\ seca = \frac{\left(28.7\frac{kg}{h}\ borra\ de\ café\ húmeda\right) * \left(40\%\ \left(\frac{m}{m}\right) borra\ seca\right)}{\left(94.92\%\ \left(\frac{m}{m}\right) borra\ seca\right)}$$

$$\dot{m}\ borra\ seca = 12.11\frac{kg}{h}$$

En el cálculo 2, se determinó el flujo másico (kg/h) de la borra seca que resulta del proceso de secado, utilizando como flujo másico (kg/h) de entrada una base de cálculo como se muestra en el cálculo 1. Por fines prácticos, se estableció que la borra de café húmeda posee 60% (m/m) de agua inicial y se desea obtener una borra de café con 5.08±0.005% m/m de humedad final.

Cálculo 2. Balance de masa de agua en proceso de secado

$Entrada + \sout{Generación} = \sout{Acumulación} + Salida$

$$Entrada = (\dot{m}\ borra\ de\ café\ húmeda) * \left(\%\ \left(\frac{m}{m}\right) Agua\right)$$

$$Salida = \dot{m}\ Agua\ evaporada + \dot{m}\ borra\ seca * \left(\%\ \left(\frac{m}{m}\right) Agua\right)$$
$Entrada = Salida$

$$\left(28.7\frac{kg}{h} borra\ de\ café\ húmeda\right) * \left(60\%\ \left(\frac{m}{m}\right) Agua\right) = \dot{m}\ \frac{kg}{h} Agua\ evaporada + 12.11\frac{kg}{h}\ borra\ seca * \left(5.08\ \%\ \left(\frac{m}{m}\right) Agua\right)$$

Despeje de $\dot{m}$ Agua evaporada:

$$\dot{m}\ \frac{kg}{h} Agua\ evaporada = \left(28.7\frac{kg}{h} borra\ de\ café\ húmeda\right) * \left(60\%\ \left(\frac{m}{m}\right) Agua\right) - 12.11\frac{kg}{h}\ borra\ seca * \left(5.08\ \%\ \left(\frac{m}{m}\right) Agua\right)$$

$$\dot{m}\ \frac{kg}{h} Agua\ evaporada = 16.63\frac{kg}{h}\ Agua\ evaporada$$

Para determinar el flujo másico (kg/h) de agua evaporada que resulta del proceso de secado, se utilizó la base de cálculo del flujo másico(kg/h) de borra húmeda que ingresa al proceso y el porcentaje de humedad (m/m) de la borra húmeda y borra seca.

Cálculo 3. Balance de masa de borra de café seca en proceso de molienda

$Entrada + Generación = Acumulación + Salida$
$Entrada = (\dot{m}\ borra\ de\ café\ seca\ con\ tamaño\ de\ partícula > 354\ \mu m\ )$
$Generación = 0$

$Salida = (\dot{m}\ borra\ de\ caf\acute{e}\ seca\ con\ tamaño\ de\ partícula < 177\ \mu m)$

$Acumulación = 5\% * (\dot{m}\ borra\ de\ caf\acute{e}\ seca\ con\ tamaño\ de\ partícula > 354\ \mu m)$
$Entrada = Salida + Acumulación$

En donde:
BSM= Borra de café seca sin moler (tamaño de partícula>354 µm)
BM= Borra de café seca molida (tamaño de partícula <177 µm)

$$\left(12.11\frac{kg}{h}\ BSM\right) = 5\% * \left(12.11\frac{kg}{h}\ BSM\right) + (\dot{m}\ BM)$$

$$(\dot{m}\ BM) = \left(12.11\frac{kg}{h}\ BSM\right) * (1 - 0.05)$$

$$(\dot{m}\ BM) = 11.504\frac{kg}{h}$$

Para el proceso de molienda se supuso una pérdida del 5% de borra seca molida debido a la operación del equipo.

Cálculo 4. Volumen de etanol necesario para la extracción de cafeína de la borra de café molida.

Se utilizó una relación de 10 L de etanol por cada kilogramo de borra de café molida, ya que según … ésta relación maximiza la extracción de cafeína en la borra de café molida.

$$11.504\ kg\ borra\ molida * \left(\frac{10\ L\ de\ etanol}{1\ kg\ de\ borra\ molida}\right) = 115.04\ L\ etanol$$

Cálculo 5. Caudal (L/h) de extracto en etapa de extracción

Con base en las extracciones realizadas a escala laboratorio, se identificó que se obtienen 0.09L de etanol con aceite de borra de café por cada 0.01kg de borra de café utilizada.

$$11.504\ kg\ borra\ molida * \left(\frac{0.09\ L\ de\ etanol}{0.01\ kg\ de\ borra\ molida}\right) = 103.53\ L\ extracto\ de\ etanol\ con\ aceite\ de\ borra$$

Cálculo 6. Masa de borra de café descafeinado en proceso de extracción

$Entrada + Generación = Acumulación + Salida$
$Entrada = \dot{m}\ borra\ de\ caf\acute{e}\ molida$
$Generación = 0$
$Salida = \dot{m}\ BD$
$Acumulación = 0$
$Entrada = Salida$

En donde:
$\dot{m}$ BD= Flujo másico de borra de café descafeinado

$$11.504\frac{kg}{h}\ borra\ molida * \left(94.92\%\frac{m}{m}\ borra\ de\ caf\acute{e}\right) = \frac{BD}{2}$$
$$BD = \left[11.504\frac{kg}{h}\ borra\ molida * \left(94.92\%\frac{m}{m}\ borra\ de\ caf\acute{e}\right)\right] * 2$$

$$BD = 22.68 \frac{kg}{h}\ borra\ de\ café\ descafeinado$$

Para obtener el flujo másico de la borra de café sin cafeína que abandona el proceso de extracción, se realiza el balance de masa, en donde la borra que ingresa es igual a la que sale del proceso. Luego, el resultado se multiplica por 2 ya que, a nivel laboratorio se observó que la masa final de la borra de café era equivalente a 2 veces la masa inicial. Esto se debe a que la borra de café retiene parte del solvente de extracción.

Cálculo 7. Balance de masa del solvente de extracción

$$Entrada + Generación = Acumulación + Salida$$
$$Entrada = (\dot{Q}S)$$
$$Generación = 0$$
$$Salida = (\dot{Q}E) + (\dot{Q}EV)$$
$$Acumulación = \dot{Q}R$$
$$Entrada = Salida + Acumulación$$

En donde:
$\dot{Q}S$= Caudal (L/h) del etanol empleado para extracción
$\dot{Q}E$= Caudal (L/h) del extracto compuesto de etanol y aceite de borra de café.
$\dot{Q}R$= Caudal (L/h) de etanol retenido en borra de café
$\dot{Q}EV$= Caudal (L/h) de etanol evaporado.
BD= borra de café descafeinado

$$115.04 \frac{L}{h}\ etanol = \left[103.53 \frac{L}{h}\ extracto * \left(90\% \frac{v}{v}\ etanol\right) + \dot{Q}\ EV\right] + [22.68 \frac{kg}{h}\ BD * \left(51.8\% \frac{kg\ de\ etanol}{kg\ BD}\right) * (\frac{1}{789} \frac{L}{kg}\ etanol)]$$
$$\dot{Q}\ EV = 115.04 \frac{L}{h}\ etanol - \left[22.68 \frac{kg}{h}\ BD * \left(51.8\% \frac{kg\ de\ etanol}{kg\ BD}\right) * \left(\frac{1}{789} \frac{L}{kg}\ etanol\right)\right] - [103.53 \frac{L}{h}\ extracto * \left(90\% \frac{v}{v}\ etanol\right)]$$
$$\dot{Q}\ EV = 21.84\ L\ etanol$$

Se calculó el caudal de etanol que se evapora durante el proceso de extracción considerando la alimentación inicial de solvente, la cantidad de etanol que queda retenida en la borra de café que sale del proceso y el solvente que sale del proceso junto con el aceite de borra de café extraído.

Cálculo 8. Caudal de etanol recuperado del extracto en la etapa de evaporación

En donde:
$\dot{Q}ER$= Caudal (L/h) de etanol recuperado de extracto

$$\dot{Q}ER = \left(103.53 \frac{L}{h}\ extracto\ con\ etanol\ y\ aceite\right) * \left(90\%\ \left(\frac{v}{v}\right)\ de\ etanol\right) * (0.96)$$
$$\dot{Q}ER = 89.45 \frac{L}{h}\ etanol\ recuperado\ de\ extracto$$

Con base en las evaporaciones a escala laboratorio, se determinó que en la etapa de evaporación se recupera el 96% del etanol que se alimentó al proceso.

Cálculo 9. Caudal de etanol evaporado que abandona el evaporador

$$\dot{Q}EV = 103.53\ L\ extracto\ de\ etanol\ con\ aceite\ de\ borra * \left(90\%\ \left(\frac{v}{v}\right)\ de\ etanol\right) * (0.024)$$

$$\dot{Q}EV = 2.24\frac{L}{h}\ etanol\ evaporado$$

Con base en las evaporaciones a escala laboratorio, se determinó que en la etapa de evaporación salía del sistema el 24% del etanol que se alimentó al proceso, debido a la evaporación.

Cálculo 10. Balance de masa del aceite de borra de café concentrado

$$Entrada + Generación = Acumulación + Salida$$
$$Entrada = (\dot{Q}E)$$
$$Generación = 0$$
$$Salida = (\dot{Q}EC) + (\dot{Q}ER) + (\dot{Q}EV)$$
$$Acumulación = 0$$
$$Entrada = Salida$$

En donde:

$\dot{Q}E$= Caudal (L/h) del extracto compuesto de etanol y aceite de borra de café.
$\dot{Q}ER$= Caudal (L/h) de etanol recuperado de extracto
$\dot{Q}EC$= Caudal (L/h) de aceite de borra de café concentrado.
$\dot{Q}EV$= Caudal (L/h) de etanol evaporado

$$103.53\ L\ extracto = \dot{Q}EC + 89.45\frac{L}{h}\ etanol\ recuperado + 2.24\ L\ solvente\ evaporado$$
$$\dot{Q}EC = 103.53\ L\ extracto - 89.45\frac{L}{h}\ etanol\ recuperado - 2.24\ L\ solvente\ evaporado$$
$$\dot{Q}EC = 11.84\frac{L}{h}\ aceite\ concentrado$$

El aceite de borra de café concentrado pasa al proceso de mezclado de sérum facial como se observa en la figura N.

Cálculo 11. Caudal de alimentación de materia prima para sérum facial.

$$Entrada + Generación = Acumulación + Salida$$
$$Entrada = (\dot{Q}EC + \dot{Q}CL + \dot{Q}CV + \dot{Q}AH + \dot{Q}RM + \dot{Q}J)$$
$$Generación = 0$$
$$Salida = (\dot{Q}S)$$
$$Acumulación = 0$$

$$Entrada = Salida$$

En donde:

$\dot{Q}EC$= Caudal (L/h) de aceite concentrado de borra de café.

$\dot{Q}CL$= Caudal (L/h) de colágeno

$\dot{Q}CV$= Caudal (L/h) de conservante

$\dot{Q}AH$= Caudal (L/h) de ácido hialurónico

$\dot{Q}RM$= Caudal (L/h) de Rosa de mosqueta

$\dot{Q}J$= Caudal (L/h) de aceite de jojoba

$\dot{Q}S$= Caudal (L/h) de sérum facial

$$\dot{Q}EC + \dot{Q}CL + \dot{Q}CV + \dot{Q}AH + \dot{Q}RM + \dot{Q}J = \dot{Q}S$$

$$(10\%\frac{v}{v})\dot{Q}EC + \left(5\%\frac{v}{v}\right)\dot{Q}CL + (1\%\frac{v}{v})\dot{Q}CV + \left(25\%\frac{v}{v}\right)\dot{Q}AH + (39\%\frac{v}{v})\dot{Q}RM + (20\%\frac{v}{v})\dot{Q}J = \dot{Q}S$$

$$11.84\frac{L}{h}EC + 5.92\frac{L}{h}CL + 1.18\frac{L}{h}CV + 29.61\frac{L}{h}AH + 40.27\frac{L}{h}RM + 23.69\frac{L}{h}J = \dot{Q}S$$

$$11{,}844\frac{L}{h} = \dot{Q}S$$

Luego de obtener el caudal del sérum facial, éste pasa al proceso de embotellado y etiquetado para obtener el producto final.

Cálculo 12. Cálculo del área de las concentraciones de cafeína

Ecuación 2. Área de las concentraciones de cafeína

$$y = mx + b$$

En donde:

y= Área de la concentración de cafeína

m= Pendiente de la gráfica de concentración de cafeína (ppm) respecto al área

b= Intercepto de la gráfica de concentración de cafeína (ppm) respecto al área

$$y = 109.83 * (974.5\ ppm) + 81.333$$

$$y = 106675.793$$

Los datos de la pendiente e intercepto se obtuvieron graficando las concentraciones (ppm) de los estándares de cafeína respecto al área (Ver Figura 20).

Cálculo 13. Propagación de error de la concentración de cafeína (ppm) obtenida con HPLC

Ecuación 3. Propagación de error para sumas y restas

$$R = A + B - C$$

$$\delta R = \sqrt{(\delta A)^2 + (\delta B)^2 + (\delta C)^2}$$

Ecuación 4. Propagación de error para multiplicación y división.

$$R = \frac{A * B}{C}$$

$$\delta R = |R|\sqrt{(\frac{\delta A}{A})^2 + (\frac{\delta B}{B})^2 + (\frac{\delta C}{C})^2}$$

Ecuación 5. Concentración de cafeína (ppm) utilizando la ecuación de la gráfica de la Figura 21

$$x = \frac{y - b}{m}$$

$$x = \frac{106675.793 - 81.333}{109.384} = \frac{106594.46}{109.384} = 974.5$$

Utilizando la ecuación 3, se procede a calcular la propagación de error de la resta entre el área y el intercepto.

$$\delta R = \sqrt{(0.00001)^2 + (84.097)^2}$$

$$\delta R = 84.097$$

Utilizando la ecuación 5, se calcula la propagación de error de la división entre la diferencia entre el área y el intercepto y la pendiente

$$\delta R = |974.5| \sqrt{(\frac{84.097}{106594.46})^2 + (\frac{5.071}{109.383})^2} = 45.186$$

El error típico de la pendiente e intercepto se calcularon con la herramienta de análisis de datos y regresión lineal que brinda Excel (ver Cuadro 24).

El cálculo 13 se realizó para todas las concentraciones de cafeína (ppm) obtenidas con HPLC.

Cálculo 14. Área de las concentraciones de ácido clorogénico (ppm)

Se utiliza la Ecuación 2.

En donde:

y= Área de la concentración de ácido clorogénico

m= Pendiente de la gráfica de concentración de ácido clorogénico (ppm) respecto al área

b= Intercepto de la gráfica de concentración de ácido clorogénico (ppm) respecto al área

$$y = 98.899 * (1.408\, ppm) + 27.916$$

$$y = 167.166$$

Los datos de la pendiente e intercepto (ver Figura 22) se obtuvieron graficando las concentraciones (ppm) de los estándares de ácido clorogénico respecto al área obtenida del HPLC que se muestran en la Figura 21.

Cálculo 15. Propagación de error de la concentración de ácido clorogénico (ppm) obtenida con HPLC

Utilizando la Ecuación 5, se calculó la concentración de ácido clorogénico (ppm) como se muestra a continuación.

$$x = \frac{167.166 - 27.916}{98.899} = \frac{139.250}{98.899} = 1.408\, ppm$$

Luego se calcula la propagación de error de la resta entre el área y el intercepto, empleando la Ecuación 3.

$$\delta R = \sqrt{(0.00001)^2 + (41.347)^2}$$

$$\delta R = 41.347$$

Seguidamente se calcula la propagación de la concentración de ácido clorogénico del cálculo 15, utilizando la ecuación 4.

$$\delta R = |1.408\ ppm| \sqrt{(\frac{41.347}{139.250})^2 + (\frac{2.438}{98.899})^2}$$

$$\delta R = 0.4195$$

El error típico de la pendiente e intercepto se calcularon con la herramienta de análisis de datos y regresión lineal que brinda Excel (ver Cuadro 25).

El cálculo 15 se realizó para todas las concentraciones de ácido clorogénico (ppm) obtenidas con HPLC.

Cálculo 16. Propagación de error del promedio de concentración de cafeína (ppm) de aceite de borra de café de las muestras etanólicas.

Primero se calculó el valor promedio de la concentración de cafeína (ppm) de las muestras de aceite de borra de café extraídas con etanol al 95% (v/v) a 95ºC. Para este cálculo se utilizaron los datos expuestos en el Cuadro 17.

$$\frac{974.5 + 1023.6 + 1064.2 + 1123.1}{4} = 1046.35$$

Utilizando la ecuación 3, se calculó la propagación de error del valor promedio empleando los valores del Cuadro 17.

$$\delta R = \sqrt{(45.186)^2 + (47.462)^2 + (49.344)^2 + (52.075)^2 + (97.165)^2}$$

$$\delta R = 97.165$$

El cálculo de propagación de error de los valores promedio que se exponen durante todo el estudio, se realizó de la misma manera que se explica en el cálculo 16.

Cálculo 17. Selección de una torre de enfriamiento.

El caudal de agua necesario para la selección de la torre de enfriamiento proviene de la ficha técnica del equipo de extracción y evaporación (ver Figura 19) y las temperaturas del agua de entrada y salida del condensador se registraron durante las experimentaciones a escala de laboratorio.

Ecuación 6. Cálculo de la carga térmica para la selección de una torre de enfriamiento

$$Q = m * C * \Delta T$$

En donde:

$\dot{m}$= Flujo másico(lbm/h) del agua de enfriamiento
C= Calor específico del agua (Btu/ lbm°F)
TAF= Temperatura (°F) del agua de enfriamiento
TAC= Temperatura (°F) del agua caliente
Q = Carga térmica (Btu/h)

$$\dot{m} = \left(\frac{12\ T}{h}\right)\left(\frac{264\ gal}{1\ T}\right)\left(\frac{8.33\ lbm}{1\ gal}\right) = 26{,}389.44\frac{lbm}{h}$$

$$Q = \left(26{,}389.44\frac{lbm}{h}\right)\left(1\frac{Btu}{lbm\ °F}\right)(95 - 77)°F = 475{,}009.92\frac{Btu}{h}$$

$$Q = \left(475{,}009.92\,\frac{Btu}{h}\right)\left(\frac{1\,Tonelada\ nominal}{12{,}000\,Btu}\right) = 39.58\,\frac{Tonelada\ nominal}{h}$$

El resultado obtenido se utilizó para seleccionar el modelo y las dimensiones de la torre de enfriamiento (ver Figura 23).

C. Datos calculados

Cuadro 21. Concentración de cafeína en muestras de aceite de borra de café después de 1 semana de extracción utilizando etanol

No. Muestra	Masa de borra de café analizada (±0.001 g)	Aceite de borra de café extraído (±0.001 g)	Concentración de cafeína (ppm)
1	9.6237	1.47615	974.5±45.186
2	9.6237	1.47615	1023.6±47.462
3	9.0593	1.99325	1064.2±49.344
4	9.0593	1.99325	1123.1±52.075
Promedio	9.3415±0.002	1.7347±0.002	1046.35±97.165
Desviación estándar	0.3259	0.2985	62.95

Se obtuvo el cálculo del promedio y desviación estándar de los datos expuestos en el cuadro 19, los cuales corresponden a las muestras de borra de café que emplearon etanol al 95% (v/v), 181.5 ±0.5 minutos de extracción, tamaño de partícula menor a 177µm, un porcentaje de humedad del 5% (m/m) aproximadamente y fueron analizadas después de 1 semana de extracción. Los resultados se exponen en el Cuadro 5 y Cuadro 19.

Cuadro 22. Concentración de cafeína en muestras de aceite de borra de café después de 7 meses de extracción utilizando etanol

No. Muestra	Masa de borra de café analizada (±0.001 g)	Aceite de borra de café extraído (±0.001 g)	Concentración de cafeína (ppm)
5	9.7802	1.6964	967.2±44.848
6	15.0216	3.5563	931.6±43.197
7	10.2905	1.994	742.2±34.418
8	8.6935	1.6602	717.5±33.273
Promedio	10.95±0.002 g	2.227±0.002 g	839.6±38.933
Desviación estándar	2.797	0.8989	128.0

Se obtuvo el cálculo del promedio y desviación estándar de los datos expuestos en el Cuadro 18, los cuales corresponden a las muestras de borra de café que emplearon etanol al 95% (v/v), 181.5 ±0.5 minutos de extracción, tamaño de partícula menor a 177µm, un porcentaje de humedad del 5% (m/m) aproximadamente y fueron analizadas después de 7 meses de extracción. Los resultados se exponen en el Cuadro 19.

Cuadro 23. Disminución de la concentración de cafeína (%) de los extractos etanólicos, luego de 7 meses de almacenamiento.

No. Muestra	Concentración de cafeína inicial (ppm)	Concentración de cafeína final (ppm)	Disminución de concentración de cafeína (%)
1	974.5±45.186	967.2±44.848	0.75
2	1023.6±47.462	931.6±43.197	8.99
3	1064.2±49.344	742.2±34.418	30.26
4	1123.1±52.075	717.5±33.273	36.11

Se realizó una comparación de concentración de cafeína de muestras de borra de café que utilizaron etanol al 95% (v/v), con un tamaño de partícula menor a 177 µm, un porcentaje de humedad (m/m) de 5% aproximadamente y un proceso de extracción de 181.5 ±0.05 min, analizadas después de 1 semana y 7 meses de haber sido extraídas, para obtener la disminución de concentración respecto al tiempo.

Cuadro 24. Disminución de la concentración de cafeína (%) de los extractos con hexano, luego de 8 meses de almacenamiento.

No. Muestra	Concentración de cafeína inicial (ppm)	Concentración de cafeína final (ppm)	Disminución de concentración de cafeína (%)
11	43.956±2.178	35.459±1.815	19.34
13	65±3.110	61.823±2.968	4.89
14	93±4.380	87.705±4.138	5.69
15	61.851±2.969	32.898±1.708	46.81
16	90±4.243	61.823±2.968	31.11
17	56.61±2.735	31.566±1.653	44.24
18	59.919±2.882	51.579±2.512	13.92

Cuadro 25. pH promedio de sérum facial.

Lectura	pH (±0.005)
1	5.98
2	5.81
3	5.75
4	5.99
Promedio	5.88
Desviación estándar	0.121

Se midió el pH de 4 muestras del producto cosmético terminado utilizando un potenciómetro PCSTestr 35, Multi-Parameter, como se observa en las figuras 19,40,41 y 42. El resultado se expone en el Cuadro 9.

Cuadro 26. Masa y densidad promedio de sérum facial

No. Muestra	Masa de cosmético (±0.00005 g)	Densidad (g/mL)
1	8.9	0.89
2	8.5	0.85
3	8.6	0.86
4	8.5	0.85
5	8.1	0.81
6	8.5	0.85
7	8.6	0.86
8	8.6	0.86
9	8.5	0.85
10	8.5	0.85
Promedio	8.53±0.003 g	0.853
Desviación estándar	0.176	0.0176

Se calculó el promedio y desviación estándar de la masa (g) y densidad (g/mL) del producto cosmético final, utilizando una balanza analítica Pioneer (±0.00005 g). Los resultados se exponen en el Cuadro 9.

Cuadro 27. Tiempo (min) de reflujos en proceso de extracción

	Número de reflujos										Tiempo total
No. Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
9	23	41	22	21	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	107
10	26	12	11	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	61
11	54	26	25	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	130
12	24	33	30	22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	109
13	14	16	15	16	16	17	17	17	N/A	N/A	128
14	25	25	25	24	17	15	17	17	14	14	193
15	33	14	38	19	18	16	16	17	18	19	208
16	19	20	16	18	18	18	20	21	21	17	188
17	27	31	18	15	17	17	18	18	18	19	198
18	25	29	18	13	27	12	13	13	12	12	174

En el Cuadro 25 se muestra la duración en minutos (±0.5), de cada reflujo en el proceso de extracción de cafeína y ácido clorogénico empleando un equipo Soxhlet y hexano grado reactivo como solvente de extracción a 80±0.5 ºC.

Cuadro 28. Error típico de pendiente e intercepto de gráfica de concentración de cafeína (ppm) respecto al área obtenidos del HPLC.

	Coeficiente	Error Típico
Intercepción	81.333	84.097
Pendiente	109.384	5.071

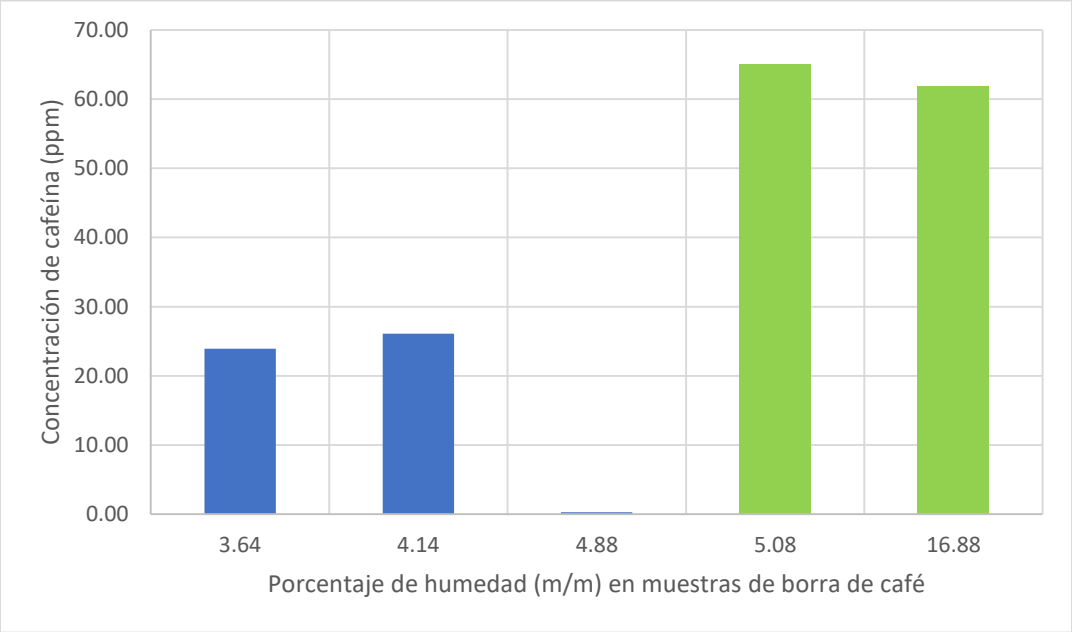
Los datos que se exponen en el Cuadro 26 se obtuvieron utilizando la herramienta de análisis de datos y regresión lineal de Excel para los datos de la Figura 24.

Cuadro 29. Error típico de pendiente e intercepto de gráfica de concentración de ácido clorogénico (ppm) respecto al área obtenidos del HPLC.

	Coeficiente	Error Típico
Intercepción	27.916	41.347
Pendiente	98.899	2.438

Los datos que se exponen en el Cuadro 27 se obtuvieron utilizando la herramienta de análisis de datos y regresión lineal de Excel para los datos de la Figura 26.

Figura 16. Análisis de concentración de cafeína (ppm) respecto al porcentaje de humedad (m/m) de las muestras y al tiempo (min) de extracción.



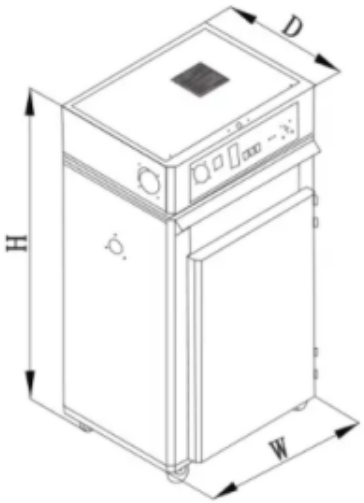
El análisis de la relación entre la concentración de cafeína (ppm), el porcentaje de humedad (m/m) de las muestras de borra de café y el tiempo de extracción (min) se realizó gráficamente como se muestra en la figura N tomando como referencia los datos que se observan en el Cuadro 11 para determinar los factores que maximizan la concentración de cafeína (ppm) en las muestras de borra de café. Las columnas de color verde representan las extracciones con duración de 181.5 minutos, y las columnas azules representan tiempos de extracción menores a 130 minutos. A diferencia de la Figura 11, en esta ocasión no se tomó en cuenta el porcentaje de humedad del 40% debido a la cantidad de borra de café utilizada para la extracción.

D. Fichas técnicas

Figura 17. Ficha técnica de secador de bandejas

FICHA TÉCNICA DE SECADOR DE BANDEJAS		
Nombre de secador	SB-01	
	UNIDADES	DATOS
Modelo		CD-5
Material a secar		Borra de Café
Potencia de calentador	kW	4
Potencia de secador	kW, 50/60 Hz	0,37/ 0,55
Temperatura máxima	°C	200
Cantidad de bandejas	N/A	5
Capacidad de material a secar	kg	50
Peso neto del equipo	kg	150
DIMENSIONES EXTERNAS		
Altura (H)	m	1,2
Profundidad (D)	m	0,61
Ancho (W)	m	0,8
DIMENSIONES INTERNAS		
Altura	m	0,66
Profundidad	m	0,55
Ancho	m	0,6
INCLUYE		
P.I.D para el control preciso de la temperatura.		
Puerta aislante a prueba de aire para mantener la temperatura interior constante		
Bandejas y revestimiento de acero inoxidable		
Temporizador de 24 horas		
Protector de sobrecalentamiento		
Relé de sobrecarga del motor		
Alarma visible		
Corte de energía al exceder la temperatura de secado		

IMAGEN DE EQUIPO



(Iceq, 2022).

Figura 18. Ficha técnica de molino de martillos

FICHA TÉCNICA DE MOLINO DE MARTILLOS		
Nombre de molino	MM-01	
	UNIDADES	DATOS
Modelo		MMV 06
Material a moler		Borra de Café seca
Número de martillos	N/A	16
Producción	kg/h	50-300
Peso estimado del equipo	kg	70
Criba	mesh	80
Velocidad máxima	rpm	1750
Potencia de motor	hp	3
Sistema de molienda	N/A	Martillos oscilantes
Alimentación de red	N/A	Trifásica
Material del molino y martillos	N/A	Acero inox.
DIMENSIONES		
Cámara de molienda	m	1,2
Tolva de carga	m	0,3

IMAGEN DE EQUIPO

(Veryco, 2022).

Figura 19. Ficha técnica de extractor y concentrador de aceite de borra de café

FICHA TÉCNICA DE SOXHLET INDUSTRIAL		
Nombre de Extractor	EC-01	
	UNIDADES	DATOS
Modelo		DNT-100
EXTRACTOR		
Volumen del tanque	L	110
Área de calentamiento	m²	0,52
Presión de chaqueta	MPa	0,3
Presión de concha	MPa	atm
TANQUE MULTIFUNCIONAL		
Volumen del tanque	L	130
Área del intercambiador de calor	m²	0,7
Potencia del motor del agitador	kW	0,37
EVAPORADOR DE EFECTO SIMPLE		
Área de calentamiento	m²	0,85
Área de enfriamiento del condensador	m²	2
Potencia del motor del agitador	kW	0,37
Potencia de bomba de vacío	kW	1,5
Potencia de bomba de transferencia de fluido	kW	0,37
Consumo de vapor	kg/h	100
Consumo de agua de enfriamiento	T/h	2
DIMENSIONES		
Altura	m	2,35
Ancho	m	0,8
Largo	m	2,45

IMAGEN DEL EQUIPO

(Joston, 2022).

Figura 20. Ficha técnica de tanque de agitación

FICHA TÉCNICA DE TANQUE DE AGITACIÓN			IMAGEN DEL EQUIPO
Nombre de tanque	TM-01		
	UNIDADES	DATOS	
Modelo		MMV 06	
Viscosidad de cosmético	cP	1000-3200	
Material	N/A	Acero Inox	
Peso	kg	500	
Capacidad	L	100	
Potencia del motor	kW	0,55	
Altura del tanque	m	0,5	
Diámetro del tanque	m	0,55	
Velocidad del mezclador	RPM	0-120	
Temperatura máxima de operación	ºC	160	
Presión máxima de operación	Mpa	0,09	

(Qiangzhong, 2022)

Figura 21. Ficha técnica de embotelladora

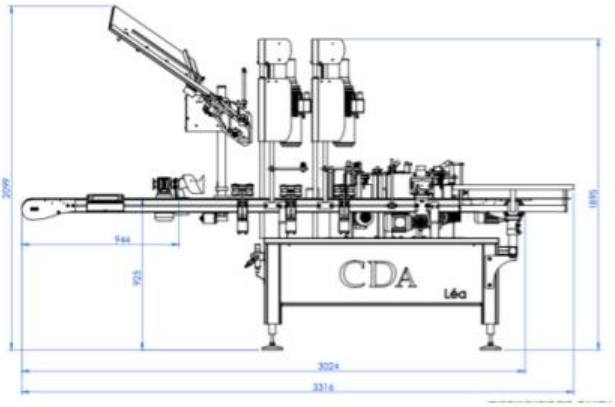
FICHA TÉCNICA DE EMBOTELLADORA			IMAGEN DEL EQUIPO
Nombre de embotelladora	EM-01		
	UNIDADES	DATOS	
Modelo		RVF (Reliance Machinery)	
Aplicaciones	Perfumes, aceites escenciales y esencias		
Rango de llenado	mL	1-50	
Sistema operativo	N/A	Automático	
Precisión de llenado	%	1	
Bomba	N/A	Tipo pistón	
Volumen tanque	L	50-100	
Unidad de prensado	N/A	2 cabezas	
Potencia del motor de cinta transportadora	kW	0.75	
Envases a llenar	N/A	Botellas de vidrio, vial, tubos.	
Material de embotelladora	N/A	Acero inoxidable	
Consumo total de energía	kW	1.5	
Consumo máximo de aire	kg	7	
Alimentación eléctrica	V	220 monofásico, 110 monofásico/ 50 Hz	
Peso	kg	800	
Salida	Botellas/minuto	25-60	
SENSORES ADICIONALES			
Sensor de ausencia de botella			
Sensor de ausencia de llenado			
Sensor de ausencia de Roller On			
Sensor de ausencia de tapa			
DIMENSIONES			
Altura	m	1,75	
Ancho	m	1,5	
Largo	m	2,8	

(Reliance, 2022)

Figura 22. Ficha técnica de etiquetadora

FICHA TÉCNICA DE ETIQUETADORA		
Nombre de etiquetadora	ET-01	
CARACTERÍSTICA	UNIDADES	DATOS
Potencia consumida	kw	2
Consumo máximo de Aire	L/h	20
Temperatura ideal de funcionamiento	ºC	Entre 10 y 30
Mando	-	Por pantalla táctil
Capacidad	botellas/h	2000
Suministro eléctrico	Trifásico: 380 V - 50Hz, 16A + tierra 16A, 220 V - 50Hz, 16A	
TRANSPORTADOR MOTORIZADO		
Ancho de cadena a palas de acetal	m	0,0825
Diámetro de guías laterales	m	0,012
Diámetro de mesa de recolección rotativa	m	0,70
DISPENSADOR DE CÁPSULAS		
Diámetro de cápsulas	m	0,03
Largo de cápsulas	m	De 0.03 a 0.055
ETIQUETADO		
Dispensador de etiqueta		
Altura de etiqueta	m	De 0.008 a 0.3
PANTALLA TÁCTIL		
Zona de validaciones		
Zona de navegación		
Zona del contador de botellas		
Regulación del posicionado de las etiquetas		
Memorizado de posicionadoso		
Detección de fallos y autodiagnóstico		
DIMENSIONES DE MÁQUINA		
Altura	m	2,055
Ancho	m	1,565
Largo	m	2,566
Alto transportador	m	0,925

IMÁGENES DEL EQUIPO



(Chabot Delrieu Associés, 2022)

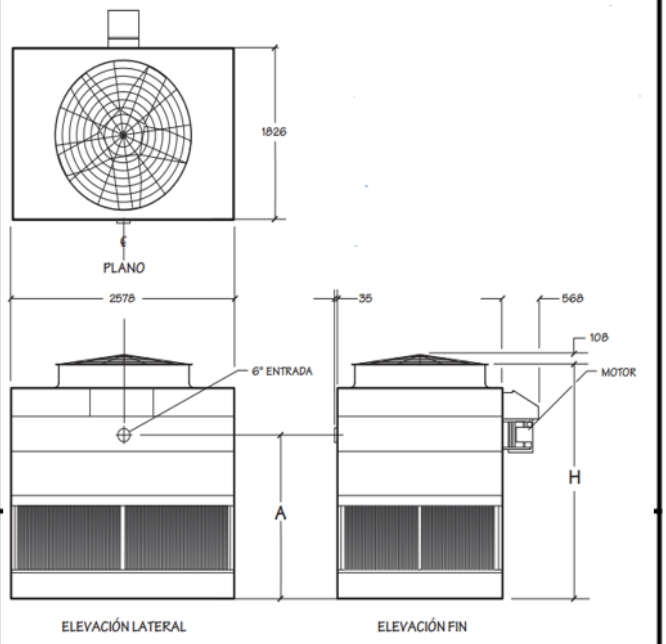
Figura 23. Ficha técnica de torre de enfriamiento

FICHA TÉCNICA DE TORRE DE ENFRIAMIENTO

Nombre de torre TE-01

	UNIDADES	DATOS
Modelo		MD5006HAC1L
Motor	kW	2.2
Peso operativo de diseño	kg	2315
Toneladas nominales	89	
DIMENSIONES EXTERNAS		
H	m	3.178
A	m	2.188
Peso del transporte		
Peso de celda	kg	1306
Sección más pesada	kg	740

IMAGEN DE EQUIPO



(SPX Corporation, 2017).

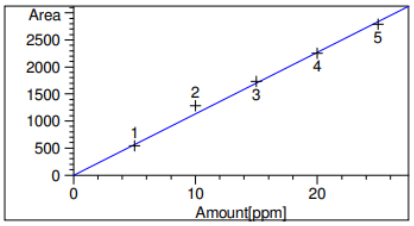
E. Imágenes adicionales

Figura 24. Curva de calibración de estándar de cafeína

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=272 nm

RetTime [min]	Sig	Lvl	Amount [ppm]	Area	Amt/Area	Ref	Grp	Name
2.662	1	1	5.00000	544.74237	9.17865e-3			CAFEINA
		2	10.00000	1282.10266	7.79969e-3			
		3	15.00000	1734.64038	8.64733e-3			
		4	20.00000	2257.14868	8.86074e-3			
		5	25.00000	2791.81299	8.95475e-3			

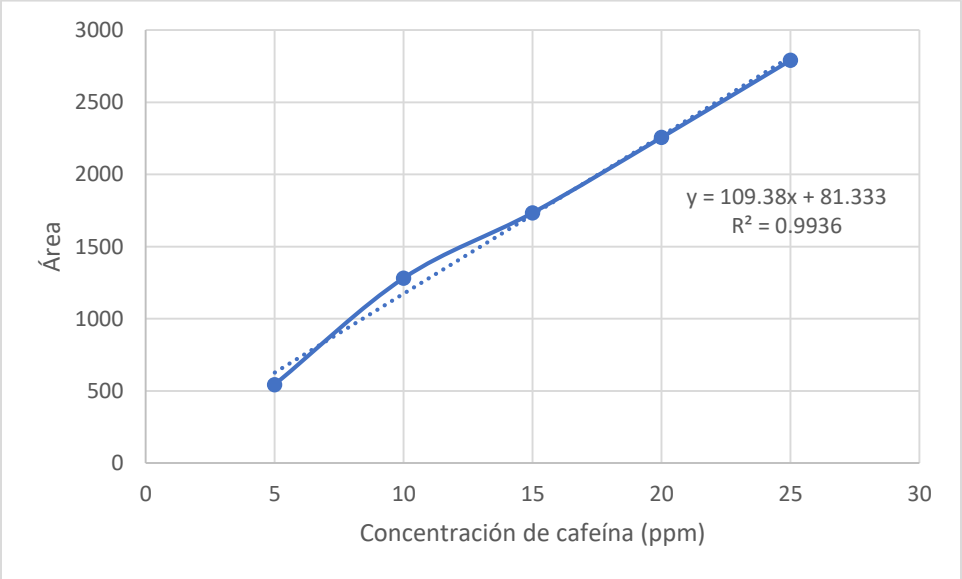
Calibration Curves



CAFEINA at exp. RT: 2.662
VWD1 A, Wavelength=272 nm
Correlation: 0.99929
Residual Std. Dev.: 79.53250
Formula: y = mx
m: 113.82010
x: Amount[ppm]
y: Area

En la Figura 24 se muestran las áreas obtenidas para cada concentración de estándar de cafeína leída en HPLC. Estos datos fueron tomados de referencia para obtener la ecuación de la recta de la Figura 25 y su posterior uso para el cálculo de propagación de error de las concentraciones de cafeína leídas.

Figura 25. Gráfica de concentración de cafeína (ppm) respecto al Área.



Se obtuvo la ecuación de la recta graficando la concentración de cafeína (ppm) respecto al área, obtenidos de la Figura 24, para el cálculo relacionado a la propagación de error de las lecturas realizadas por el HPLC.

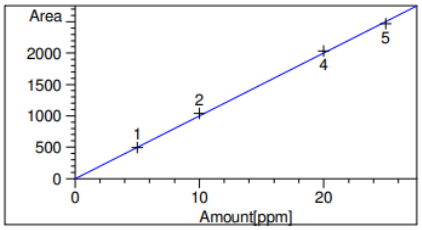
Figura 26. Curva de calibración de estándar de ácido clorogénico

RetTime [min]	Sig	Lvl	Amount [ppm]	Area	Amt/Area	Ref	Grp	Name
0.921	1	1	5.00000	496.44791	1.00716e-2			Acido clorogenico
		2	10.00000	1041.64380	9.60021e-3			
		4	20.00000	2035.55310	9.82534e-3			
		5	25.00000	2471.97363	1.01134e-2			

More compound-specific settings:

Compound: Acido clorogenico
Time Window : From 0.768 min To 1.268 min

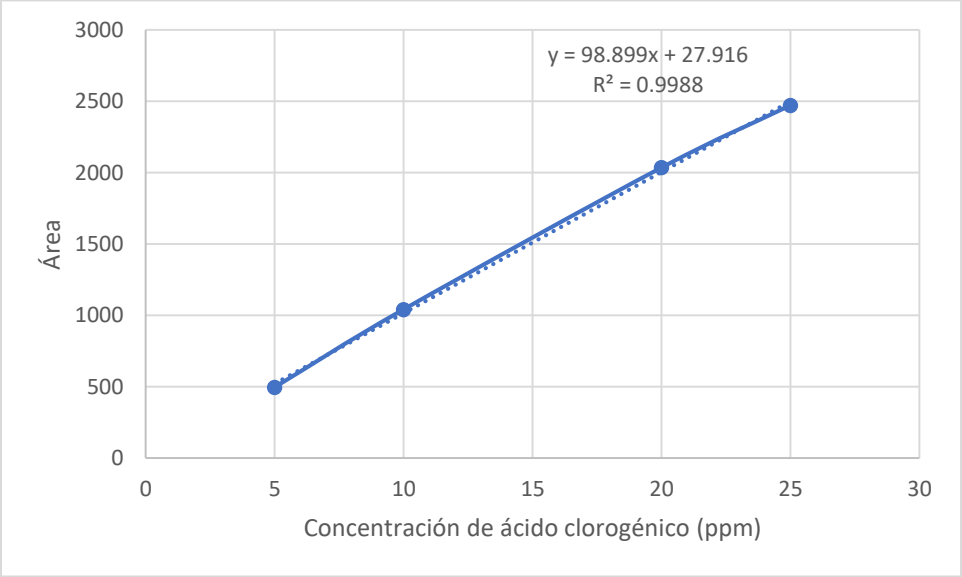
Calibration Curves



Acido clorogenico at exp. RT: 0.921
VWD1 A, Wavelength=325 nm
Correlation: 0.99984
Residual Std. Dev.: 34.88459
Formula: y = mx
m: 100.35572
x: Amount[ppm]
y: Area

En la Figura 26 se muestran las áreas obtenidas para cada concentración de estándar de cafeína leída en HPLC. Estos datos fueron tomados de referencia para obtener la ecuación de la recta de la Figura 27 y su posterior uso para el cálculo de propagación de error de las concentraciones de ácido clorogénico leídas.

Figura 27. Gráfica de concentración de ácido clorogénico (ppm) respecto al área calculada con HPLC



Se obtuvo la ecuación de la recta graficando la concentración de ácido clorogénico (ppm) respecto al área, obtenidos de la Figura 26, para el cálculo relacionado a la propagación de error de las lecturas realizadas por el HPLC

Figura 28. Percoladora Hamilton Beach.

(Fuente:Propia)

La percoladora utilizada para la elaboración de café fue una Hamilton Beach como la que se muestra en la Figura 28, con el fin de obtener borra de café para realizar la cuantificación de cafeína y ácido clorogénico.

Figura 29. Alimentación de borra de café en percoladora

(Fuente: propia)

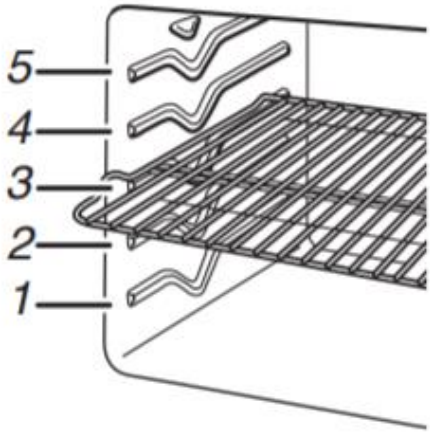
En la Figura 29, se muestra la balanza para medir la masa de café molido seca y para medir la masa de borra húmeda, de igual manera, se observa el medidor utilizado para agregar la cantidad de café molido deseado.

Figura 30. Sistema de percolación

(Fuente: propia)

En la Figura 30 se muestra el sistema armado para obtener la borra de café para los análisis de cuantificación de cafeína y ácido clorogénico.

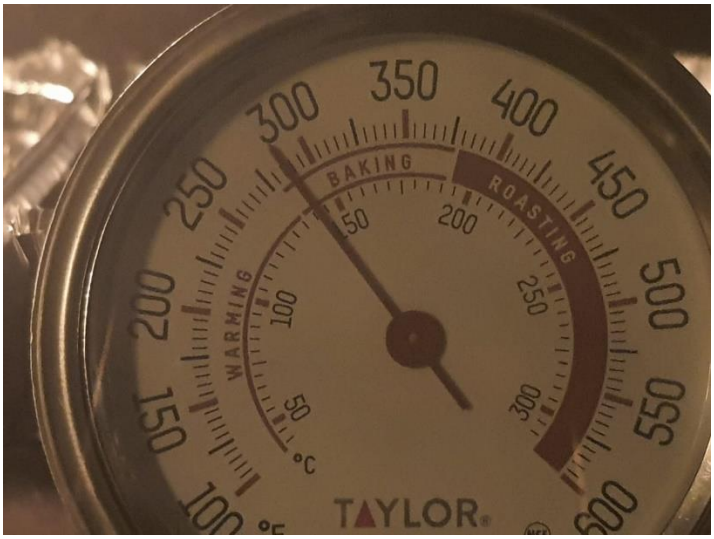
Figura 31. Posición de parilla dentro de un horno Whirlpool.



(Whirlpool, 2018).

Se configuraron las bandejas del horno de gas marca Whirlpool utilizado para el secado de las muestras de borra de café húmedo, en la posición 2 y 4 (ver Figura 31), con el fin de obtener un secado por convección.

Figura 32. Termómetro para horno.



(Fuente: propia)

En la Figura 32, se observa el termómetro para horno utilizado durante el proceso de secado para el análisis a escala laboratorio.

Figura 33. Borra de café seca

(Fuente: propia)

En la Figura 33 se muestra la borra de café después del proceso de secado en horno.

Figura 34. Determinación de porcentaje de humedad (m/m) empleando una balanza de humedad.

(Fuente: propia)

En la Figura 34, se muestra el sistema para determinar el porcentaje de humedad (m/m) para las muestras de borra seca.

Figura 35. Sistema de tamización de borra de café

(Fuente: propia)

El sistema para la clasificación del tamaño de partícula de las muestras de borra seca utilizando 5 diferentes tamaños de tamiz, se observa en la Figura 35.

Figura 36. Borra de café en diferentes tamices

(Fuente: propia)

En la Figura 36, se observan diferentes tamices con borra de café clasificados por tamaño de partícula.

Figura 37. Sistema de extracción

(Fuente: propia)

En la Figura 37, se observa el sistema soxhlet para la extracción sólido-líquido de la cafeína y el ácido clorogénico.

Figura 38. Sistema de evaporación

(Fuente: propia)

En la Figura 38 se muestra el sistema de evaporación empleado para la concentración de aceite extraído de la borra de café, con recirculación de agua para ahorrar al máximo los recursos disponibles.

Figura 39. Lectura de pH en muestra No. 3 de sérum facial

(Fuente: propia)

El potenciómetro PCSTestr 35 fue utilizado para la lectura de pH de las muestras de sérum facial elaboradas. El resultado se expuso en el Cuadro 23.

Figura 40. Lectura de pH en muestra No. 2 de sérum facial

(Fuente: propia)

El potenciómetro PCSTestr 35 fue utilizado para la lectura de pH de las muestras de sérum facial elaboradas. El resultado se expuso en el Cuadro 23.

Figura 41. Lectura de pH en muestra No.3 de sérum facial

(Fuente: propia)

El potenciómetro PCSTestr 35 fue utilizado para la lectura de pH de las muestras de sérum facial elaboradas. El resultado se expuso en el Cuadro 23.

Figura 42. Lectura de pH en muestra No.4 de sérum facial

(Fuente: propia)

El potenciómetro PCSTestr 35 fue utilizado para la lectura de pH de las muestras de sérum facial elaboradas. El resultado se expuso en el Cuadro 23.

Figura 43. Lectura de masa de envase para sérum facial

(Fuente: propia)

La Figura 43 muestra un ejemplo de la medición de la masa del envase utilizado para sérum. De la misma manera se midió la masa del sérum final.

Figura 44. Lectura de masa de aceite extraído de borra de café

(Fuente: propia)

La Figura 44 muestra cómo se llevó a cabo la medición de la masa del aceite extraído de la borra de café.

Figura 45. Centrífuga utilizada para la purificación de aceite para análisis HPLC.

(Fuente: propia)

En la Figura 45 se observa el equipo empleado para centrifugar las muestras de aceite extraído de la borra de café para separar el material orgánico sólido de la superficie y lograr una lectura en el HPLC más precisa.

Figura 46. Muestra de extracto de borra de café para análisis de HPLC

(Fuente: propia)

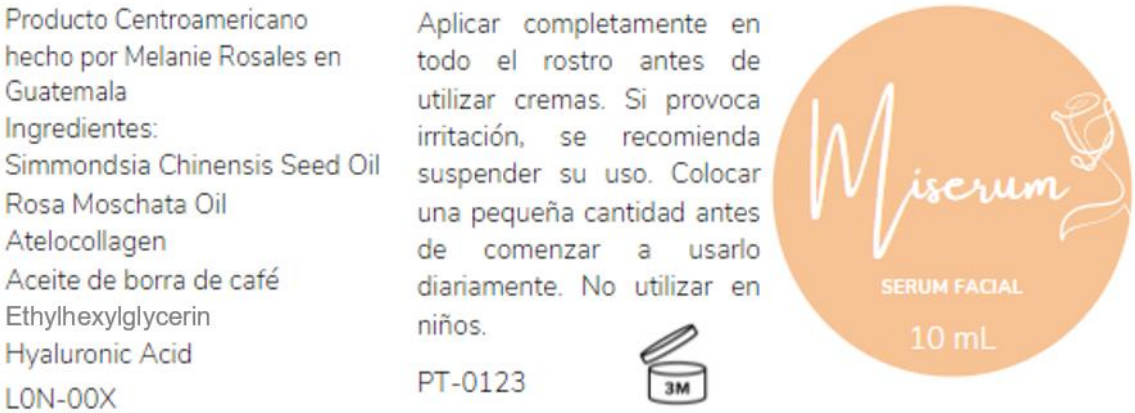
En la Figura 46 se observa una muestra de aceite de borra de café diluida y sin centrifugar.

Figura 47. Envase seleccionado para contener el sérum facial

(Fuente: Mr Qui, 2022.)

Se utilizó el envase de vidrio de la Figura 47, para contener el sérum facial elaborado debido a las características de conservación que muestra el vidrio.

Figura 48. Etiqueta de sérum facial



(Fuente: propia)

La Figura 48 muestra un ejemplo de la etiqueta que se utilizaría en el sérum facial final.

Figura 49. Prensa para remoción de agua en exceso de borra de café

(Amazon, 2022).