



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**OBTENCIÓN DE UN INGREDIENTE ALIMENTARIO A  
PARTIR DE SUERO LÁCTEO Y BORRA DE CAFÉ.**

**JUAN CAMILO OSORIO ARIAS**

Universidad de Antioquia

Facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias

Medellín, Colombia.

2019.



**OBTENCIÓN DE UN INGREDIENTE ALIMENTARIO A PARTIR DE SUERO  
LÁCTEO Y BORRA DE CAFÉ.**

**JUAN CAMILO OSORIO ARIAS**

Tesis presentada como requisito parcial para optar el título de:  
Doctor en ciencias farmacéuticas y alimentarias.

Directores

PhD. José Del Carmen Contreras Calderón.

Doctor en Farmacia.

PhD. Oscar Alfonso Vega Castro.

Doctor en Ingeniería.

Línea de investigación:

Aprovechamiento de residuos agroindustriales.

Grupo de investigación:

Bioteología de alimentos BIOALI.

Universidad de Antioquia

Facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias

Medellín, Colombia.

2019.

ESTA TESIS FUE FINANCIADA CON RECURSOS DE:  
EL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E  
INNOVACIÓN (COLCIENCIAS) A TRAVES DE LA CONVOCATORIA 727 DE 2015.

*Dedicatoria.*

*A mi abuela Ana María,  
mis Padres Martha y Fabio,  
mis hermanas Lina y Sandra,  
y mis sobrinos Juan, Nata, David y Santi  
que son el motor de mi vida.*

*Especial dedicatoria y agradecimiento a Juli,  
el apoyo incondicional que me ha brindado  
ha sido fundamental en mi vida.*

## CONTENIDO

<b>Listado de figuras .....</b>	<b>9</b>
<b>Listado de tablas .....</b>	<b>11</b>
<b>Listado de ecuaciones .....</b>	<b>12</b>
<b>Listado de anexos.....</b>	<b>13</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>14</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>16</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema y justificación.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>20</b>
1.2.1 Objetivo General.....	20
1.2.2 Objetivos Específicos.....	20
<b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Pérdida y desperdicio de alimentos.....</b>	<b>21</b>
2.1.1 Residuos y/o subproductos alimentarios/agroindustriales .....	22
2.1.2 Valoración de subproductos agroindustriales .....	24
<b>2.2 Suero lácteo .....</b>	<b>26</b>
2.2.1 Definición y composición del suero lácteo.....	26
2.2.2 Procesamiento industrial del suero lácteo.....	28
2.2.3 Otras aplicaciones .....	29
<b>2.3 Borra de café.....</b>	<b>31</b>
2.3.1 Café.....	31
2.3.2 Definición y composición de la borra de café .....	34
2.3.3 Usos de la borra de café .....	37
<b>2.4 Proceso de secado de los alimentos .....</b>	<b>39</b>
2.4.1 Secado convectivo .....	40
2.4.2 Secado por atomización .....	42
2.4.3 Efectos del secado sobre compuestos de valor .....	44
<b>3 MATERIALES, MÉTODOS Y DISEÑOS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>48</b>

<b>3.1</b>	<b>Descripción general de la investigación</b> .....	<b>48</b>
<b>3.2</b>	<b>Esquema general de la investigación</b> .....	<b>50</b>
<b>3.3</b>	<b>Materias primas</b> .....	<b>51</b>
3.3.1	Borra de café .....	51
3.3.2	Suero lácteo concentrado .....	51
<b>3.4</b>	<b>Métodos y diseños experimentales</b> .....	<b>51</b>
3.4.1	Objetivo específico 1 .....	52
3.4.1.1	Análisis proximal de las materias primas.....	52
3.4.2	Objetivo específico 2 .....	53
3.4.2.1	Secado convectivo de la borra de café .....	53
3.4.2.2	Determinación de compuestos antioxidantes .....	53
3.4.2.2.1	Preparación de la muestra.....	53
3.4.2.2.2	Ensayo – ABTS+ (2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzthiazolin-6-sulfonic acid).....	54
3.4.2.2.3	Contenido de polifenoles totales (CPT) .....	54
3.4.2.2.4	Determinación de ácidos clorogénicos (ACGs) .....	55
3.4.2.3	Determinación de cafeína.....	55
3.4.2.4	Capacidad de retención de agua .....	56
3.4.2.5	Capacidad de retención de aceite .....	56
3.4.2.6	Tamaño promedio de partícula.....	57
3.4.2.7	Diseño de Experimentos y análisis estadístico.....	57
3.4.3	Objetivo específico 3 .....	59
3.4.3.1	Secado por atomización.....	59
3.4.3.2	Determinación de lisina disponible .....	60
3.4.3.3	Determinación de Hidroximetilfurfural (HMF) y furfural .....	61
3.4.3.4	Índice de pardeamiento .....	61
3.4.3.5	Cafeína.....	61
3.4.3.6	Determinación de compuestos antioxidantes de las muestras en polvo .....	61
3.4.3.7	Capacidad de retención de aceite .....	62
3.4.3.8	Capacidad de formación y estabilidad de espuma.....	62
3.4.3.9	Microestructura electrónica de barrido.....	63
3.4.3.10	Calorimetría diferencial de barrido .....	63
3.4.3.11	Tamaño promedio de partícula.....	63
3.4.3.12	Densidad aparente .....	63
3.4.3.13	Diseño de experimentos y análisis estadístico .....	64
3.4.3.14	Caracterización del ingrediente en polvo desarrollado .....	65
3.4.3.14.1	Isotermas de sorción .....	65

3.4.3.14.2	Propiedades termodinámicas .....	66
3.4.3.14.3	Compuestos antioxidantes. ....	67
3.4.3.14.4	Perfil de aminoácidos.....	67
3.4.4	Objetivo específico 4 .....	68
3.4.4.1	Manufactura del yogur tipo set bajo en grasa.....	68
3.4.4.2	Contenido de proteína .....	69
3.4.4.3	Contenido de lisina disponible, polifenoles totales y capacidad antioxidante. ....	69
3.4.4.4	Producción de suero .....	69
3.4.4.5	Capacidad de retención del agua.....	69
3.4.4.6	Microestructura electrónica de barrido.....	70
3.4.4.7	Propiedades texturales.....	70
3.4.4.8	Propiedades reológicas.....	70
3.4.4.9	Diseño de experimentos y análisis estadístico .....	71
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>73</b>
<b>4.1</b>	<b>Análisis proximal de subproductos agroindustriales .....</b>	<b>73</b>
<b>4.2</b>	<b>Secado convectivo de la borra de café .....</b>	<b>75</b>
4.2.1	Efecto del secado sobre la difusividad efectiva de la borra de café.....	75
4.2.2	Humedad y Aw .....	76
4.2.3	Capacidad de retención de agua y aceite .....	77
4.2.4	Tamaño promedio de partícula .....	77
4.2.5	Cafeína y capacidad antioxidante .....	78
4.2.6	Optimización del proceso de secado convectivo de la borra de café.....	80
4.2.7	Cinética de degradación térmica de compuestos antioxidantes de la borra de café .....	82
4.2.8	Relevancia de los resultados obtenidos.....	88
<b>4.3</b>	<b>Obtención y caracterización de un ingrediente alimentario a partir de subproductos agroindustriales. ....</b>	<b>89</b>
4.3.1	Propiedades nutricionales y funcionales .....	89
4.3.1.1	Lisina disponible .....	90
4.3.1.2	Hidroximetilfurfural (HMF) y furfural.....	92
4.3.1.3	Índice de pardeamiento .....	93
4.3.1.4	Cafeína.....	94
4.3.1.5	Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles totales (CPT).....	95
4.3.1.6	Ácidos clorogénicos (ACGs).....	96
4.3.2	Propiedades fisicoquímicas.....	97
4.3.3	Propiedades tecnológicas (capacidad de retención de aceite, formación y estabilidad de espuma)	

4.3.4	Microestructura electrónica de barrido .....	101
4.3.5	Calorimetría diferencial de barrido (DSC) .....	103
4.3.6	Caracterización del ingrediente en polvo desarrollado.....	104
4.3.6.1	Caracterización fisicoquímica .....	105
4.3.6.2	Caracterización de compuestos antioxidantes .....	107
4.3.6.3	Perfil de aminoácidos .....	107
4.3.6.4	Isotermas de sorción y propiedades termodinámicas .....	109
4.3.7	Relevancia de los resultados obtenidos.....	112
<b>4.4</b>	<b>Aplicación del ingrediente alimentario desarrollado a partir de subproductos alimentarios.....</b>	<b>113</b>
4.4.1	Propiedades nutricionales y antioxidantes del yogur fortificado .....	113
4.4.1.1	Contenido proteico y lisina disponible.....	113
4.4.1.2	Propiedades Antioxidantes .....	116
4.4.2	Propiedades texturales, reológicas y estructurales.....	118
4.4.2.1	Producción de suero y capacidad de retención de agua .....	118
4.4.2.2	Firmeza, Trabajo y adhesividad del yogur .....	120
4.4.2.3	Características reológicas del yogur.....	123
4.4.2.4	Microestructura electrónica de barrido.....	128
4.4.3	Relevancia de los resultados obtenidos.....	130
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>131</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>133</b>



## Listado de figuras

Figura 1. Esquema pérdida y desperdicio de alimentos (Construcción propia). .....	22
Figura 2. Concepto de Bio-refinería. ....	25
Figura 3. Procesamiento inicial del suero lácteo. ....	28
Figura 4. Procesamiento final del suero lácteo. ....	29
Figura 5. Distribución de la producción mundial de café. ....	32
Figura 6. Zonas productoras de café en Colombia. ....	33
Figura 7. Estructura de ácidos clorogénicos. ....	37
Figura 8. Usos y composición de la borra de café. ....	38
Figura 9. Curva de secado de un sólido húmedo. ....	41
Figura 10. Esquema general de la investigación. Cada número corresponde a un objetivo específico. ....	50
Figura 11. Túnel de secado, Universidad de Antioquia. ....	53
Figura 12. Secado por atomización. Maquilesec. ....	59
Figura 13. Manufactura del yogur tipo set bajo en grasa. ....	68
Figura 14. Efectos principales de capacidad antioxidante. ....	79
Figura 15. Superficie de respuesta para optimización de secado convectivo, espesor de torta 1.28cm. ....	80
Figura 16. Contenido total de polifenoles (A), Capacidad antioxidante total (B) de muestras de borra de café sometidas a secado convectivo bajo diferentes condiciones de temperatura. ....	87
Figura 17. Isomerización posicional e hidrólisis de ácidos clorogénicos. ....	88
Figura 18. Muestras secado por atomización. ....	89
Figura 19. Lisina disponible de WC-SCG con diferentes porcentajes de borra de café (4, 10 y 16%). ....	91
Figura 20. HMF y Furfural de WC-SCG con diferentes porcentajes de borra de café (4, 10 y 16%). ....	92
Figura 21. Capacidad antioxidante y polifenoles totales de las muestras WC-SCG con diferentes porcentajes de borra de café (4, 10 y 16%). ....	95
Figura 22. Concentración de ácidos clorogénicos en Whey-SCG. ....	97
Figura 23. Imágenes de microestructura (SEM) de las muestras de borra deshidratada y WC-SCG. A-B: Borra de café deshidratada; C-D: mezcla 4% borra de café; E-F: mezcla 10% borra de café; G-H: mezcla 16% borra de café. Magnificación: x40, x100, x300 y x1000. ....	102
Figura 24. Ingrediente en polvo Whey-SCG. ....	105
Figura 25. Isotermas de sorción del ingrediente en polvo Whey-SCG. ....	110
Figura 26. Calor isostérico de sorción y propiedades termodinámicas del ingrediente en polvo Whey-SCG. ....	111
Figura 27. Contenido de proteína total (A) y Lisina disponible (B) de yogures fortificados con el ingrediente en polvo Whey-SCG. ....	114
Figura 28. Capacidad antioxidante de las muestras de yogur fortificadas con el ingrediente en polvo Whey-SCG. ....	117

Figura 29 Capacidad de retención de agua de las muestras de yogur enriquecidas con el ingrediente en polvo Whey-SCG.....	119
Figura 30 Trabajo, adhesividad y firmeza de las muestras de yogur enriquecidas con diferentes porcentajes de Whey-SCG.....	122
Figura 31 Viscosidad aparente a 1, 13 y 100 1/s de las muestras de yogur con diferentes porcentajes del ingrediente en polvo Whey-SCG.....	124
Figura 32. Módulo de almacenamiento (storage module, G') hallado por medio de un ensayo de Amplitud, frecuencia = 1 rad s-1.....	126
Figura 33. Ensayo de frecuencia de las muestras de yogur enriquecidas.....	127
Figura 34 Microestructura de las muestras de yogur fortificadas con Whey-SCG.....	129

## Listado de tablas

Tabla 1. Comparación composicional del suero dulce y suero ácido.....	27
Tabla 2. Composición química de la borra de café.....	35
Tabla 3. Diseño de experimentos secado convectivo de la borra de café.....	58
Tabla 4. Diseño de experimentos secado por atomización.....	64
Tabla 5. Diseño de experimentos yogur tipo set bajo en grasa.....	71
Tabla 6. Análisis proximal de residuos de borra de café y suero lácteo.....	73
Tabla 7. Resultados diseño de experimentos secado convectivo de la borra de café.....	75
Tabla 8. Composición de la borra de café deshidratada con condiciones óptimas de proceso.....	81
Tabla 9. Parámetros de la cinética de degradación térmica de la capacidad antioxidante, polifenoles totales y ácidos clorogénicos de la borra de café.....	83
Tabla 10. Actividad antioxidante y concentración de polifenoles totales y ácidos clorogénicos bajo diferentes condiciones de temperatura.....	84
Tabla 11. Lisina disponible, HMF, furfural, índice de pardeamiento, cafeína, capacidad antioxidante y polifenoles totales de WC-SCG.....	90
Tabla 12. Contenido de ácidos clorogénicos en las muestras de WC-SCG.....	96
Tabla 13. Resultados del diseño experimental del secado spray de las diferentes mezclas de suero concentrado y borra de café.....	98
Tabla 14. Calorimetría diferencial de barrido de diferentes mezclas de suero lácteo concentrado y borra de café.....	104
Tabla 15. Caracterización proximal del ingrediente en polvo Whey-SCG.....	105
Tabla 16. Caracterización de compuestos antioxidantes del ingrediente en polvo Whey-SCG.....	107
Tabla 17. Perfil de aminoácidos del ingrediente en polvo Whey-SCG.....	108
Tabla 18. Parámetros del modelo GAB.....	109
Tabla 19. Compuestos nutricionales y funcionales de yogures fortificados con el ingrediente en polvo Whey-SCG.....	114
Tabla 20. Producción de suero y capacidad de retención de agua de las muestras de yogur.....	118
Tabla 21. Análisis de textura del yogur.....	120
Tabla 22. Comportamiento al flujo de las muestras de yogur.....	123
Tabla 23. Características reológicas de las muestras de yogur.....	125

## Listado de ecuaciones

Ecuación 1. Ley de Fick para un alimento plano.....	41
Ecuación 2. Segunda ley de Fick simplificada para tiempos de secado prolongados. ....	42
Ecuación 3. Modelo de difusividad anómala.....	42
Ecuación 4. Capacidad de retención de agua (CRA).....	56
Ecuación 5. Capacidad de retención de aceite (CRO).....	56
Ecuación 6. Ecuación de segundo orden diseño de experimentos secado convectivo. ....	57
Ecuación 7. Modelo Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB).....	65
Ecuación 8. Ecuación de Clausius-Clapeyron. ....	66
Ecuación 9. Ecuación de calor de vaporización del agua pura. ....	66
Ecuación 10. Ecuación de energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ).....	66
Ecuación 11. Ecuación de entropía ( $\Delta S$ ).....	66
Ecuación 12 Capacidad de retención de agua en yogur.....	69
Ecuación 13. Modelo de Herschel-Buckley.....	71
Ecuación 14. Modelo matemático para el contenido de humedad.....	81
Ecuación 15. Modelo matemático para la actividad de agua.....	81
Ecuación 16. Modelo matemático para la capacidad antioxidante. ....	81
Ecuación 17. Modelo matemático para el coeficiente de difusión basado en la 2da ley de Fick. ....	81
Ecuación 18. Modelo matemático para el coeficiente de difusión de modelo anómalo. ....	81
Ecuación 19. Cinética de reacción de primer orden. ....	82
Ecuación 20. Ecuación de Arrhenius.....	82

## Listado de anexos.

Anexo 1. Tabla ANOVA diseño de experimentos secado convectivo .....	162
Anexo 2. Gráficos de Metodología Superficie de Respuesta y Soluciones encontradas para la función Deseabilidad en cada punto del diseño de experimentos de secado .....	163
Anexo 3. Tablas ANOVA y Pruebas de Múltiples Rangos para Densidad, cafeína, Aw, %Humedad, formación de espuma, estabilidad de espuma, Índice de pardeamiento, CPT, ACGs, ABTS, HMF, Furfural y Lisina disponible; de las muestras obtenidas por secado por atomización .....	164
Anexo 4. Tabla y cuadro de correlaciones de Pearson para el diseño de experimentos de secado por atomización .....	171
Anexo 5. DSC de diferentes muestras de polvo obtenido por secado por atomización .....	176
Anexo 6. Cromatograma de ácidos clorogénicos y Cafeína .....	177
Anexo 7. Fotografías de las diferentes muestras en polvo de la relación suero lácteo concentrado / borra de café deshidratada .....	179
Anexo 8. Perfil de aminoácidos. ....	180
Anexo 9. Ficha técnica Whey-SCG. ....	181
Anexo 10. Tabla ANOVA diseño de experimentos aplicación del ingrediente en una matriz láctea tipo yogur. ....	184
Anexo 11. Correlaciones de Pearson, muestras de yogur fortificado con el ingrediente alimentario. ....	185
Anexo 12. Fotografías de las diferentes muestras de yogur fortificado con el ingrediente desarrollado. ....	186
Anexo 13. Productos académicos del trabajo de investigación .....	187

## *Resumen*

El objetivo principal de la presente tesis fue desarrollar un ingrediente alimentario con potenciales propiedades funcionales y nutricionales; por medio de procesos de secado y mezclado, de subproductos agroindustriales como el suero lácteo y la borra de café; además de su aplicación en la formulación de un alimento lácteo tipo yogur. En términos generales, el proyecto de investigación se puede dividir en tres etapas principales, las cuales son: secado convectivo de la borra de café; obtención y caracterización del ingrediente alimentario empleando procesos de secado por atomización; y la aplicación del ingrediente desarrollado en una matriz láctea tipo yogur.

Durante el desarrollo del proyecto diferentes metodologías fueron empleadas. Es así como en la etapa inicial (secado convectivo de la borra de café), fue utilizada una metodología de superficie de respuesta; a través de un diseño de experimentos Box-Behnken con la finalidad de establecer las mejores condiciones de procesamiento. Una vez se obtuvo la borra de café deshidratada, ésta se empleó en procesos de mezclado con diferentes relaciones de suero lácteo concentrado; utilizando un diseño completamente aleatorizado. Una vez finalizados los procesos de secado por atomización, se determinó la mejor relación de suero lácteo y borra de café deshidratada, que permitiera obtener un producto con propiedades nutricionales, funcionales y tecnológicas superiores. Es importante aclarar que en ambos procesos de secado se evaluaron diferentes tipos de variables, las cuales incluyeron propiedades nutricionales, antioxidantes, fisicoquímicas, tecnológicas y termodinámicas. Finalmente, en la aplicación del producto, se empleó un diseño de experimentos completamente aleatorizado, evaluando el efecto de la fortificación de la base láctea con el ingrediente desarrollado en función de algunas propiedades nutricionales y reológicas.

En cuanto a los resultados obtenidos; las mejores condiciones de secado convectivo para la borra de café fueron 60 °C, 2.0 m/s, 1.28 cm; condiciones que permitieron retener 48% de la capacidad antioxidante. En el caso del secado por atomización, el ingrediente alimentario desarrollado presentó alto contenido de lisina disponible (4.41 g/100g de proteína) y aminoácidos esenciales como lo son: Isoleucina y Leucina (57.34 y 37.99 g/100g de proteína, respectivamente). Así mismo la concentración de ácidos clorogénicos fue de 151.2 mg/100g

de materia seca. En general, el ingrediente desarrollado es un producto microbiológicamente estable, con potencial efecto beneficioso para la salud, debido a la presencia de compuestos antioxidantes y aminoácidos. Finalmente, en la aplicación; la fortificación de la base láctea con el ingrediente desarrollado proporcionó yogures con valores significativamente más bajos de firmeza, Trabajo y módulo de almacenamiento (G') que las muestras control. Del mismo modo, los valores de proteína y lisina disponible fueron menores en las muestras de yogur fortificado con el ingrediente. No obstante, todas las muestras presentaron capacidad antioxidante, la cual aumentó cuando el porcentaje de ingrediente aumentó en la fórmula. Las asociaciones y complejos de polifenoles y proteínas podrían explicar el comportamiento de la actividad reológica, textural y antioxidante de las muestras de yogur.

Palabras clave.

Suero lácteo concentrado, borra de café, lisina disponible, ácidos clorogénicos, complejos polifenoles-proteínas.

## *Abstract*

The main objective of this thesis was to develop a food ingredient with potential functional and nutritional properties, using drying and mixing processes of agro-industrial by-products such as whey concentrate and spent coffee ground. In addition, this ingredient was included and evaluated in the formulation of a dairy food type yogurt. In general, the research project can be divided into three main stages, 1) convective drying of spent coffee ground, 2) obtention and characterization of a novel food ingredient using spray dry processes, and the application of the ingredient developed in a yogurt matrix.

During the development of the project, different methodologies were employed. In the initial stage (convective drying of the spent coffee grounds), a response surface methodology was used, through a design of Box-Behnken experiments to establish the best processing conditions. Once the dried spent coffee ground was obtained, it was used in mixing processes with different ratios of concentrated whey, using a completely randomized design. Once the spray drying processes were finished, the best ratio of concentrated whey and dried spent coffee ground was determined, which would allow the obtention of a product with superior nutritional, functional and technological properties. It is important to clarify that in both drying processes different types of variables were evaluated, which included nutritional, antioxidant, physicochemical, technological and thermodynamic properties. Finally, in the application of the product, a completely randomized design of experiments was used, evaluating the effect of the fortification of the dairy base with the ingredient developed, based on some nutritional and rheological properties.

The best convective drying conditions for spent coffee ground were 60 °C, 2.0 m / s, 1.28 cm; conditions that allowed to retain 48% of the antioxidant capacity. In the case of spray drying, the food ingredient developed had a high content of available lysine (4.41 g / 100g of protein) and essential amino acids such as Isoleucine and Leucine (57.34 and 37.99 g / 100g of protein, respectively). Likewise, the concentration of chlorogenic acids was 151.2 mg / 100g of dry matter. In general, the developed ingredient is a microbiologically stable product, with a potential beneficial effect on health, due to the presence of antioxidant compounds, and amino acids. In the application; the fortification of the dairy base with the developed ingredient



provided yogurts with significantly lower values of firmness, hardness and storage modulus ( $G'$ ) compared to the control samples. Similarly, the available lysine and protein values were lower in the yogurt samples fortified with the ingredient. However, all samples showed antioxidant capacity, which increased when the percentage of the developed ingredient increased in the formula. The associations and complexes of polyphenols and proteins could explain the behavior of the rheological, textural and antioxidant activity of yogurt samples.

Keywords.

Whey concentrate, spent coffee ground, drying process, set type yogurt, available lysine, chlorogenic acids, complexes of polyphenols-protein.

## *1 INTRODUCCIÓN*

### 1.1 Planteamiento del problema y justificación.

De acuerdo con las proyecciones de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) para el año 2050, será necesario incrementar la producción mundial de alimentos en un 70% (FAO, 2009). Este hecho, crea la necesidad de aumentar la cantidad de alimentos básicos fundamentales como cereales, carne, leche, entre otros. Sin embargo, el incremento de la producción de alimentos podría tener una connotación negativa, dado que en la actualidad un tercio de los alimentos producidos para consumo humano, se pierde o desperdicia (FAO, 2015), impactando directamente la seguridad alimentaria y el medio ambiente. Dado lo anterior, se hace importante buscar alternativas que promuevan el consumo y producción responsable de alimentos, además de generar estrategias para reducir los indicadores asociados a su pérdida y desperdicio a lo largo de la cadena alimentaria.

Dentro de la industria de alimentos existen dos sectores de alto impacto económico, como son industria láctea y cafetera. En el caso específico de la industria láctea, la producción de queso, genera aproximadamente USD 105 mil millones; con una producción mundial estimada de 22 millones de toneladas anuales (Mollea, Marmo, & Bosco, 2013). Por otro lado, la industria del café genera USD 25 mil millones al año; con una producción mundial estimada de 9 millones de toneladas (ICO, 2018). Sin embargo, la producción tanto de queso como de café genera diferentes tipos de subproductos, siendo los más importantes el suero lácteo y la borra de café, respectivamente. Esta clase de subproductos impactan negativamente el medio ambiente cuando son arrojados a fuentes de agua, sistemas de alcantarillados y suelos, debido a su elevado contenido de materia orgánica (Prazeres, Carvalho, & Rivas, 2012). La mala disposición y manejo de éstos, genera el aumento en la demanda biológica de oxígeno (DBO) en fuentes hídricas (Chandrapala et al., 2016), reducción en el rendimiento de cosechas (Valencia & Ramírez, 2009), generación de lixiviados, además de ser generadores de plagas como sancudos y malos olores (Vega-Castro, 2016). No obstante, tanto el suero lácteo como la borra de café contienen altos porcentajes de compuestos nutricionales y funcionales, que los hace susceptibles de aprovechamiento en diferentes tipos de industrias.

En este sentido, el suero lácteo contiene principalmente lactosa y además de otros componentes tales como proteína, minerales, vitaminas y aminoácidos esenciales; de los cuales se han reportado en mayor proporción B-lactoglobulina, potasio, ácido pantoténico y lisina, respectivamente (Linden et al., 1996, Seo et al., 2016, Osorio et al., 2014; Zhang et al., 2016). En el caso de la borra de café, ésta contiene lípidos, carbohidratos y compuestos fenólicos (Xu, Wang, Liu, Yuan, & Gao, 2015), además de ser una buena fuente de proteínas, aminoácidos esenciales y fibra (Martinez-Saez et al., 2017). La presencia de esta clase de compuestos hace del suero lácteo y la borra de café, materiales atractivos para la formulación de ingredientes funcionales, con alto contenido de compuestos bioactivos y nutricionales.

Dado lo anterior, la presente tesis doctoral presenta alternativas de procesamiento para los subproductos de la industria láctea y del café, por medio del desarrollo de una materia prima alimentaria, aplicando procesos de secado y de mezclado. Además de su caracterización fisicoquímica y estructural, se incluye la formulación y análisis de un producto alimenticio, elaborado a partir del material obtenido. Con el desarrollo de esta clase de ingredientes y de nuevos alimentos, se contribuye a la solución de la problemática de la mala disposición y manejo de residuos y subproductos agroindustriales; generados en las industrias del queso y el café.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una materia prima en polvo con propiedades funcionales y nutricionales a partir de subproductos agroindustriales como el suero lácteo y la borra de café, además de su aplicación en la formulación de un alimento tipo yogur.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Objetivo específico 1.

Caracterizar algunas propiedades proximales del suero lácteo concentrado y la borra de café.

- Objetivo específico 2.

Establecer las mejores condiciones de secado convectivo que potencien algunas propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de la borra de café deshidratada.

- Objetivo específico 3.

Determinar la mejor relación de suero lácteo concentrado y borra de café deshidratada, que permita potenciar algunas propiedades fisicoquímicas, tecnológicas, nutricionales y funcionales de un polvo obtenido por secado spray.

- Objetivo específico 4.

Determinar el efecto de diferentes porcentajes de un polvo de borra de café y suero lácteo obtenido por secado spray, sobre algunas propiedades reológicas, texturales y nutricionales de un alimento lácteo tipo yogurt.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Pérdida y desperdicio de alimentos

Según datos publicados por la FAO, un tercio de los alimentos producidos para consumo humano (1.300 billones de toneladas aprox.), se pierden o desperdician cada año, con un costo cercano a USD 990 mil millones (FAO, 2015). Esta cifra es elevada, considerando que actualmente existen alrededor de 795 millones de personas en el mundo, sin acceso a suficientes alimentos para llevar una vida saludable y activa (FAO, FIDA, & PMA, 2015). En este contexto, la problemática de pérdida y desperdicio de alimentos ha recibido especial atención entre entes gubernamentales, académicos, privados y organizaciones internacionales; quienes buscan implementar acciones que permitan disminuir su impacto socio-económico y medioambiental (CEC, 2017), al igual que disminuir las cifras de inseguridad alimentaria a nivel mundial.

Para tal efecto, es necesario definir la diferencia entre pérdida y desperdicio de alimentos, de forma tal que permita abordar la problemática adecuadamente (figura 1). El *desperdicio de alimentos* hace referencia a aquellos alimentos que son descartados durante las etapas de venta y consumo. Por otra parte, la *pérdida de alimentos*, es definida como la generación de productos derivados de los alimentos durante los procesos de cosecha, producción, transformación y distribución (FAO, 2015).

Dada la definición anterior, la pérdida de alimentos en la industria alimentaria hace referencia a los llamados residuos y/o subproductos agroindustriales, los cuales en función de la industria generadora tienen características y componentes particulares, que cuando son dispuestos inadecuadamente, generan problemas al medio ambiente, agravando la problemática anteriormente expuesta. La figura 1 presenta el esquema general de pérdida y desperdicio de alimentos.

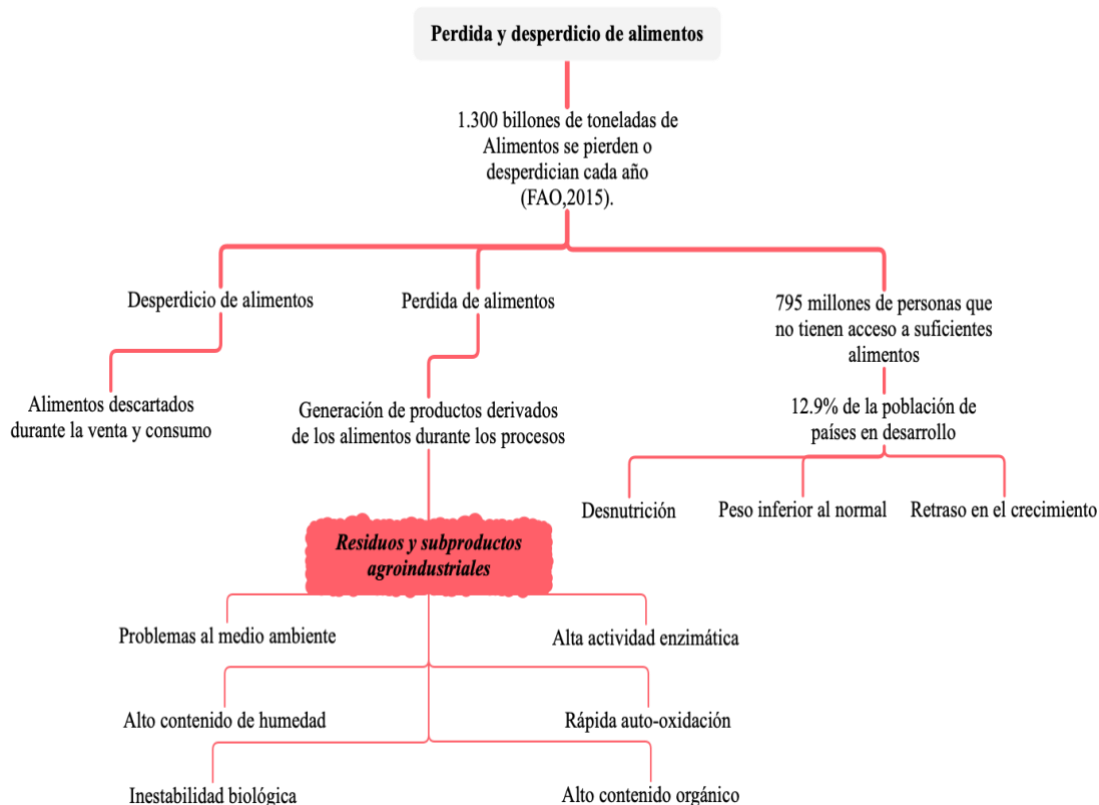


Figura 1. Esquema pérdida y desperdicio de alimentos (Construcción propia).

### 2.1.1 Residuos y/o subproductos alimentarios/agroindustriales

La industria alimentaria genera grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos biodegradables que contienen material orgánico (Nayak & Bhushan, 2019). Los subproductos alimentarios, se pueden definir como aquellos alimentos destinados para el consumo humano que son descartados, perdidos o contaminados (Giroto, Alibardi, & Cossu, 2015). Alternativamente, se definen como algún alimento o la parte no comestible de un alimento, que es removido o desviado de la cadena alimentaria y que debe recuperarse (Östergren et al., 2014). Por último, Lin et al., (2013), los entiende como los productos finales de diferentes tipos de industrias de procesamiento de alimentos que no han sido reciclados o utilizados para otros fines.

Los subproductos agroindustriales se generan en toda la cadena alimentaria, desde las etapas de cosecha y recolección, donde se pierden frutas y verduras dañadas, clasificadas como productos de baja calidad, hasta los procesos de transformación, manufactura y distribución;

donde se generan diferentes tipos de subproductos tales como: suero lácteo, pieles, sangre, semillas, cascara, borra de café, entre otros (Giroto et al., 2015; Parfitt, Barthel, & Macnaughton, 2010).

Los subproductos agroindustriales se caracterizan por ser materiales con alto contenido de humedad, inestabilidad biológica, alto contenido orgánico, rápida autooxidación y alta actividad enzimática (Russ & Meyer-Pittroff, 2004). La mala disposición y manejo de esta clase de materiales se traducen en problemas ambientales, como lo son: contaminación, alteración en la calidad de suelos y fuentes hídricas, proliferación de microorganismos patógenos, generación de malos olores y emisión de gases de efecto invernadero (Nayak & Bhushan, 2019; Thyberg, Tonjes, & Gurevitch, 2015). Asimismo, la generación de esta clase de residuos se ha relacionado con problemas sociales, debido a pérdidas económicas (Lipinski, Hanson, & Lomax, 2013; Papargyropoulou, Lozano, K. Steinberger, Wright, & Ujang, 2014).

La diversidad de procesos y productos de la industria alimentaria hace que esté asociada con la generación de gran variedad y cantidad de subproductos. Se ha reportado que en promedio la industria de bebidas y la industria láctea, aportan el 26 y 21.3% de subproductos, respectivamente; seguidos de la producción y conservación de frutas, vegetales y granos con una participación del 14.8%; finalmente, la industria cárnica, aceites vegetales, grasas y pescados aportan entre el 3.9 y 8% (Baiano, 2014).

La versatilidad de la industria alimentaria hace que los subproductos generados tengan diferencias en sus propiedades y composición, lo cual hace necesario caracterizarlos y encontrar métodos de disposición, manejo y aprovechamiento. Los subproductos agroindustriales se pueden clasificar en función de su procedencia: en subproductos derivados de animales y subproductos derivados de plantas. Los primeros, tales como sangre, huesos y pieles, requieren de estricto manejo sanitario, lo cual dificulta su aprovechamiento. Por su parte, los segundos representan menor riesgo biológico, lo cual favorece su aprovechamiento (Pfaltzgraff, De Bruyn, Cooper, Budarin, & Clark, 2013). Algunos ejemplos de subproductos derivados de plantas son: las harinas de semillas y lodos aceitosos derivados de la producción de aceites vegetales, las cáscaras y pulpa generadas en la producción de frutas, vegetales y

almidón; y finalmente, pulpa seca, hojas y tallos generados en la producción de azúcar (Pfaltzgraff et al., 2013).

La composición química de los subproductos agroindustriales los hace una fuente atractiva de productos de alto valor. Por tal motivo, durante los últimos años se han enfocado estudios en su caracterización, como fuentes de compuestos nutricionales y funcionales; con potencial aprovechamiento en la elaboración de nuevos productos alimenticios y farmacéuticos. Entre los compuestos de alto valor que se pueden encontrar en algunos de los subproductos de la industria alimentaria, están: los antioxidantes tales como ácido ascórbico, carotenoides, flavonoides y ácidos fenólicos, además de compuestos como lípidos, hemicelulosa, pectinas, almidones, azúcares, enzimas, colágeno, proteínas, péptidos bioactivos y fibra dietaria, entre otros (Kamiloglu et al., 2015; Ravindran & Jaiswal, 2016).

#### 2.1.2 Valoración de subproductos agroindustriales

Como se mencionó en el apartado anterior, los subproductos agroindustriales, pueden tener diversas propiedades las cuales los hace interesantes para su aprovechamientos. En ese sentido el concepto de bio-refinería se define como la búsqueda de nuevas fuentes de energía a partir del reciclaje y disposición de subproductos agroindustriales (ver figura 2) (Nayak & Bhushan, 2019). Por medio del concepto de bio-refinería, se han desarrollado productos tales como biocombustibles, biomasa, biofertilizantes, además de lograr la extracción de compuestos químicos secundarios de alto valor, a través de diferentes tipos de procesos biotecnológicos (Djilas, Čanadanović-Brunet, & Četković, 2009). Es así, como el aprovechamiento de subproductos agroindustriales permite mitigar el impacto medio ambiental de la industria alimentaria, ya que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, las cargas de disposición de material orgánico y brinda nuevas alternativas de fuentes energéticas (Pap, Pongrácz, Myllykoski, & Keiski, 2014).



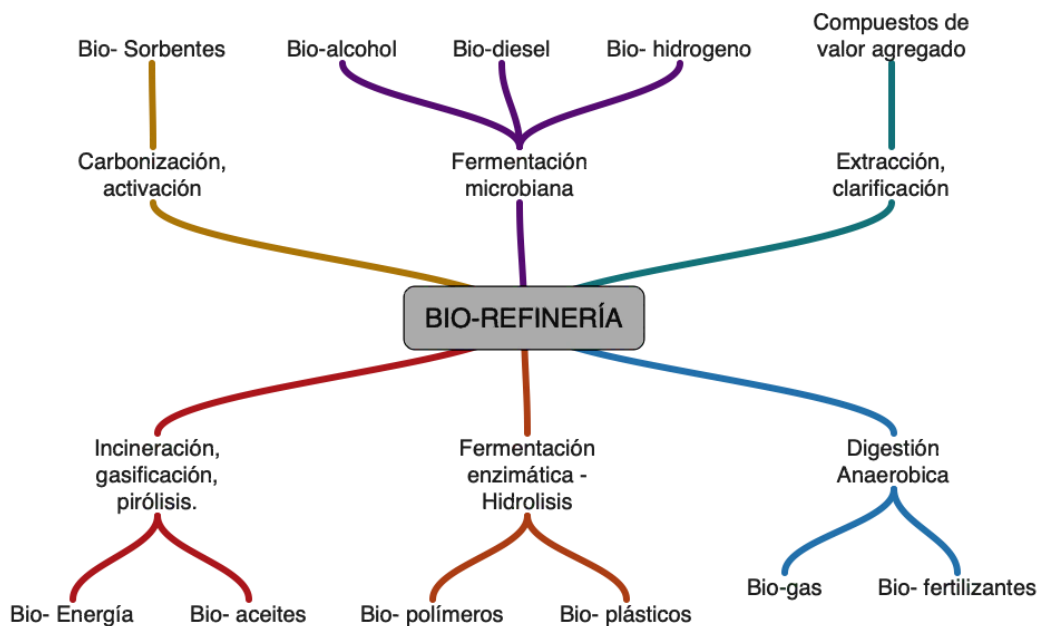


Figura 2. Concepto de Bio-refinería.

Fuente: (Nayak & Bhushan, 2019).

Dentro del concepto de bio-refinería, la generación, extracción o producción de compuestos de alto valor agregado ha sido foco de atención de la comunidad científica durante los últimos años. Entre otras razones, se debe a que los subproductos alimentarios son excelente fuente de compuestos bioactivos, con alto valor nutricional, funcional y potencial efecto benéfico en la salud (Iriundo-Dehond, Miguel, & del Castillo, 2018). El desarrollo de alimentos ricos en compuestos bioactivos ha cobrado gran relevancia, debido a la evolución de los hábitos y preferencias alimentarias de los consumidores, quienes han pasado de alimentos altamente procesados, con gran cantidad de aditivos sintéticos, a buscar alimentos naturales fuente de compuestos bioactivos (Iriundo-Dehond et al., 2018; USDA & HHS, 2015; Vanga, Singh, & Raghavan, 2017).

Algunos de los compuestos bioactivos que se han obtenido a partir de subproductos son: pectinas, proteínas, aceites esenciales (Vega-Castro, 2016), flavonoides, carotenoides (M'hiri, Ghali, Nasr, & Boudhrioua, 2018), hongos comestibles, fibra dietaria soluble e insoluble (López-Barrera, Vázquez-Sánchez, Loarca-Piña, & Campos-Vega, 2016), ácidos clorogénicos (Campos-Vega, Loarca-Piña, Vergara-Castañeda, & Dave Oomah, 2015), licopeno (Jurić, Ferrari, Velikov, & Donsì, 2019) y carotenoides, (Ravindran & Jaiswal, 2016), entre otros.

Para la obtención de dichos compuestos, se emplean procesos tales como: fermentación (Vega-Castro et al., 2016), secado (Goula & Lazarides, 2015), extracción (Pap et al., 2014) y digestión anaeróbica (Nayak & Bhushan, 2019), entre otros.

Entre los subproductos agroindustriales con potencial aprovechamiento, debido a su alto contenido de compuestos de valor, se encuentran el suero lácteo y la borra de café, derivados de la industria del queso y el café, respectivamente. Dichos subproductos, pueden ser empleados en la fabricación de materias primas, para diferentes tipos de productos alimentarios (Martinez-Saez et al., 2017; Osorio et al., 2014). A continuación, se hace una breve descripción de cada uno de ellos.

## 2.2 Suero lácteo

### 2.2.1 Definición y composición del suero lácteo

El suero lácteo es el mayor subproducto generado en la industria quesera y es definido por la norma técnica colombiana como el producto lácteo líquido que se obtiene durante la fabricación de queso, caseína o productos análogos, mediante la separación de la cuajada después de la coagulación de la leche (NTC-5098, 2002). El suero lácteo contiene cerca del 50 % de los nutrientes solubles de la leche tales como: lactosa, vitaminas, sales minerales y proteínas (Bylund, 1995; Chandrapala et al., 2016). La relación de producción de suero lácteo con respecto al queso es de 9:1, es decir, por cada kg de queso producido, se generan 9 kg de suero lácteo (Carvalho, Prazeres, & Rivas, 2013).

En relación con el dato anterior, se estima que la producción mundial de suero lácteo es de aproximadamente 190 millones de toneladas por año (t/año) (Mollea et al., 2013), y se espera que para el año 2025 la producción mundial de suero lácteo sea de 234 millones de toneladas (OECD & FAO, 2016). En países como Estados Unidos, la producción de suero lácteo es cercana a 2260 millones de t/año (USDA). En el caso específico de Colombia, la producción de suero lácteo es de aproximadamente 450 mil t/año (MinAgricultura, 2016).

El suero lácteo se puede clasificar como suero dulce y suero ácido, siendo su principal diferencia el valor de pH, debido a la forma de precipitación de las proteínas durante el proceso de elaboración del queso. El rango de pH del suero dulce se encuentra entre 5.9 y 6.6, mientras el suero ácido tiene un valor de pH que varía entre 4.3 y 4.6. Igualmente, se han reportado diferencias en el contenido de proteína, lactosa, ácido láctico y calcio entre ambas clases de suero (tabla 1) (Chandrapala et al., 2016).

Tabla 1. Comparación composicional del suero dulce y suero ácido.

<b>Componente</b>	<b>Suero dulce</b>	<b>Suero ácido</b>
pH	6.0 - 6.5	3.5 - 4.5
Proteína	0.65 - 0.96	0.37 - 0.65
Lactosa	3.9 - 4.8	4.2 - 4.9
Ácido láctico	0.005	0.6 - 0.7
Calcio	0.4 - 0.6	0.9 - 1.4

Fuente: (Blaschek, Wendorff, & Rankin, 2007).

En términos generales, el suero lácteo está compuesto por agua (93.1%), lactosa (4.9%), proteína (0.9%), cenizas (0.6%), grasa (0.3%), ácido láctico (0.1%) y vitaminas hidrosolubles (0.1%) (Valencia & Ramírez, 2009). El componente proteico es el de mayor interés comercial e industrial, debido a sus propiedades tecnológicas y nutricionales. Las principales proteínas que se encuentran en el suero lácteo son:  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -Lg),  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -La), suero albumino (SA), inmunoglobulinas (Igs), y en menor proporción lactoferrina, lacto peroxidasa y glicomacropéptidos (Deeth & Bansal, 2019).

Debido a que el suero lácteo es una fuente de compuestos de alto valor biológico y tecnológico; el mercado a nivel mundial de este producto ha generado ganancias de aproximadamente USD 12 mil millones para el año 2017, a través de la comercialización de suero en polvo y concentrados proteicos (Abd El-Salam & El-Shibiny, 2018). Estas cifras tienden a aumentar en los próximos años, debido a la creciente búsqueda de nuevas fuentes proteicas, que permitan la elaboración y comercialización de alimentos saludables. A pesar de los diferentes usos y aplicaciones del suero lácteo, los altos volúmenes de producción dificultan su disposición y aprovechamiento. Por tal motivo, el suero lácteo es calificado como una de las mayores fuentes

de contaminación al medio ambiente de la industria alimentaria, el cual, cuando es arrojado en fuentes de agua, alcantarillados y suelos, produce cambios en la demanda biológica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), lixiviación y pérdidas de cosechas (Carvalho et al., 2013).

### 2.2.2 Procesamiento industrial del suero lácteo

Actualmente a nivel industrial, se emplean diversos tratamientos para la transformación del suero lácteo. Uno de los más tradicionales, es el que implica una “limpieza”; la cual tiene por objetivo disminuir la carga microbiológica y separar partículas de caseína y grasa (Hinkova et al., 2012); para su posterior concentración y secado por aspersión (Bylund, 1995). Otros procesos utilizados son: la pasteurización, la separación de finos y grasa por medio de precipitación isoelectrica y centrifugación (compuestos grasos) (Bonnaillie & Tomasula, 2012) (figura 3).

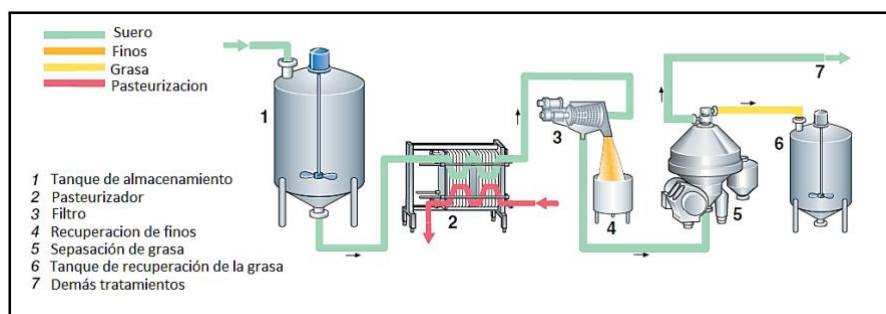


Figura 3. Procesamiento inicial del suero lácteo.

Fuente: (Bylund, 1995).

Una vez el suero lácteo es microbiológicamente seguro y libre de impurezas (remanentes de caseína y grasa), se emplean procesos de filtración, concentración y secado (figura 4). La elección del tipo de filtrado está en función del tipo de producto que se desea separar y retener. Industrialmente se emplean técnicas de ultrafiltración, microfiltración, electrodiálisis, nanofiltración y ósmosis inversa; las cuales permiten obtener productos como suero concentrado desmineralizado, deslactosado, concentrados de proteína, entre otros. Posteriormente, el suero lácteo es concentrado (45–60 brix) a través de procesos de

evaporación con vacío (Bylund, 1995). Finalmente, el suero lácteo concentrado es secado por atomización.

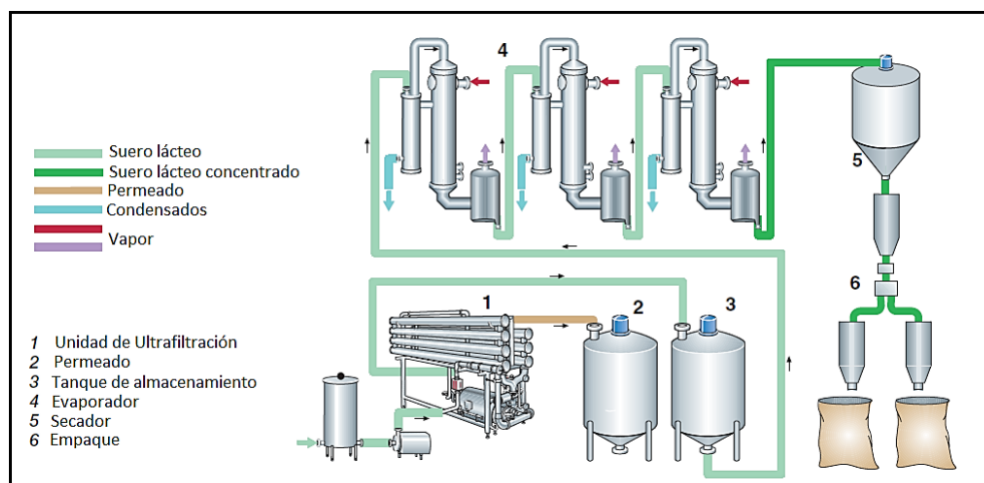


Figura 4. Procesamiento final del suero lácteo.

Fuente: (Bylund, 1995).

Una de las principales reacciones químicas que sufre el suero lácteo cuando es sometido a procesos con temperaturas elevadas (evaporación y secado), es la reacción de Maillard (RM) (Contreras-Calderón, Calderón-Jaimes, Guerra-Hernández, & García-Villanova, 2011); la cual ocasiona la desnaturalización parcial de las proteínas (Osorio et al., 2014) y por ende la disminución de su calidad nutricional. No obstante, algunas propiedades tecnológicas podrían verse favorecidas, tal es el caso de su propiedad emulsionante (Bernard, Regnault, Gendreau, Charbonneau, & Relkin, 2011).

### 2.2.3 Otras aplicaciones

Además del anterior aprovechamiento a nivel industrial, la presencia de compuestos de valor y su potencial comercial diversos estudios han buscado diferentes aplicaciones al suero lácteo. En ese sentido, se han desarrollado ingredientes funcionales, aplicaciones farmacéuticas, nutrientes dietéticos, alimentos saludables y enriquecimiento nutricional de alimentos (de Wit, 2001).

El suero lácteo ha sido empleado en la formulación de productos lácteos, tales como: yogur, quesos untables y bebidas fermentadas (E. Foegeding & Luck., 2002), entre otros. La industria cárnica emplea suero lácteo en polvo en la formulación de embutidos, como estabilizante de las emulsiones (Onwulata, Isobe, Tomasula, & Cooke, 2006). En la industria de panificación, el suero lácteo es usado por su capacidad de resaltar sabor, al igual que dar volumen y textura a las masas (Guerra, Castro, & Quintero, 2013).

Otra alternativa de uso del suero lácteo, está en el desarrollo de materias primas (alimentarias y no alimentarias), en la cual se busca maximizar algunas de las propiedades del suero como son: la capacidad de formar geles, espumas, estructuras fibrosas y emulsiones (Farrokhi, Ehsani, Badii, & Hashemi, 2018; Osorio et al., 2014; Z. Zhang et al., 2016). Finalmente, la fortificación nutricional de alimentos es una de las aplicaciones más comunes del suero lácteo, siendo usado en formulaciones de salsas, fideos, galletas y helados (E. A. Foegeding & Mleko, 2002; Muñi, Páez, Faría, Ferrer, & Ramones, 2005). Además, el suero lácteo se ha usado como vehículo encapsulante de compuestos fenólicos y microorganismos prebióticos como el *Lactobacillus plantarum*, por medio de técnicas de secado por atomización (Cvejić et al., 2017; Eckert et al., 2017).

Con respecto a la producción y obtención de otros compuestos a partir de suero lácteo, la literatura reporta la producción de etanol (Dragone, Mussatto, Almeida e Silva, & Teixeira, 2011) y ácidos orgánicos tales como ácido butírico, ácido propiónico y ácido acético (Alam, Stevens, & Bajpai, 1988). De igual manera, se tienen reportes del aprovechamiento del suero lácteo en la producción de biomasas y bacteriocinas, cuya funcionalidad es inhibir bacterias patógenas como es el caso de la *Listeria monocytogenes* (Moreno et al., 1997). Finalmente, en la industria farmacéutica se ha reportado la producción de compuestos como la lactulosa a partir de la lactosa obtenida por procesos de separación del suero lácteo; la cual es usada en el control del pH intestinal, actividad microbiana intestinal y excreción fecal (Seo et al., 2016).

A pesar de los grandes esfuerzos y amplias aplicaciones que se le ha otorgado al suero lácteo, este, aún es considerado un problema ambiental, lo cual conlleva a la búsqueda constante de

nuevas aplicaciones y procesos que permitan aprovechar y potencializar sus características en diferentes tipos de industrias.

## 2.3 Borra de café

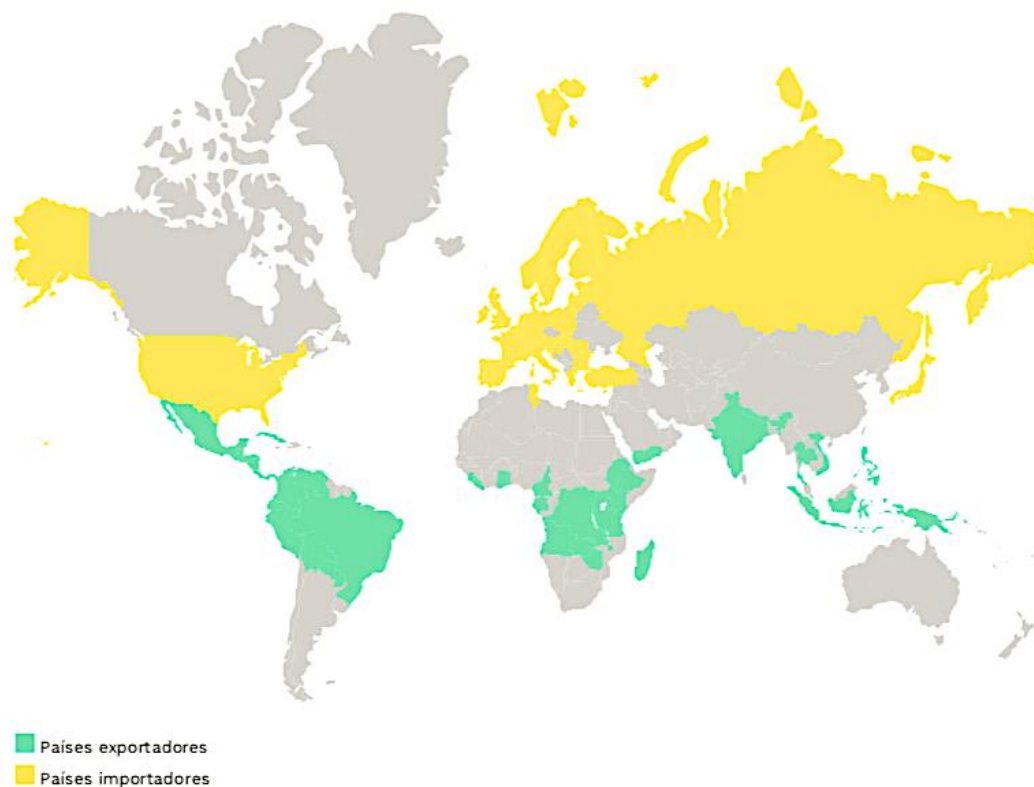
### 2.3.1 Café

La planta del café es un arbusto que pertenece a la familia de las rubiáceas y al género *Coffea*. Comprende 70 especies, de las cuales las más importantes son las variedades *Coffea* Arábica Linnaeus y *Coffea* Canephora Pierre, más conocidas como Arábica y Robusta, respectivamente (Echeverri, Buitrago, Montes, Mejía, & González, 2005). Sensorialmente, la variedad Arábica es más apreciada; sin embargo, la Robusta presenta mayor interés industrial debido a que presenta mayor concentración de sólidos solubles y cafeína (Alves, Rodrigues, Antónia Nunes, Vinha, & Oliveira, 2017).

El café es reconocido por sus propiedades estimulantes y por presentar efectos benéficos en la salud, principalmente en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Ranheim & Halvorsen, 2005). Dichas propiedades están relacionadas con la presencia de compuestos como la cafeína, trigonelina, ácido nicotínico, ácido quínico, serotonina, fibra dietaria, ácidos clorogénicos, compuestos fenólicos, melanoidinas, flavonoides, taninos y antioxidantes (Campos-Vega et al., 2015; Perrone et al., 2008; Contreras-Calderón et al., 2016; Cruz et al., 2014; Mehari et al., 2016); los cuales por sus características de solubilidad, son altamente bioaccesibles y biodisponibles.

El café es uno de los productos de mayor comercio y crecimiento económico a nivel mundial, y el producto más importante en la economía de aproximadamente 60 países productores (Esquivel & Jiménez, 2012; Rufián-Henares & Pastoriza, 2014). La producción mundial de café para el año 2017 fue de aproximadamente 150 millones de sacos, equivalentes a 25.000 millones de dólares (ICO, 2018). La distribución de la producción mundial de café tiene a Brasil como el principal productor a nivel mundial (30.16%), seguido de Vietnam (19.18%), Colombia (9.42%) e Indonesia (7.67%). Con menor participación se encuentran países como

Etiopía (4.46%), India (4.07%), Honduras (4.01%), Uganda (3.32%), México (2.72%) y Guatemala (2.37%) (ICO, 2018; Sunarharum, Williams, & Smyth, 2014) (figura 5).



*Figura 5. Distribución de la producción mundial de café.*

Fuente: (ICO, 2018).

En el caso de Colombia, la siembra de la variedad Arábica permite la cosecha y beneficio de cafés especiales de calidad superior. En Colombia el café se siembra en zonas con una altura promedio de 2.000 msnm y con una extensión de 900 mil hectáreas (figura 6) (Federación Nacional de Cafeteros, 2010). La producción nacional de café para los años 2016, 2017 y 2018 fue de 14.231, 13.824 y 14.200 sacos de 60 kg, respectivamente (ICO, 2018; MinAgricultura, 2016).





Figura 6. Zonas productoras de café en Colombia.

Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros, 2010).

La variedad de atributos sensoriales del café y su alta demanda ha permitido el desarrollo y comercialización de diferentes tipos de productos, como lo son el café tostado y molido, extractos de café, café instantáneo, saborizados y mezclas con productos lácteos. Sin embargo, durante la transformación e industrialización de los granos de café diferentes tipos de residuos y subproductos son generados, los cuales representan el 90% del fruto de café siendo considerados una importante fuente de contaminación y polución cuando son descartados en el medio ambiente (Iriondo-DeHond, Aparicio García, et al., 2019; Iriondo-DeHond et al., 2018).

Según lo anteriormente mencionado, en Colombia para el año 2018, la industria cafetera generó aproximadamente 7300 toneladas de subproductos, entre los cuales se encuentran: tallos, cascaras (epicarpio), mucilago, pergamino (endocarpio) y borra de café (Alves et al., 2017). El manejo, disposición y aprovechamiento de estos subproductos del café, son un punto de alto interés en la comunidad científica, y buscan la transformación de la industria cafetera, con procesos sostenibles de bajo impacto ambiental.

### 2.3.2 Definición y composición de la borra de café

La borra de café es el subproducto sólido generado en la producción industrial del café instantáneo, después del proceso de extracción de los sólidos solubles de los granos tostados y molidos, utilizando agua como único agente de extracción (Vignoli, Bassoli, & Benassi, 2011). Se estima que por cada kilogramo de café instantáneo producido se generan 2 kg de borra de café y que anualmente, se generan en promedio 6 millones de toneladas alrededor del mundo (Martinez-Saez et al., 2017). A lo anterior hay que sumarle que la borra de café también se produce en restaurantes, cafeterías y demás lugares de expendio de café; teniendo en cuenta que a nivel mundial anualmente se venden más de 400 billones de tazas de café, se hace complicado tener un estimativo exacto de la producción de borra de café en el mundo (Mussatto, Machado, Martins, & Teixeira, 2011).

Con respecto a la composición química de la borra de café, esta puede variar en función de: tipo de café, origen geográfico, edad de la planta y clima, además de las variables de proceso y método de preparación de la bebida (Murthy & Madhava Naidu, 2012). En la tabla 2, se presenta la composición química de la borra de café, reportada por diferentes autores, la cual contiene compuestos tales como proteína, ácidos grasos, lignina, polifenoles, polisacáridos, oligosacáridos, ácidos alifáticos, aminoácidos, cafeína y fibra dietaria (Franca, Oliveira, & Ferreira, 2009; Kovalcik, Obruca, & Marova, 2018; López-Barrera et al., 2016). De los cuales, algunos tienen actividad nutracéutica, antiinflamatoria y anti-alérgica (López-Barrera et al., 2016; Ramalakshmi, Rao, Takano-Ishikawa, & Goto, 2009; Xu et al., 2015).

La borra de café podría ser clasificada como buena fuente de fibra dietaria (FD), debido a la presencia de celulosa, hemicelulosa, galactomanosa y lignina; los cuales están relacionados con el mejoramiento de la salud gastrointestinal, reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y obesidad, además de poseer propiedades antioxidantes (Figuerola, Hurtado, Estévez, Chiffelle, & Asenjo, 2005).

Tabla 2. Composición química de la borra de café.

<b>Componente</b>	<b>A*</b>	<b>B**</b>	<b>C***</b>	<b>D****</b>
Carbohidratos	82	-	-	-
Celulosa	8.6	8.6	12.4	13.8 – 14.8
Hemicelulosa	36.7	36.7	39.1	-
Arabinosa	-	1.7	3.6	-
Galactosa	-	13.8	16.4	-
Manosa	-	21.2	19.1	-
Lignina	-	-	23.9	33.6
Humedad	11.7	-	-	65.7
Grasa	6	-	2.3	-
Fibra total	60.5	-	60.5	-
Soluble	-	-	9.7	-
Insoluble	-	-	50.8	-
Cenizas	1.6	1.6	1.3	1.91 - 2.2
Proteína	13.6	13.6	17.4	10.7 - 13.7
Nitrógeno	2.3	-	2.8	1.7 – 2.2
Cafeína	0.4	-	-	-
Taninos	0.02	-	-	-
Ácidos clorogénicos	11.4	-	-	-

Fuentes: \*: (Janissen & Huynh, 2018) g/100g; \*\*: (Mussatto, Machado, et al., 2011) g/100g; \*\*\*:(Ballesteros, Teixeira, & Mussatto, 2014) g/100g materia seca; \*\*\*\*: (Kourmentza, Economou, Tsafrakidou, & Kornaros, 2018) g/100g.

Otros compuestos de la borra de café son los lípidos, los cuales oscilan entre 10 y 30% en función de la forma de preparación y extracción de los sólidos solubles (Campos-Vega et al., 2015). Algunos de estos son: triacilglicerol, diterpenos (kahweol y cafestol), esteroides, tocoferol, además de ácidos grasos como palmítico, esteárico, oleico y linoleico (Iriondo-DeHond, Cornejo, et al., 2019). Estos compuestos están relacionados con propiedades benéficas para la salud como la reducción del colesterol, aterosclerosis y la prevención de enfermedades cardíacas (Iriondo-DeHond, Cornejo, et al., 2019).

La borra de café se destaca también por su contenido de cafeína, polifenoles y melanoidinas; los cuales están asociados con efectos benéficos en la salud (Araujo-Díaz, Leyva-Porras, Aguirre-Bañuelos, Álvarez-Salas, & Saavedra-Leos, 2017). La cafeína es un alcaloide y está relacionada con la disminución del riesgo de padecer enfermedades como la obesidad, diabetes tipo II y la disminución de las sintomatologías del Parkinson y el Alzheimer; además de tener

efectos sobre el sistema nervioso central (Carman, Dacks, Lane, Shineman, & Fillit, 2014; Hino et al., 2007; Trevitt, Kawa, Jalali, & Larsen, 2009).

Los polifenoles son compuestos antioxidantes que tienen la capacidad de inhibir radicales libres inestables o interrumpir procesos de auto oxidación, que generan reacciones en cadena causando daño celular (Araujo-Díaz et al., 2017; Brewer, 2011; Masisi, Beta, & Moghadasian, 2016). Por esta razón, el consumo de fuentes ricas en antioxidantes está asociado a la reducción de la incidencia de enfermedades causadas por el estrés oxidativo y la acción de radicales libres, tales como el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Méndez-Lagunas, Rodríguez-Ramírez, Cruz-Gracida, Sandoval-Torres, & Barriada-Bernal, 2017).

Entre los polifenoles presentes en la borra de café, los más importantes son los ácidos clorogénicos (Janissen & Huynh, 2018); los cuales, acorde a la literatura tienen propiedades antiinflamatorias, antivirales y antimicrobianas. (Ignat, Volf, & Popa, 2011; Naczk & Shahidi, 2006; Oancea, Turturică, Bahrim, Râpeanu, & Stănciuc, 2017). Además, los polifenoles presentan diversos efectos benéficos para la salud, tales como: evitar el daño oxidativo, reducir la inflamación, presentar actividad antitumoral y anti-alérgica; al igual que reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y metabólicas (Ramalakshmi et al., 2009; H. Zhang & Tsao, 2016). Así mismo, poseen propiedades antioxidantes, antibacterianas, Anti-cáncer, antiviral y hepatoprotectoras. Entre los ácidos fenólicos de la borra de café se encuentran: el ácido cafeico, el ácido ferúlico, el ácido p-cumárico y los ácidos clorogénicos (Kovalcik et al., 2018). Cabe anotar que los ácidos clorogénicos son los compuestos fenólicos más abundantes en el café, los cuales son solubles en agua y formados por la esterificación de los ácidos quínico y cafeico en los carbonos 3, 4 o 5 (Farah, 2012). La figura 7 presenta la estructura química de 6 ácidos clorogénicos.

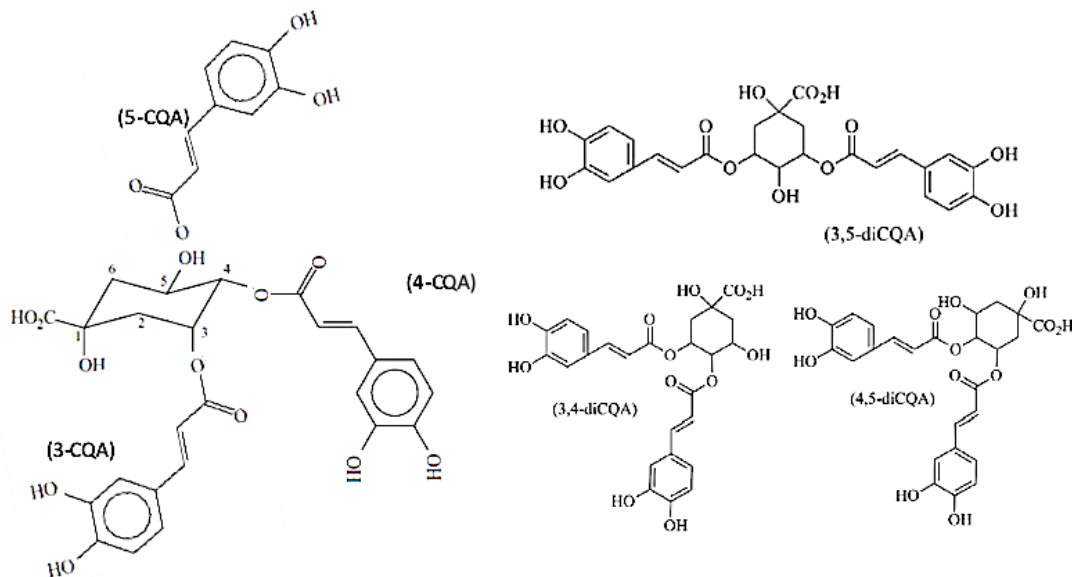


Figura 7. Estructura de ácidos clorogénicos.

Fuente: (Farah, 2012).

La presencia de diferentes grupos hidroxilo conjugados con los anillos aromáticos de la estructura química de los ácidos clorogénicos, los hace susceptibles de ser donantes de hidrógenos o electrones, actuando como neutralizantes de radicales libres y especies reactivas de oxígeno (H. Zhang & Tsao, 2016). La reacción de compuestos fenólicos con macromoléculas como las melanoidinas, a través de reacciones no covalentes, ha sido documentado como uno de los mecanismos que evitan reacciones de estrés oxidativo (Monente, Ludwig, Irigoyen, De Peña, & Cid, 2015).

Finalmente, la borra de café contiene melanoidinas, las cuales son compuestos de alto peso molecular, resultantes del pardeamiento no enzimático y caramelización durante el proceso de tostión del café; las melanoidinas contribuyen a la capacidad antioxidante y antimicrobiana de la borra de café (Kovalcik et al., 2018). La presencia de melanoidinas hace que la borra de café tenga alto potencial de aplicación y aprovechamiento en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética.

### 2.3.3 Usos de la borra de café

En función de las propiedades de la borra de café anteriormente descritas, diferentes aplicaciones han sido reportadas. Frecuentemente, la borra de café es utilizada como agente fertilizante y como ingrediente en alimentación animal (Murthy & Naidu, 2012). Así mismo, se han reportado aplicaciones en la extracción y producción de compuestos de alto valor, tales como hongos, enzimas, ácidos orgánicos, etanol y bio-combustibles (Janissen & Huynh, 2018) (figura 8).

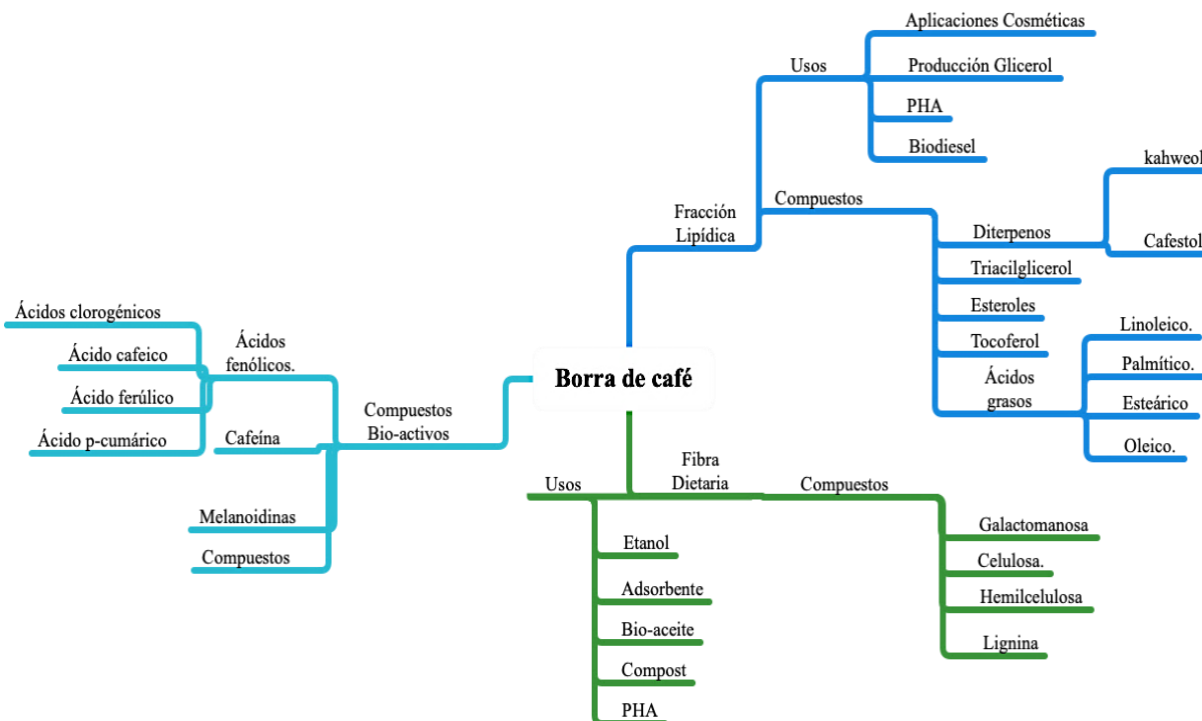


Figura 8. Usos y composición de la borra de café.

Entre los usos directos de la borra de café se tiene la generación de energía por medio de gasificación de biomásas (Pacioni et al., 2016). Generación de energía eléctrica a partir de borra de café, utilizando tecnología de celda de combustible de carbono de alta temperatura (Jang, Ocon, Lee, Lee, & Lee, 2015). Además, producción de biodiesel a partir de la fracción lipídica de la borra de café (Caetano, Caldeira, Martins, & Mata, 2017; Kondamudi, Mohapatra, & Misra, 2008).

De igual manera, algunos estudios han sido enfocados en la obtención de compuestos de valor a partir de la borra de café. Bravo et al., (2012), evaluaron la borra de café como fuente de cafeína, antioxidantes naturales, polifenoles y ácidos clorogénicos. Los autores reportaron que

esta clase de compuestos son fácilmente extraíbles con agua y se encuentran en mayor concentración en la variedad arábica.

Al-Dhabi et al., (2017), evaluaron el efecto del ultrasonido en la extracción y la cuantificación de compuestos bioactivos de la borra de café. Las condiciones óptimas de extracción para temperatura, tiempo y potencia fueron 40°C, 40 min y 244W respectivamente; dichas condiciones permitieron a los autores extraer 5.04 mg/g de ácidos clorogénicos y 33 mg/g de flavonoides. Martínez-Saez et al., (2017) utilizaron borra de café en la formulación de una galleta con alto valor nutricional y calidad sensorial. Dichos autores reportan que la borra de café es buena fuente de proteínas, aminoácidos esenciales y fibra dietaria insoluble, con alta capacidad antioxidante que no cambia las cualidades y características sensoriales de la galleta formulada. Finalmente, (Delgado-Arias, Zapata-Valencia, Cano-Agudelo, Osorio-Arias, & Vega-Castro, 2019) desarrollaron un producto cosmético (crema exfoliante) a partir de la incorporación borra de café.

#### 2.4 Proceso de secado de los alimentos

El secado es una de las operaciones unitarias más antigua y utilizada, la cual se basa en la aplicación de calor a un material bajo condiciones controladas para eliminar agua, reducir la actividad de agua ( $A_w$ ), inhibir el crecimiento microbiano y la actividad enzimática (Sabarez, 2016); además de facilitar procesos de almacenamiento, manejo y transporte (B. Bhandari, 2013). El secado es un fenómeno complejo que implica procesos de transferencia de momento, energía y masa (Onwude, Hashim, Janius, Nawi, & Abdan, 2016). La cinética de secado está determinado por la estructura del material a secar, además de su tamaño, espesor, contenido de humedad y dimensiones del producto; incluyendo los parámetros de variables de proceso tales como: temperatura, humedad en equilibrio, presión, tiempo de retención y velocidades de aire (Onwude et al., 2016).

Durante el proceso de secado pueden ocurrir cambios en la forma, tamaño, color, textura, aroma, así como la pérdida de compuestos nutricionales (Brennan, 2006) presentes en el material a deshidratar. Se han utilizado diferentes métodos de secado en el procesamiento de alimentos y subproductos agroindustriales, entre los cuales se encuentran: secado solar

(Aristizábal-Marulanda, Chacón-Perez, & Cardona Alzate, 2017), secado con aire caliente (convectivo) (Onwude et al., 2016), microondas (Hayat et al., 2010), secado por atomización (Osorio et al., 2014) y liofilización (Guiné, Pinho, & Barroca, 2011).

#### 2.4.1 Secado convectivo

El secado convectivo es uno de los métodos de secado más usado en la deshidratación de residuos agroindustriales sólidos, los cuales están en contacto con una corriente de aire caliente donde el calor es transferido a la superficie del alimento por convección (Brennan, 2006). Este tipo de proceso se caracteriza por que el sólido húmedo pasa por diferentes etapas (figura 9), generando una curva de secado característica. El secado convectivo ha sido usado en el aprovechamiento de diferentes residuos agroindustriales, tales como mandioca, calabaza, café y maracuyá (Duarte et al., 2017; Gan & Poh, 2014; Gómez-De La Cruz, Cruz-Peragón, Casanova-Peláez, & Palomar-Carnicero, 2015; Guiné et al., 2011)

En general, el proceso de secado se puede describir como lo muestra la figura 9; inicialmente, el periodo comprendido entre A-B (figura 9), corresponde a la etapa de equilibrio, donde el material se acondiciona a las temperatura de secado, esta etapa es corta. Posteriormente, sigue la etapa entre los puntos B-C (figura 9), la cual es conocida como periodo de secado constante, donde la superficie del sólido se encuentra saturada con agua, debido al movimiento de las moléculas de agua desde el centro a la superficie del sólido. Cuando se pierde la saturación de humedad en la superficie, el proceso llega al periodo C-E (figura 9) o periodo de secado decreciente, en el cual se generan daños por calor, pues la temperatura superficial del sólido aumenta (Brennan, 2006).



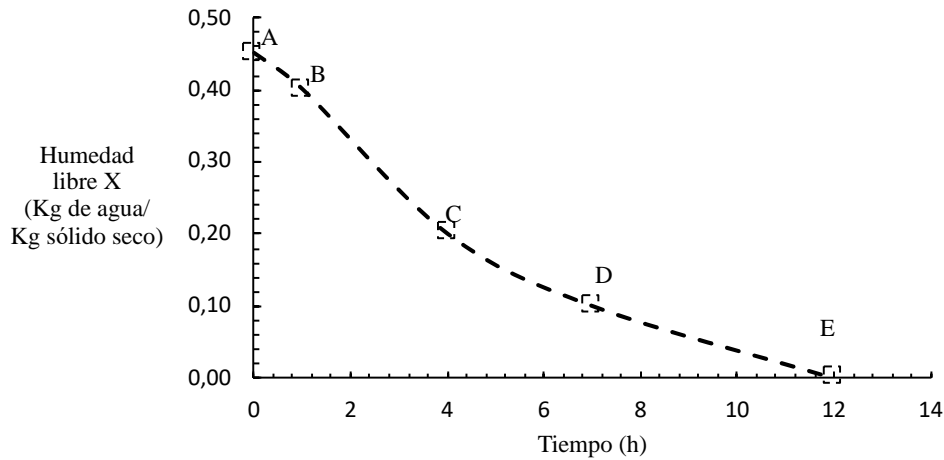


Figura 9. Curva de secado de un sólido húmedo.

Los mecanismos de transporte de agua dentro de las matrices alimentarias son numerosos y complejos (Kumar, Sarkar, & Sharma, 2012). A menudo el mecanismo del transporte de humedad es descrito por el valor de difusividad (Heldman, Lund, & Sabliov, 2006). Dicho mecanismo es ampliamente usado para describir el proceso de deshidratación (Onwude et al., 2016) y es normalmente analizado por la segunda ley de Fick (Duarte et al., 2017), ya que es el mejor modelo fenomenológico que representa el mecanismo de difusividad. La segunda ley de Fick está determinada por la geometría del alimento, siendo la ecuación 1, la usada en los productos en forma de placa infinita (Crank 1975).

$$MR_t = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i-1)^2} e^{\left( \frac{-(2i-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right)}$$

Ecuación 1. Ley de Fick para un alimento plano.

Donde;  $MR_t$  es el contenido de humedad,  $D_{eff}$  es el coeficiente de difusividad efectiva (m/s),  $t$  es el tiempo de secado (s) y  $L$  corresponde a la mitad del espesor del material (m) (Crank, 1975). Sin embargo, para largos tiempos de secado ( $MR_t < 0.6$ ), solo los primeros términos de la ecuación 1 son relevantes en la evaluación de  $MR_t$ , dicha ecuación es posible simplificarla en la ecuación 2 (Duarte et al., 2017). El coeficiente de difusividad es determinado por medio

de la pendiente resultante de la gráfica entre el logaritmo natural del cambio de contenido de humedad ( $MR_t$ ) y el tiempo (Duarte et al., 2017; Heldman et al., 2006).

$$MR_t = \frac{8}{\pi^2} e^{\left(\frac{-D_{eff} \times \pi^2 \times t}{4L^2}\right)}$$

*Ecuación 2. Segunda ley de Fick simplificada para tiempos de secado prolongados.*

El proceso de difusión del agua descrito por la segunda ley de Fick contempla que la cantidad de agua del material es uniforme (Heldman et al., 2006); la transferencia de masa es unidireccional, constante y gobernada solamente por difusión (Duarte et al., 2017). Así mismo, no tiene en cuenta la variación estructural del alimento durante el proceso, como la contracción, los cambios en la densidad y porosidad, cambios en las propiedades térmicas del alimento, y el movimiento de moléculas solubles como sales y azúcares (Brennan, 2006; Ramírez, Astorga, Nuñez, Jaques, & Simpson, 2017). Estos factores que no son considerados generan variaciones y sobreestimaciones del proceso; por tal motivo, se ha empleado el modelo de difusión anómala en procesos con largos periodos de secado ( $MR_t < 0.6$ ).

El modelo de difusión anómala está basado en el cálculo fraccional de la difusión (ecuación 3) (Ramírez et al., 2017). Este modelo considera los cambios estructurales durante el proceso de secado. El coeficiente de difusión ( $D_{eff}$ ) tiene como unidades  $m^2/s_\alpha$ ; donde el valor de  $\alpha$  se usa para caracterizar el transporte anómalo en sub-difusión ( $0 < \alpha < 1$ ) o súper-difusión ( $\alpha > 1$ ). (Metzler & Klafter 2000).

$$MR_t = \frac{8}{\pi^2} e^{\left(-D_{eff} \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 t^\alpha\right)}$$

*Ecuación 3. Modelo de difusividad anómala.*

#### 2.4.2 Secado por atomización

El secado por atomización es un método en el cual una solución acuosa o pastosa es convertida en un polvo seco, cuando gotas atomizadas de dicha solución entran en contacto con una corriente de aire caliente (Shishir & Chen, 2017). La velocidad de evaporación del agua y la calidad del producto final, están en función de las condiciones a las cuales se desarrolle el proceso, como lo son: la humedad relativa del aire, el tiempo de residencia en la cámara de secado de las partículas, velocidad de alimentación del material, la temperatura de entrada y salida del aire (Grasmeijer, Frijlink, & Hinrichs, 2016; Shishir & Chen, 2017).

El secado por atomización genera cambios estructurales en la matriz alimentaria debido a que emplea temperaturas superiores a los 100°C (Contreras-Calderón, Guerra-Hernández, & García-Villanova, 2009; Rufián-Henares, García-Villanova, & Guerra-Hernández, 2004; Schmitz-Schug, Kulozik, & Foerst, 2016). Entre los cambios reportados se encuentra la desnaturalización de proteínas, pérdida de nutrientes sensibles al calor como vitaminas y antioxidantes (Shishir & Chen, 2017), pérdida de aminoácidos y cambios en el color por reacciones de Maillard, degradación de pigmentos y cambios sensoriales (Gayán, Serrano, Álvarez, & Condón, 2016; J. Y. Lee, Kim, & Kang, 2015; Osorio et al., 2014). De igual manera, algunos cambios estructurales han sido reportados, tales como es la aglomeración de partículas, apelmazamiento y pegajosidad de las partículas debido a la baja temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) en matrices ricas en carbohidratos (Murugesan & Orsat, 2012; Saavedra-Leos et al., 2012).

El secado por atomización es usado en la deshidratación de emulsiones, aromas, aceites, leche, suero lácteo, levaduras, huevos, extractos de frutas, café, té, yogur; entre otros productos de alto valor (Jacobs, 2014; Ratti, 2013; Woo & Bhandari, 2013). Durante el secado por atomización, frecuentemente se emplean agentes secantes; los cuales son compuestos de alto peso molecular y baja viscosidad; cuya función es incrementar el valor de la  $T_g$  (100 y 180 °C), encapsular y proteger compuestos bioactivos sensibles al calor (Lacerda et al., 2016; Robert et al., 2010; Santiago-Adame et al., 2015). No obstante, el uso de agentes secantes puede afectar significativamente algunas propiedades sensoriales y físicas del producto final (Shishir & Chen, 2017).

La encapsulación ha sido ampliamente estudiada con la finalidad de estabilizar y proteger compuestos bioactivos de reacciones oxidativas, luz y humedad, además de aumentar su solubilidad y biodisponibilidad (Araujo-Díaz et al., 2017). Se han utilizado diferentes tipos de materiales de recubrimiento o encapsulante durante el proceso de secado por atomización, los cuales generalmente están compuestos por polisacáridos puros o modificados y, ocasionalmente, se incluyen azúcares, proteínas, gomas, lípidos y polímeros sintéticos (Hasbay & Galanakis, 2018; Ibrahim, 2016). El secado por atomización ha sido empleado en la encapsulación de compuestos antioxidantes, a través del uso de diferentes materiales de recubrimiento.

Robert et al., (2010), encapsularon polifenoles y antocianinas de granada, por medio del uso de maltodextrina y proteína aislada de soya como agentes encapsulantes. Zhang et al., (2007), encapsularon procianidinas a partir de semillas de uva, a través del uso de maltodextrina y goma arábiga. De igual forma, Flores et al., (2014) encapsularon extractos de arándanos por medio de proteínas aisladas de suero lácteo. Así mismo, el secado por atomización se ha usado para secar algunos tipos de residuos agroindustriales tales como hojas de olivo (Kiritsakis, Goula, Adamopoulos, & Gerasopoulos, 2018), subproducto de jabuticaba (Rodrigues, Januário, Santos, Bergamasco, & Madrona, 2018) y suero lácteo (Osorio et al., 2014).

#### 2.4.3 Efectos del secado sobre compuestos de valor

En general, los procesos de secado generan cambios químicos y físicos en compuestos de valor como proteínas y antioxidantes; los cuales se ven reflejados en pérdidas nutricionales y funcionales (Fang, Rogers, Selomulya, & Chen, 2012). En el caso de los compuestos antioxidantes, temperaturas superiores a 60 °C han sido reportadas como desfavorables (Knockaert et al., 2012; Oancea et al., 2017; H. Wang et al., 2017); sin embargo, se ha hallado aumento en la concentración de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante cuando estos son sometidos a condiciones extremas de estrés (Naczk & Shahidi, 2006).

Martín-Cabrejas et al., (2009), evaluaron la disminución de compuestos antioxidantes presentes en harinas de legumbres como lentejas, garbanzos, frijol y frijol blanco, sometidos a

un proceso de secado convectivo (75 °C por 6 h). Los autores reportaron la degradación del 60% de compuestos antioxidantes en las muestras de harina de lenteja. Sin embargo, para las demás matrices analizadas no se evidenció efecto significativo. Samoticha et al., (2016), evaluaron el efecto de diferentes métodos de secado (liofilización, secado convectivo y microondas al vacío) sobre el contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y color de frutas Aronias. En el caso específico de las muestras tratadas por secado convectivo, la degradación de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante fue mayor a una temperatura de 50 °C que a las demás temperaturas (60 – 70 °C). En el caso de las antocianinas, moléculas altamente sensibles al calor y al oxígeno, el secado convectivo a 60 °C las redujo un 80%.

Méndez-Lagunas et al. (2017), describieron las cinéticas de degradación de compuestos fenólicos y antocianinas en muestras de fresas sometidas a un proceso de secado convectivo con temperaturas de 50 y 60 °C. Los autores reportaron pérdidas de la capacidad antioxidante de las fresas de 74.4 y 66.2 % para 50 y 60 °C, respectivamente. Este efecto se debe a que temperaturas de proceso bajas requieren mayor tiempo de exposición. En el caso del contenido de antocianinas y polifenoles, las temperaturas de 50 y 60 °C reflejaron en pérdidas de 26-45% y 60.9 - 78.1% , respectivamente. Este fenómeno es provocado por la degradación de la lignina, degradación térmica o liberación de derivados del ácido fenólico.

Saavedra et al., (2017), evaluaron el uso de secado convectivo en el aprovechamiento de residuos de aguacate y su efecto sobre la capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles. Los autores reportaron que tiempos de secado cortos permiten mayor retención de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante; siendo las mejores condiciones de proceso 72°C y 0.8 m/s para temperatura y velocidad de aire respectivamente; las cuales retuvieron 87.3% de polifenoles y 60.73% de la capacidad antioxidante.

En el caso específico del secado por atomización, Goula and Adamopoulos, (2005) evaluaron el efecto del secado por atomización en la pérdida de licopeno en muestras de tomate, reportando una relación directa entre la pérdida de licopeno (entre 8.07 - 0.93 %) y la temperatura de secado. Sin embargo, otros parámetros de proceso como el flujo de

alimentación, concentración de la solución y flujo de aire influyen en la pérdida del compuesto. Fang et al., (2012), reportaron pérdidas significativas (>20%) del valor proteico (caseína y  $\beta$ -lactoglobulina y  $\alpha$ -lactoalbúmina) en un proceso de secado por atomización con temperaturas de entrada que oscilaron entre 158 y 178 °C. Donz et al., (2014), evaluaron cómo este proceso afectó las características fisicoquímicas y funcionales de una emulsión de suero lácteo con alto contenido graso. Los autores reportaron que el producto reconstituido no era estable, debido a la coalescencia generada por el alto contenido graso en las partículas de menor tamaño.

Loan, Hoa, & Ha, (2016), evaluaron el efecto del secado por atomización sobre las propiedades antioxidantes en muestras de mango. El proceso de secado se realizó con la variación de la temperatura de entrada entre 130 y 170 °C, a una velocidad de flujo constante (8 rpm). De igual manera, los autores realizaron una segunda etapa, donde variaron la velocidad de flujo de alimentación (5 - 9 rpm) con temperatura de entrada constante (160 °C). Los resultados reportados, mostraron que el aumento de la temperatura de entrada disminuye el contenido de polifenoles totales (CPT), siendo de 695.70 y 617.94 mg AGEs/100g para las temperaturas de 130 °C y 170 °C respectivamente. El contenido total de carotenoides se redujo en 19.23 % cuando la temperatura de entrada aumentó de 130 a 170 °C. Asimismo, el contenido de ácido L-ascórbico disminuyó significativamente con el aumento de la temperatura de entrada. En cuanto a la capacidad antioxidante, el polvo producido con una temperatura de entrada de 130 °C brindó mayor capacidad antioxidante (27.99  $\mu$ mol TEs/g<sub>bs</sub>). En cuanto al efecto de las tasas de flujo de alimentación sobre las propiedades antioxidantes del polvo de mango, los autores concluyeron que bajas velocidades prolongan los tiempos de proceso y residencia de los alimentos en la cámara de secado, generando mayor degradación de compuestos bioactivos.

Zotarelli et al., (2017), reportaron la pérdida del 60 % del contenido de carotenoides presentes en una solución de mango secada por atomización. La pérdida de compuestos termosensibles estuvo en función de parámetros como la temperatura y tiempos de residencia. Araujo-Díaz et al., (2017), evaluaron el efecto de dos agentes secantes (inulina y maltodextrina) en la conservación de compuestos antioxidantes (resveratrol y el quercentil 3-D- galactosidasa) presentes en un jugo de arándanos sometido a un proceso de secado por atomización. Demostrando que la maltodextrina presentó mejor encapsulación y conservación de los

compuestos antioxidantes; con concentraciones 4 y 28 veces más altas para resveratrol y el quercentil 3-D- galactosidasa respectivamente.

En general, el uso de tratamientos térmicos en la industria alimentaria es necesario para la obtención de productos inocuos y comercialmente atractivos. Sin embargo, dichos procesos tienen efecto directo sobre los compuestos de alto valor propios de los residuos agroindustriales alimentarios.

### *3 MATERIALES, MÉTODOS Y DISEÑOS EXPERIMENTALES*

#### 3.1 Descripción general de la investigación

Antes de describir la metodología utilizada en el desarrollo de la investigación, se hará una breve explicación del proceso realizado. Inicialmente, se recolectó la borra de café en uno de los domos (cafeterías) de la Universidad de Antioquia. En el caso del suero lácteo, fue donado por la empresa Cooperativa Colanta, planta San Pedro de los Milagros, Antioquia. Ambos subproductos posteriormente se caracterizaron desde el punto de vista proximal, con la finalidad de establecer su potencial uso en el desarrollo de una materia prima emergente con compuestos benéficos para la salud. Con lo anterior se da cumplimiento al objetivo específico 1.

Una vez caracterizados los subproductos, se estableció un procedimiento de optimización de secado convectivo para la borra de café, con el fin de obtener las condiciones óptimas que permitieran conservar la mayor capacidad antioxidante y potenciar algunas propiedades tecnológicas. En total se realizaron 16 tratamientos de secado; con diferentes parámetros de temperatura, velocidad de aire y espesor de torta. Los datos obtenidos se analizaron por medio de un diseño de experimentos bajo la metodología superficie de respuesta (MSR). Una vez obtenidas las condiciones óptimas de operación, se procedió a establecer la cinética de degradación térmica de compuestos de alto valor como polifenoles totales y 7 ácidos clorogénicos. La cinética de degradación se llevó a cabo bajo las condiciones óptimas de secado para velocidad de aire y espesor de torta; mientras que la temperatura varió  $\pm 10$  °C sobre la condición óptima de proceso. Con lo anterior se da cumplimiento al objetivo específico 2.

Halladas las condiciones óptimas de operación para la deshidratación de la borra de café, se estableció el protocolo de mezcla con el suero lácteo concentrado, para su posterior deshidratación por medio de procesos de secado por atomización. Los diferentes procesos de secado fueron evaluados desde el punto de vista fisicoquímico, nutricional y estructural. En total se realizaron 9 corridas de secado. Un diseño de experimentos completamente



aleatorizado fue usado en el análisis de los datos; tomando como único factor la relación suero-borra, el cual tuvo tres niveles. Una vez analizados los datos, se estableció la mejor relación suero-borra de café, que permitiera obtener un producto en polvo, con buenas condiciones funcionales, nutricionales y tecnológicas. Dicha relación, fue caracterizada en términos de sus propiedades termodinámicas, antioxidantes, nutricionales. De esta forma se dio cumplimiento al objetivo específico 3.

Finalmente, en busca de dar potencial aplicación al ingrediente en polvo obtenido; este, fue incluido en la formulación de un producto lácteo (Yogur tipo set bajo en grasa). La formulación y desarrollo del yogur se realizó en el departamento de ciencias lácteas y alimentarias de la universidad Estatal de Dakota del Sur, Estados Unidos; durante una estancia de 6 meses. El proceso de fabricación del yogur contempló procesos de mezcla, pasteurización y fermentación. Diferentes mezclas entre leche en polvo descremada (LPD) y el ingrediente en polvo desarrollado (Whey-SCG), se llevaron a cabo con la finalidad de incrementar los sólidos totales de la leche líquida descremada. Cuatro (4) formulaciones fueron analizadas en función de sus propiedades texturales, reológicas, estructurales y algunos indicativos nutricionales. Con esto se dio cumplimiento al objetivo específico 4.

### 3.2 Esquema general de la investigación

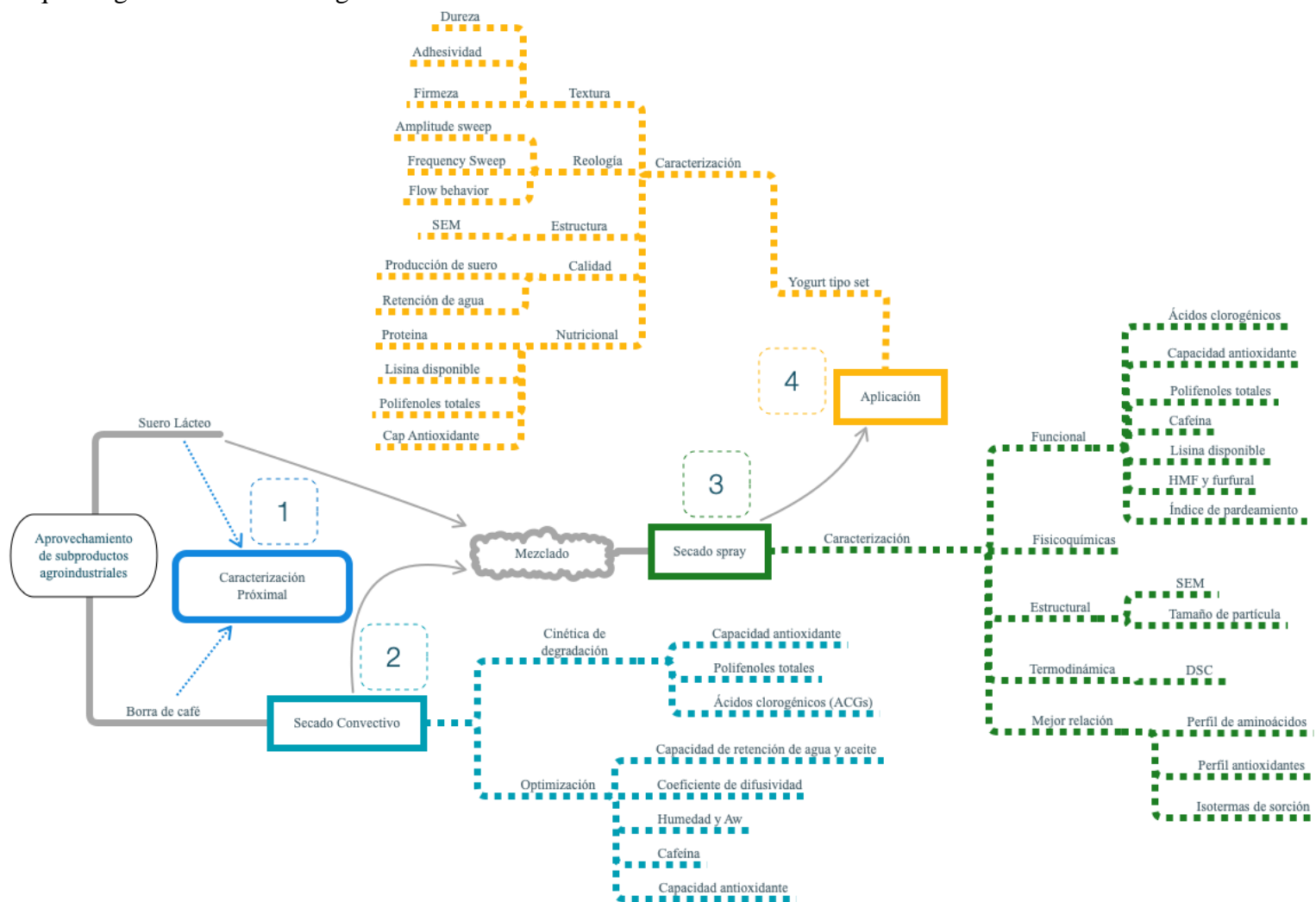


Figura 10. Esquema general de la investigación. Cada número corresponde a un objetivo específico.

### 3.3 Materias primas

#### 3.3.1 Borra de café

Los residuos de borra de café fueron obtenidos a partir de la preparación de la bebida en domos (cafeterías) de la Universidad de Antioquia sede Medellín (Antioquia). 10 kg de café procesado en dichos domos (100% Arábica) fueron recolectados y homogenizados, con la finalidad de romper trozos grandes provenientes de la maquina espresso. Finalmente, las muestras fueron almacenadas en bolsas de polietileno a una temperatura de -20°C, para su posterior tratamiento.

#### 3.3.2 Suero lácteo concentrado

El suero lácteo concentrado fue donado por la empresa Cooperativa Colanta, planta de San Pedro de los Milagros (Antioquia), con 39% de sólidos totales y parcialmente desmineralizado. Una vez las muestras fueron recolectadas, se procedió a dispensarlas en recipientes plásticos de 5 litros, con la finalidad de darle un mejor manejo y almacenamiento. Finalmente, las muestras fueron almacenadas a una temperatura de -20°C, para su posterior tratamiento.

### 3.4 Métodos y diseños experimentales

La siguiente sección se presenta en función de cada uno de los objetivos específicos, mostrando los diseños experimentales y cada una de las metodologías usadas en la determinación de cada una de las variables respuesta. Los datos se analizaron con el software STATGRAPHICS Centurion XVI (Statistical Graphics Corporation, versión 16.0.07, Rockville, USA), SigmaPlot (Systact Software Inc, versión 14.0 ,USA).

### 3.4.1 Objetivo específico 1

*Caracterizar y determinar algunas características proximales del suero lácteo concentrado y la borra de café.*

#### 3.4.1.1 Análisis proximal de las materias primas

El contenido de humedad, grasa, cenizas, proteína y nitrógeno total, fueron determinados según la metodología (AOAC, 2016). Los carbohidratos totales fueron determinados por diferencia (Teba, Silva, Chávez, Carvalho, & Ascheri, 2017). Para la determinación de la actividad de agua, se siguió la metodología descrita por Martínez-Saez et al., (2017), usando un equipo AquaLab PRE (METER Group, Inc. Washington, United States). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

### 3.4.2 Objetivo específico 2

*Establecer las mejores condiciones de secado convectivo para la obtención de una borra de café con bajo contenido de humedad,  $A_w$  y alta capacidad antioxidante, además de la cinética de degradación de ácidos clorogénicos bajo estas condiciones.*

#### 3.4.2.1 Secado convectivo de la borra de café

El proceso de secado se llevó a cabo en un secador por convección tipo bandeja con flujo de aire paralelo (laminar horizontal) a la muestra, el cual consiste en un ventilador acoplado a una resistencia eléctrica para el calentamiento del aire, que pasa a través de un túnel de 3 metros de longitud. El cambio de peso a lo largo del tiempo se midió con una balanza Vector® de tipo S, 5AX797, con un error de  $\pm 0.1$  g (figura 11). Las superficies de secado de la borra de café contemplaron áreas de 0.02014, 0.02118 y 0.01855 m<sup>2</sup>; cada una para los diferentes espesores de torta: 1, 1.5 y 2 cm, respectivamente. La recolección de datos se realizó mediante un sistema de adquisición de datos, cada 5 segundos. El proceso de secado se llevó hasta peso constante.



Figura 11. Túnel de secado, Universidad de Antioquia.

#### 3.4.2.2 Determinación de compuestos antioxidantes

##### 3.4.2.2.1 Preparación de la muestra

La extracción de compuestos antioxidantes de las muestras de borra de café, se realizó según la metodología descrita por Contreras-Calderón et al., (2009). 0.500 gramos de borra de café fueron mezclados bajo agitación constante durante 1 hora, con 6 mL de una solución de etanol/agua (50:50) pH 2.0 a 25 °C. Paso seguido, la mezcla fue centrifugada a 5000 rpm x 10 minutos. El sobrenadante fue recuperado en un balón volumétrico de 25 mL. Una segunda extracción (igual procedimiento) tuvo lugar, esta vez con 6 mL de una solución acetona/agua (70:30). Una vez fueron recuperados los sobrenadantes, el volumen fue ajustado hasta 25 mL con agua destilada. Los extractos fueron almacenados a -18°C en la oscuridad hasta su análisis. Se realizaron 3 extracciones por muestra.

#### 3.4.2.2.2 Ensayo – ABTS<sup>+</sup> (2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzthiazolin-6-sulfonic acid)

El ensayo ABTS<sup>+</sup>, fue desarrollado basado en la metodología descrita por Contreras-Calderón et al., (2016). Para esto, 100 µL de la solución acuosa (apartado 3.4.2.2.1) fue diluida (1/50) con agua destilada. 100 µL de la muestra diluida fue mezclada con 1000 µL del radical ABTS<sup>+</sup>. La solución radical fue preparada por medio de la mezcla de 10 mL de una solución stock ABTS<sup>+</sup> (7mM) con 10 mL de una solución de persulfato de potasio (2.45mM). La solución fue almacenada en la oscuridad por 24 horas, posteriormente fue diluida con etanol, hasta obtener una lectura de absorbancia 0.72 a 730 nm (Mapada Spectrophotometer, Varian Cary 50 UV-VIS Spectrophotometer, Shanghai, China). La absorbancia de las muestras diluidas se determinó a 730 nm después de una incubación a 30 °C durante 30 minutos. Soluciones acuosas de Trolox (0-200 µmol/L), fueron utilizadas en la construcción de la curva de calibración. Los resultados fueron expresados en equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base seca (µmol TEs /g<sub>bs</sub>). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

#### 3.4.2.2.3 Contenido de polifenoles totales (CPT)

El contenido de polifenoles totales fue realizado usando la prueba de Folin-Ciocalteu, descrita por Contreras et al., (2009), con algunas modificaciones. Para esto, 100 µL de la solución acuosa (apartado 3.4.2.2.1) fue diluida (1/80) en agua destilada. 1600 µL de la muestra diluida fue mezclada con 100 µL de la solución reactiva Folin-Ciocalteu en cubetas espectrofotométricas (Sigma-Aldrich, Oakville, Ontario, Canadá), después de 5 minutos de

reacción en la oscuridad, se adicionó 300  $\mu\text{L}$  de una solución al 20% de carbonato de sodio. La reacción se desarrolló durante 1 hora a temperatura ambiente (25  $^{\circ}\text{C}$ ) en oscuridad. Una vez finalizado el tiempo de incubación, se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 725 nm usando un espectrofotómetro Mapada (Varian Cary, 50UV-VIS Spectrophotometer, Shanghai, China). Soluciones acuosas de Ácido Gálico (0 -1000 ppm), fueron utilizadas en la construcción de la curva de calibración. Los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra en base seca (mg AGEs/g<sub>bs</sub>). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

#### 3.4.2.2.4 Determinación de ácidos clorogénicos (ACGs)

La determinación de ACGs se realizó por medio de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en fase reversa. Los análisis se realizaron en un equipo Agilent modelo 1260 acoplado a un detector de arreglo de diodos con capacidad para trabajar en el rango de 254 a 325 nm y empleando la columna Zorbx Eclipse XDB C18 (4.6 x 150 mm, 3.5  $\mu\text{m}$ ). El contenido de ácidos clorogénicos fue determinado a partir de la inyección automática de 25  $\mu\text{L}$  de la solución acuosa extraída en el apartado 3.4.2.2.1. Las condiciones cromatográficas están basadas en las reportadas por Ludwig et al. (2012), Gloess et al., (2013) y presenta semejanza a la Norma DIN 10767 /1994 (Normung, 1992). En este sistema cromatográfico se separaron: ácido 5-cafeolquínico (5-CQA), ácido 3-cafeolquínico (3-CQA), ácido 4-cafeolquínico (4-CQA), ácido cafeico (CA), 3,4-dicafeoilquinico (3,4 di-CQA), ácido 4,5-dicafeoilquinico (4,5 di-CQA), ácido 3,5-dicafeoilquinico (3,5 di-CQA). El método de estándar externo fue usado para el cálculo individual de cada ácido. El resultado para los ácidos clorogénicos fue reportado como la suma de cada uno ellos y expresado como miligramos de ACGs por gramo de materia en base seca (mg ACGs/g<sub>bs</sub>). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

#### 3.4.2.3 Determinación de cafeína.

Para la determinación del contenido de cafeína, se siguió metodología descrita por Vignoli, Bassoli, and Benassi (2011) con algunas modificaciones. Los análisis se realizaron en el equipo descrito en el apartado 3.4.2.2.4, la cual contemplaba el uso de una fase móvil en modo isocrático con etanol al 30%. 0.25 gramos de muestra fue mezclada con 25 mL de agua

destilada y 1.0 gramo de óxido de magnesio. La mezcla fue llevada a ebullición durante 5 minutos. Paso siguiente, cuando las muestras alcanzaron temperatura ambiente, se llevaron nuevamente al volumen inicial. Las muestras se filtraron antes de la inyección en el sistema cromatográfico. La concentración de cafeína se determinó por el método de estándar externo a 273 nm y se reportó como miligramos de cafeína por gramo de muestra en base seca. Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

#### 3.4.2.4 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) fue desarrollada basada en la metodología descrita por Duarte et al., (2017). Para tal fin, se mezcló 0.1 gramo de muestra con 10mL de agua destilada, bajo agitación vigorosa (Vortex) durante 5 minutos y posterior incubación durante 24 horas a temperatura ambiente (25 °C). Finalmente, las muestras fueron centrifugadas a 2500 rpm durante 30 minutos. El sobrenadante fue recuperado y medido. Los resultados fueron expresados en mL de agua retenida/ g de muestra (ecuación 4). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

$$CRA = \left( \frac{10 \text{ mL} - \text{mL de agua final}}{\text{g de muestra}} \right)$$

*Ecuación 4. Capacidad de retención de agua (CRA)*

#### 3.4.2.5 Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite (CRO) fue desarrollada basada en la metodología descrita por Duarte et al., (2017). 1.0 gramo de muestra se mezcló de forma vigorosa (Vortex) durante 5 minutos con 10 mL de aceite vegetal. Paso siguiente, las muestras fueron incubadas durante 30 minutos a temperatura ambiente (25°C) y centrifugadas a 2500 rpm x 10 minutos. Finalmente, el sobrenadante fue recuperado y medido. Los resultados fueron expresados en mL de aceite/ g de muestra (ecuación 5). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

$$CRO = \left( \frac{10 \text{ mL} - \text{mL de aceite final}}{\text{g de muestra}} \right)$$

*Ecuación 5. Capacidad de retención de aceite (CRO)*



### 3.4.2.6 Tamaño promedio de partícula

El tamaño promedio de partícula fue desarrollado basado en la metodología descrita por Osorio et al., 2014. La medición fue realizada en un analizador de tamaño de partículas Microtract S3500 (Microtract Inc, Montgomeryville, PA, EE. UU.), el cual cuenta con una tecnología tri-láser con capacidad de medición entre 0.0024 a 2800 micras.

### 3.4.2.7 Diseño de Experimentos y análisis estadístico

Para establecer las condiciones de secado que maximizaran las propiedades antioxidantes y tecnológicas de la borra de café, se aplicó la metodología de superficie de respuesta mediante un diseño experimental Box-Behnken (tabla 3).

Las variables independientes del diseño de experimentos y sus respectivos niveles fueron: temperatura (40, 50, 60 °C), velocidad del aire (1.0, 1.5, 2.0 m/s) y espesor de la torta de borra de café (1.0, 1.5 y 2.0 cm) (tabla 3). Las variables respuestas incluyeron: coeficiente de difusividad, contenido de humedad, actividad de agua ( $A_w$ ), capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, capacidad antioxidante (ABTS+), contenido de cafeína y tamaño de partícula. Las variables respuestas se investigaron utilizando una metodología de superficie de respuesta (RSM) y ajustando los valores experimentales a la siguiente ecuación de segundo orden. Ecuación 6.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i X_i + \sum_{i=1}^2 b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j=1}^2 b_{ij} X_i X_j$$

*Ecuación 6. Ecuación de segundo orden diseño de experimentos secado convectivo.*

Donde Y es la variable de respuesta,  $b_0$  es una constante,  $b_i$  son coeficientes del modelo vinculados a un efecto lineal,  $b_{ii}$  son los coeficientes relacionados con el efecto cuadrático,  $b_{ij}$  son las constantes para el efecto de interacción y  $X_i$  y  $X_j$  son las variables.

Los modelos obtenidos en el diseño experimental fueron optimizados para determinar los niveles de los factores que simultáneamente optimizaran las variables respuesta (máximo, mínimo o fijo, dependiendo del caso) y para el proceso de optimización fue usada la función *deseabilidad*. Esta función se encarga de transformar cada variable respuesta en una función de deseabilidad individual, que varía de 0 a 1.

Tabla 3. Diseño de experimentos secado convectivo de la borra de café.

Corrida	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Espesor de torta (cm)
1	50	2	1
2	40	1.5	2
3	40	2	1.5
4	40	1	1.5
5	50	1	2
6	50	1.5	1.5
7	60	2	1.5
8	50	1.5	1.5
9	50	2	2
10	50	1.5	1.5
11	60	1.5	1
12	40	1.5	1
13	60	1	1.5
14	50	1	1
15	50	1.5	1.5
16	60	1.5	2

### 3.4.3 Objetivo específico 3

*Determinar la mejor relación de suero lácteo y borra de café, que sometida a un proceso de secado por atomización permita potenciar sus propiedades físicas, tecnológicas, estructurales, nutricionales y antioxidantes.*

#### 3.4.3.1 Secado por atomización

Para el secado por atomización, se elaboraron diferentes tipos de mezclas entre suero lácteo concentrado y borra de café deshidratada. Cada mezcla consistía en aproximadamente 3 Litros de solución, la cual fue elaborada bajo agitación constante (2500 rpm, durante 30 minutos) a temperatura ambiente (25 °C). El secado por atomización fue desarrollado en un secador piloto modelo PSA 5 (Vibrasec, Medellín, Colombia) (figura 12). Las condiciones de procesamiento fueron establecidas en una investigación previa, las cuales contemplaron temperaturas de entrada y salida de aire 170 °C y 90 °C respectivamente (Osorio et al., 2014). El flujo de alimentación 2 L/h y el flujo de alimentación de aire precalentado 540 L/h.



*Figura 12. Secado por atomización. Maquilsec.*

### 3.4.3.2 Determinación de lisina disponible

e-NDP-Lisina fue determinada por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) siguiendo la metodología descrita por Contreras-Calderón, Guerra-Hernández, y García-Villanova (2009). Los análisis se realizaron en un equipo Shimadzu (Shimadzu Corporation; Kyoto, Japan) acoplado a un detector de arreglo de diodos (SPD-M20A) y autosampler (SIL-20A HT). La lisina fue separada por medio de una columna cromatográfica: Merck LiChospher 100 RP-18 (5  $\mu\text{m}$ ). La fase móvil usada fue metanol: acetato de Sodio 0.01 M (Merck) pH 5.0 (1:1), con volumen de inyección de 50  $\mu\text{L}$ , a un flujo de 1.0 mL/min en condiciones isocráticas, la longitud de onda del detector fue 360 nm.

Una muestra con 4 mg de proteína se aforó a 10 ml con agua desionizada. 1 ml de la solución se mezcló con 1 ml de  $\text{NaHCO}_3$  (8%) y 1.5 ml de 1-fluoro-2,4-dinitrobenceno (FDNB) (3%); en tubos pyrex de 15 ml con tapón de rosca y junta de teflón. La solución anterior se agitó durante tres horas a temperatura ambiente con la finalidad de formar el fluorodinitroderivado, tras lo cual el etanol presente en el FDNB se evaporó a 85 °C. Seguidamente las muestras se hidrolizaron.

Para la hidrolisis de la muestra, se adicionaron 6 ml de HCl (8 N) y se agitaron los tubos para eliminar el  $\text{CO}_2$ . Seguidamente, las muestras se incubaron por 24 horas a 110 °C. Paso siguiente se filtró y se ajustó el volumen (25 mL) con agua desionizada. A 10 mL de la solución anterior se le ajustó el pH (5.0) con soluciones de NaOH (6 M) y  $\text{NaHCO}_3$  (1 M) y se ajustó el volumen (25 ml) con una solución de metanol: tampón acetato de sodio (0.01 M) (1:1). Se tomaron 3 ml de la solución anterior y se limpiaron con éter etílico (cinco veces). La muestra se pasó a través de un filtro de 0.2  $\mu\text{m}$  antes de ser inyectada.

El método de estándar externo fue usado para el cálculo de lisina disponible. El resultado para lisina disponible fue reportado como como miligramos de lisina por cada 100 gramos de proteína (mg de Lisina /100g de proteína). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

### 3.4.3.3 Determinación de Hidroximetilfurfural (HMF) y furfural

Los compuestos furánicos fueron determinados por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) siguiendo la metodología descrita por Gómez-Narváez, Medina-Pineda, y Contreras-Calderón (2017), con algunas modificaciones. Los análisis se realizaron en el equipo de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) Shimadzu, descrito en el apartado 3.4.3.2.1.1. El HMF y furfural fueron separados usando una columna cromatográfica (Merck) LiChospher 100 RP-18 (5  $\mu\text{m}$ ). La fase móvil usada fue acetonitrilo (Merck): agua desionizada (5:95), el volumen de inyección de las muestras fueron 50  $\mu\text{L}$  a un flujo de 1.0 mL min<sup>-1</sup> en condiciones isocráticas, la longitud de onda del detector fue 280 nm.

1.5 g de muestra fue clarificado con 3 mL de la solución Carrez-I (ferrocianuro de potasio 15%) y 3 mL de la solución Carrez-II (ácido tricloroacético 40%). La solución anterior fue centrifugada a 5000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante fue recuperado, filtrado (0.45  $\mu\text{m}$ ) y llevado a un volumen final de 10 mL. 50  $\mu\text{L}$  de la solución final fue analizada en el sistema cromatográfico. El método de estándar externo fue usado para el cálculo. El resultado para HMF y furfural fue reportado como como miligramos por cada 100 gramos de proteína (mg /100g de proteína). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

### 3.4.3.4 Índice de pardeamiento

El índice de pardeamiento fue determinado siguiendo la metodología descrita por Gómez-Narváez, Medina-Pineda, y Contreras-Calderón (2017). 3 mL de la solución final obtenida en el apartado 3.4.3.3 fueron transferidos a cubetas espectrofotométricas. La absorbancia a 420 nm fue medida y el índice de pardeamiento fue expresado como absorbancia. Las mediciones fueron realizadas por triplicado (n = 3).

### 3.4.3.5 Cafeína

La metodología se realizó según el apartado 3.4.2.3

### 3.4.3.6 Determinación de compuestos antioxidantes de las muestras en polvo

La extracción de compuestos antioxidantes de las muestras del polvo obtenido después del secado por atomización de las mezclas de suero lácteo y borra de café, se realizó según la metodología descrita por Contreras-Calderón et al., (2009) con algunas modificaciones. Una muestra de 1.0 gramo fue mezclado con 6 mL de una solución de etanol: agua (50:50) pH 2.0 a temperatura ambiente (25°C). Paso seguido, la mezcla fue agitada en Vortex y procesada en un baño ultrasonido (Fisherbrand™, Fisher Scientific, Madrid, España) bajo una frecuencia de 80kHz y potencia de 100 W durante 25 minutos. Las muestras fueron centrifugadas a 5000 rpm durante 20 minutos. El sobrenadante fue recuperado. Una segunda extracción (igual procedimiento) tuvo lugar, esta vez con 6 mL de una solución acetona/agua (70:30). Una vez fueron recuperados los sobrenadantes, el volumen fue ajustado hasta 15 mL con agua destilada. Los extractos fueron almacenados a -18°C en la oscuridad hasta su análisis. Se realizaron 3 extracciones por muestra.

La metodología se realizó según los apartados: 3.4.2.2.2. (capacidad antioxidante), 3.4.2.2.3.(contenido de polifenoles totales) y 3.4.2.2.4. (ácidos clorogénicos); descritos anteriormente.

#### 3.4.3.7 Capacidad de retención de aceite

La metodología se realizó según el apartado 3.4.2.5

#### 3.4.3.8 Capacidad de formación y estabilidad de espuma

La capacidad de formación y la estabilidad de espuma se determinaron de acuerdo con la metodología descrita por Osorio et al. (2014). 4.0 g de muestra fue diluida con 85 mL de agua destilada ( $85 \pm 1$  °C) en un vaso de precipitados de 250 mL. La solución resultante se batió con un mezclador mecánico (Hamilton Beach) durante 2 minutos a una velocidad de 1000 rpm. Cuidadosamente la solución fue dispuesta en una probeta de vidrio graduada (100 mL). La capacidad de formar espuma se obtuvo midiendo la altura de la espuma en el cilindro a 25 °C. Las mediciones fueron realizadas por triplicado ( $n = 3$ ).

La estabilidad de la espuma se evaluó de acuerdo con el método visual descrito por Osorio et al. (2014). El colapso de la espuma en el cilindro de vidrio graduado, y se registró el volumen del líquido drenado con el tiempo. Luego, se midió el tiempo requerido para colapsar todas las burbujas presentes en la espuma y se consideró que representaba el tiempo de estabilidad de la espuma. Las mediciones fueron realizadas por triplicado ( $n = 3$ ).

#### 3.4.3.9 Microestructura electrónica de barrido

Las imágenes de la microestructura de las diferentes muestras del polvo fueron obtenidas usando un equipo Quanta 200F Environmental Scanning Electron Microscope (FEI, Field Emission Instruments, Hillsboro, Oregon, USA) del Centro de Microscopía Avanzada – CAM de la Universidad de Antioquia. Las imágenes fueron obtenidas con ampliaciones que variaron entre 0.1Kx y 1Kx.

#### 3.4.3.10 Calorimetría diferencial de barrido

El análisis térmico fue determinado siguiendo la metodología descrita por Farrokhi et al. (2018) con algunas modificaciones. Los análisis se realizaron en un equipo DSC (Differential Scanning Calorimeter) (modelo Q100, TA Instruments, New Castle, USA) bajo condiciones de atmósfera de nitrógeno UHP. Las muestras fueron sometidas a un borrado térmico, con una rampla de calentamiento de 20 °C/min desde 25 °C hasta 100 °C, enfriando luego a -40 °C manteniendo la temperatura por 5 minutos, para luego proceder con el análisis desde -40 °C hasta 200 °C a una velocidad de 10 °C/min. Bajo las condiciones establecidas, se logró determinar temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), temperatura de fusión ( $T_f$ ) y entalpía de fusión ( $\Delta H_m$ ).

#### 3.4.3.11 Tamaño promedio de partícula.

La metodología se realizó según el apartado 3.4.2.6.

#### 3.4.3.12 Densidad aparente.

Para determinar la densidad aparente fue aplicada la norma “Test method for apparent density of free flowing powders” (ASTM. 2017). Un cono es llenado con 100g de muestra, el cual se

encuentra a una altura estandarizada sobre un cilindro de volumen conocido (25 cm<sup>3</sup>), previamente tarado en una balanza analítica. A continuación, las muestras en polvo se hicieron fluir llenando y rebosando el cilindro. Después el cilindro se enrasa y se pesa. Finalmente, se calcula la densidad aparente como la relación entre la masa de polvo pesada y el volumen del cilindro.

#### 3.4.3.13 Diseño de experimentos y análisis estadístico

Para determinar la mejor relación de suero lácteo y borra de café, se realizó un diseño de experimentos completamente aleatorizado (tabla 4). Cada corrida de secado consistía en aproximadamente 3 litros de solución (relación en peso de suero lácteo y borra de café) de acuerdo con el diseño experimental. La relación tuvo tres niveles 96/4, 90/10 y 84/16 % (tabla 4). La variable independiente fue la relación en peso entre el suero lácteo concentrado y el porcentaje de borra de café en la mezcla.

Las variables respuesta fueron: contenido de humedad, actividad de agua ( $A_w$ ), densidad aparente, tamaño de partícula, capacidad de retención de aceite, capacidad de formación de espuma, estabilidad de espuma, lisina disponible, HMF, furfural, índice de pardeamiento, cafeína, capacidad antioxidante, contenido de polifenoles totales y siete ácidos clorogénicos.

Tabla 4. Diseño de experimentos secado por atomización.

<b>Corrida</b>	<b>Relación</b>
1	90/10 (10 %)
2	84/16% (16 %)
3	84/16% (16 %)
4	90/10 (10 %)
5	96/4 (4 %)
6	96/4 (4 %)
7	90/10 (10 %)
8	96/4 (4 %)
9	84/16% (16 %)

Inicialmente los datos se analizaron mediante una tabla ANOVA con un nivel de significancia del 5%. Para determinar la diferencia entre los tratamientos se realizó una prueba de múltiples



rangos por medio de una prueba de LSD Fisher con un alfa del 5%. La prueba de Shapiro se aplicó para determinar la normalidad de las variables analizadas y el análisis de Pearson para determinar la correlación entre variables.

#### 3.4.3.14 Caracterización del ingrediente en polvo desarrollado

De acuerdo con lo planteado en el apartado 3.1 (descripción general de la investigación), una vez realizadas las determinaciones correspondientes al diseño de experimentos correspondiente al secado por atomización, y en función de los resultados obtenidos; se seleccionó la mejor relación de suero lácteo concentrado y borra de café que permitía obtener un producto con mejores propiedades nutricionales, funcionales y tecnológicas para continuar el flujo de la investigación. Una vez obtenida la mejor relación, ésta se caracterizó en función de las propiedades termodinámicas, proximales, antioxidantes, así mismo, como su perfil de aminoácidos.

##### 3.4.3.14.1 Isotermas de sorción

Las isotermas de sorción fueron determinadas siguiendo la metodología descrita por Largo-Avila, Cortes Rodriguez, & Ciro-Velasquez (2014), con algunas modificaciones. Los análisis se realizaron en un equipo analizador de sorción de vapor AquaLab (VSA, Vapor Sorption Analyzer, METER Group, Inc. USA), bajo tres condiciones de temperatura (17, 26 y 45 °C); según el método Dynamic Dewpoint Isotherm (DDI). Los datos experimentales obtenidos fueron ajustados al modelo matemático (ecuación 7) Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB), (Rodriguez, Garcia, Roa Diaz, & Santacoloma, 2004). Los parámetros del modelo fueron estimados usando el procedimiento de regresión no lineal en el software DATAFIT (versión 8.1.69, Oakdale Engineering). El ajuste de los datos experimentales fue evaluado por la determinación del coeficiente R<sup>2</sup> y los parámetros estadísticos error medio cuadrático (RMSE) y Chi-cuadrado reducido ( $\chi^2$ ).

$$X_w = \frac{X_o C K a_w}{(1 - k a_w)(1 + (C - 1)K a_w)}$$

*Ecuación 7. Modelo Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB).*

Donde  $X_w$  es el contenido de humedad en equilibrio;  $X_o$  es el contenido de humedad en la monocapa; C y K son constantes del modelo de GAB y  $a_w$  es la actividad de agua del sistema.

#### 3.4.3.14.2 Propiedades termodinámicas

El calor isostérico de sorción ( $q_{st}$ ) o el calor diferencial de adsorción ( $\Delta H$ ) fue obtenido por la suma del calor total de sorción ( $Q_{st}$ ) y la entalpía de vaporización del agua ( $\lambda$ ). La ecuación de Clausius-Clapeyron (ecuación 8) fue aplicada.

$$q_{st} = \Delta H = RT^2 \left[ \frac{\partial \ln P}{\partial T} \right]_{X_w} = Q_{st} + \lambda$$

*Ecuación 8. Ecuación de Clausius-Clapeyron.*

Donde P: es la presión de vapor del agua en equilibrio con el material a una temperatura absoluta;  $X_w$  es el contenido de humedad en equilibrio (kg/kg sólido seco); R es la constante universal de los gases; T es la temperatura del proceso en Kelvin (K);  $Q_{st}$  es el calor isostérico total de sorción (kJ/mol) y  $\lambda$  es el calor de vaporización del agua pura. Donde el calor de vaporización del agua puede ser calculado por la Ecuación 9.

$$\lambda = R[6887 - 5.31 * T]$$

*Ecuación 9. Ecuación de calor de vaporización del agua pura.*

La energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ) y la entropía ( $\Delta S$ ) (J/mol·K), del proceso de sorción fueron calculados aplicando las ecuaciones 10 y 11 respectivamente.

$$\Delta G = RT \ln \frac{P}{P_0} = RT \ln a_w$$

*Ecuación 10. Ecuación de energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ).*

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T}$$

*Ecuación 11. Ecuación de entropía ( $\Delta S$ ).*

#### 3.4.3.14.3 Compuestos antioxidantes.

La extracción y metodología se realizó según los apartados: 3.4.2.2.2. (capacidad antioxidante ABTS+), 3.4.2.2.3. (contenido de polifenoles totales) y 3.4.2.2.4. (ácidos clorogénicos); descritos anteriormente. Sumado a los análisis mencionados, el ingrediente desarrollado se evaluó la capacidad antioxidante por medio de la metodología ORAC (Oxygen Radical Absorbance); AOAC 2012.23 (AOAC, 2016).

#### 3.4.3.14.4 Perfil de aminoácidos

La determinación del perfil de aminoácidos se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita en la AOAC 994.12 y 982.03 (AOAC, 2016). La determinación del perfil de aminoácidos se realizó por medio de cromatografía líquida de alta resolución acoplado a un detector de masas (HPLC-MS) en fase reversa. Los análisis se realizaron en un equipo Agilent modelo 1260 acoplado a un espectrómetro de masas, con una columna C18 (100 mm x 2.1 mm, 1.7 $\mu$ m). En este sistema cromatográfico se determinaron: fenilalanina, triptófano, lisina, leucina, isoleucina, valina, ácido glutámico, glutamina, prolina, arginina e histidina. Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

### 3.4.4 Objetivo específico 4

*Evaluar el efecto sobre las propiedades reológicas, texturales, estructurales y algunos indicadores nutricionales de la incorporación del producto desarrollado en una matriz láctea.*

#### 3.4.4.1 Manufactura del yogur tipo set bajo en grasa

En adelante las muestras de yogur tipo set bajo en grasa, serán identificadas como yogur. Las diferentes muestras de yogur se fabricaron usando leche líquida descremada sin calentar, la cual se fortificó con diferentes porcentajes de leche desnatada en polvo y el ingrediente en polvo desarrollado, hasta alcanzar 15% de sólidos totales según el diseño experimental. Las mezclas fortificadas fueron pasteurizadas a 90 °C durante 10 minutos, y luego enfriadas a 43 °C (temperatura de fermentación). Paso seguido, las muestras se inocularon con 3% (peso/peso) de cultivo de iniciación *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* (YC-X11 Yo-Flex, Chr. Hansen, Denmark). La fermentación se realizó a 43 °C hasta alcanzar el pH 4.6. Finalizada la fermentación las muestras de yogur se enfriaron en un baño de agua helada y se almacenaron durante la noche a 4 °C hasta su posterior análisis. Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3). La figura 13 representa el flujograma de elaboración de las muestras de yogur.

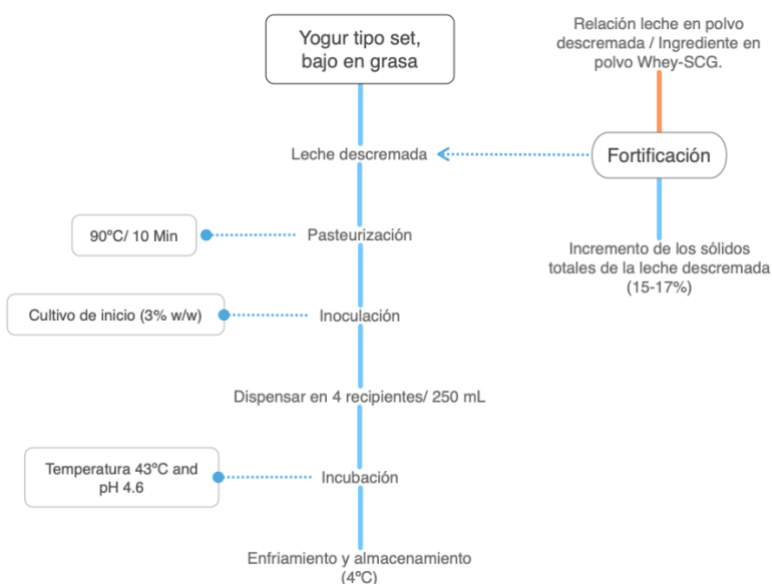


Figura 13. Manufactura del yogur tipo set bajo en grasa.

#### 3.4.4.2 Contenido de proteína

El contenido de nitrógeno y proteína total de las muestras de yogur fue realizado de acuerdo con el principio Kjeldahl (IDF, 2014). El factor 6.38 fue usado para determinar el contenido de proteína total.

#### 3.4.4.3 Contenido de lisina disponible, polifenoles totales y capacidad antioxidante.

La metodología se realizó según los apartados 3.4.3.2.1.1.(lisina disponible), 3.4.2.2.1.3.(contenido de polifenoles totales) y 3.4.2.2.1.2 (capacidad antioxidante).

#### 3.4.4.4 Producción de suero

La producción de suero de las muestras de yogur se midió gravimétricamente (W. J. Lee & Lucey, 2004). El suero expulsado de cada muestra de yogur después del almacenamiento durante 24 horas a 4 °C se retiró y pesó cuidadosamente. La sinéresis de suero se calculó como el peso del suero expresado como porcentaje del peso total de la muestra. Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

#### 3.4.4.5 Capacidad de retención del agua

La capacidad de retención de agua de las muestras de yogur se midió gravimétricamente siguiendo la metodología descrita por Mahomud et al., (2017). 25 g de muestra fueron pesados en tubos falcón de 50 mL. Las muestras fueron centrifugadas (Jouan CR412, Thermo Fisher scientific, Waltham, USA) a 2500 rpm durante 20 min. El suero expulsado (sobrenadante) se retiró cuidadosamente y se pesó. La capacidad de retención de agua se calculó como el peso del suero expresado como un porcentaje del peso de la muestra total (ecuación 12). Los análisis fueron realizados por triplicado (n = 3).

$$CRA y = 100 - \left( \frac{\text{Peso del suero (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} * 100 \right)$$

*Ecuación 12 Capacidad de retención de agua en yogur*

#### 3.4.4.6 Microestructura electrónica de barrido

Las imágenes de la microestructura de las muestras de yogur fueron obtenidas con un equipo S-3400N (Hitachi, Ltd. Tokyo, Japan) en the Electrical Engineering and Computer Science Department, Daktronics Engineering Hall; ubicado en South Dakota State University. Las imágenes fueron obtenidas con ampliaciones que variaron entre 1Kx y 10Kx.

#### 3.4.4.7 Propiedades texturales

La firmeza y las propiedades mecánicas de las muestras de yogur se determinaron siguiendo la metodología descrita por Lesme et al., (2019) con algunas modificaciones. Las muestras fueron analizadas en el equipo TA.XT plus Texture Analyzer (Texture Technologies Corp. & Stable Micro Systems, Hamilton, USA) con una sonda cilíndrica TA-4 (38 mm de diámetro). Las muestras de yogur se penetraron verticalmente a una profundidad de 20 mm, con una velocidad de 1 mm/s. La celda de carga se devolvió a la superficie del yogur a igual velocidad. Se analizaron tres parámetros a partir de los perfiles de penetrometría: firmeza, Trabajo y adhesividad. La fuerza máxima requerida para romper el gel se usó como medida de la firmeza del yogur (N). El área positiva y negativa bajo la curva (N.mm) se relacionaron con el trabajo y la adhesividad, respectivamente. Los análisis fueron realizados por triplicado ( $n = 3$ ) a 4 °C.

#### 3.4.4.8 Propiedades reológicas

Se realizaron mediciones reológicas para caracterizar las propiedades viscoelásticas y el comportamiento del flujo de las diferentes muestras de yogur; siguiendo la metodología descrita por Sah et al., (2016) con algunas modificaciones. Las muestras fueron analizadas utilizando un reómetro tipo MCR 92 (Anton Paar, GmbH, Ostfildern, Alemania), equipado con una geometría de placa/placa (PP25 / S, diámetro 25 mm). Los análisis fueron realizados por triplicado ( $n = 3$ ) a 4 °C.

Inicialmente se usó la prueba de barridos de deformación a frecuencia constante (1 rad.s<sup>-1</sup>) y un rango de deformación entre 0.01 - 100%, con la finalidad de determinar la región

viscoelástica lineal. Paso seguido se procedió con realizar el barrido de frecuencia (0.1 a 100 rad.s<sup>-1</sup>) en progresión logarítmica con 16 puntos por década; a una deformación constante de 0.5% (región viscoelástica lineal). Finalmente, el comportamiento al flujo se evaluó sometiendo las muestras a un barrido de velocidad de corte. La velocidad de corte se incrementó de 0.1 a 100 s<sup>-1</sup> (en progresión logarítmica con 10 puntos por década para la curva ascendente) en 1560 segundos. El modelo de Herschel-Buckley (ecuación 13) se ajustó a la curva de flujo ascendente.

$$\sigma = \sigma_0 + \kappa * \dot{\gamma}^n$$

*Ecuación 13. Modelo de Herschel-Buckley.*

Donde  $\sigma_0$  representa el esfuerzo de cedencia (Pa),  $\kappa$  índice de consistencia (Pa.s<sup>n</sup>),  $\dot{\gamma}$  tasa de corte (shear rate s<sup>-1</sup>), y  $n$  es un número adimensional conocido como índice de comportamiento de flujo ( $n = 1$  para fluidos newtonianos,  $n < 1$  para fluidos pseudoplásticos y  $n > 1$  para fluidos dilatantes)

#### 3.4.4.9 Diseño de experimentos y análisis estadístico

Para determinar el efecto sobre las propiedades reológicas, texturales, estructurales y nutricionales de las muestras de yogur tipo set bajo en grasa, se realizó un diseño de experimentos completamente aleatorizado. La variable independiente fue la relación leche en polvo descremada / ingrediente en polvo; la cual contó con cuatro niveles (100 - 0, 75 - 25, 25 - 75 y 0 - 100%) (tabla 5). Las variables respuesta incluyeron: producción de suero, capacidad de retención de agua, firmeza, Trabajo, adhesividad, propiedades reológicas, comportamiento al flujo, microestructura, proteína total y lisina disponible. Para determinar diferencias significativas, se realizó un análisis de ANOVA con un nivel de significancia del 5%. La prueba de Tukey se aplicó para determinar la normalidad de las variables analizadas y el análisis de Pearson para determinar la correlación entre variables.

Tabla 5. Diseño de experimentos yogur tipo set bajo en grasa.

Corrida	Leche en polvo descremada	Ingrediente en polvo
---------	---------------------------	----------------------

1	100%	0 %
5	100%	0 %
9	100%	0 %
2	75%	25 %
6	75%	25 %
10	75%	25 %
3	25%	75 %
7	25%	75 %
11	25%	75 %
4	0%	100 %
8	0%	100 %
12	0%	100 %



## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para mejor claridad y flujo en la presentación y discusión de los resultados, esta sección se presenta en función de los objetivos específicos.

### 4.1 Análisis proximal de subproductos agroindustriales

Objetivo específico 1.

*“Caracterizar y determinar algunas propiedades proximales del suero lácteo concentrado y la borra de café”.*

La tabla 6, muestra los resultados proximales de residuos agroindustriales de suero lácteo concentrado y borra de café.

Tabla 6. Análisis proximal de residuos de borra de café y suero lácteo.

Parámetro	Borra de café	Suero lácteo concentrado	
Humedad g/ 100g	60.07± 0.17	51.76 ± 0.10	-
Cenizas g/ 100g	1.87 ± 0.02*	3.55 ± 0.03	7.36 ± 0.03*
Grasa g/ 100g	12.40 ± 0.03*	1.66 ± 0.03	3.44 ± 0.03*
Proteína (Nx6,25) g/ 100g	12.75 ± 0.08*	6.26 ± 0.06	12.98 ± 0.03*
Carbohidratos g/ 100g	72.80 ± 0.10*	36.76 ± 0.10	76.20 ± 0.10*
Calorías Kcal/100g	181.48	185.44	-
Sólidos totales (%)	-	39	-
ABTS+ (µmol TEs / gbs)	335.5*	-	-

\*base seca.

En general, las características proximales de la borra de café presentaron valores similares a los reportados por Cruz et al., (2012), quienes obtuvieron valores en base seca para humedad, cenizas, grasa y proteína de 60, 1.7, 11.5 y 14 g / 100g de muestra, respectivamente. Así mismo, López-Barrera et al., (2016) reportaron valores de 1.1 g / 100g para cenizas, 15.1 g / 100g para grasa total, 11.5 g / 100g para proteína total, mientras que para el contenido de carbohidratos reportaron valores de 68.4 g / 100g. Finalmente, Mussatto et al., (2011a) encontraron un contenido de cenizas de 1.6 g / 100g y proteína total de 13.6 g / 100 g.

Las diferencias entre los valores reportados con respecto a otros autores, se deben a las condiciones de procesamiento en términos del grado de tostado y molienda de los granos de café; así mismo, como la forma de extracción o preparación de la bebida, ya que son factores que tienen efecto directo sobre las propiedades y características de la borra de café generada, así como la variedad del tipo de café utilizado (Bravo et al., 2012).

De la tabla 6, se puede ver que los valores de humedad, cenizas, grasa, proteína y carbohidratos para el suero lácteo fueron 51.0, 3.5, 1.6, 6.2 y 36.7 g / 100 g de sólido seco, respectivamente; con estos datos y de acuerdo con la Resolución 2997 de 2007 del ministerio de Protección Social de Colombia, el suero lácteo usado se clasifica como “suero de leche parcialmente desmineralizado”. Diferentes parámetros han sido reportados en muestras de suero lácteo concentrado; Carvalho et al., (2013) reportaron valores para cenizas, proteína, grasa y lactosa de 8-10, 6-8, 4-5 y 45-50 g/L, respectivamente. Nishanthi et al., (2017) reportaron valores de 0.7, 10.8 y 2.9 g/ 100g para el contenido de cenizas, proteína y lactosa, respectivamente; en una muestra de suero dulce concentrado al 16 % con procesos de ultrafiltración.

La capacidad antioxidante de la borra de café ( $335.5 \mu\text{mol TEs} / \text{g}_{\text{bs}}$ ), está en concordancia con lo reportado por diferentes autores (Bravo et al., 2012; Murthy & Naidu, 2012). La variación de la capacidad antioxidante se debe principalmente al efecto del método usado en la preparación de la bebida, al tipo de café usado y a la severidad de los tratamientos industriales empleados (tostión y molienda) (Bravo et al., 2012).

En general se puede decir que, aunque algunos parámetros proximales encontrados para el suero lácteo en esta investigación son similares con los reportados por otros autores, es de notar que existen valores diferentes; lo anterior se puede deber al tipo de proceso empleado y a la variabilidad de este, al producto desarrollado y lugar de procedencia.

Se podría decir que, con los valores proximales encontrados para el suero lácteo y borra de café en esta investigación, son materiales susceptibles para su aprovechamiento y obtener productos de valor agregado, siendo así una contribución a la solución de los problemas ambientales producidos por la industria láctea y de café.

## 4.2 Secado convectivo de la borra de café

### Objetivo específico 2.

*“Establecer las mejores condiciones de secado convectivo que potencien algunas propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de una borra de café deshidratada”.*

La tabla 7 presenta los resultados de los análisis obtenidos a partir del diseño de experimentos aplicado en el proceso de secado convectivo de la borra de café. A continuación, se describirán cada uno de ellos.

Tabla 7. Resultados diseño de experimentos secado convectivo de la borra de café.

No	Temperatura	Flujo de aire	Espesor de torta	Tiempo de secado MR <sub>t</sub> =0.1	Defx10. 12	Defx 10-15 m <sup>2</sup> /s <sup>1.68</sup>	Humedad g/100g <sub>bs</sub>	A <sub>w</sub>	CRA ml agua/g	CRO ml aceite/g	ABTS+ μmol TEs/g <sub>bs</sub>	Tamaño de partícula μm	Cafeína mg/g <sub>bs</sub>
	°C	m/s	m	min	m <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s <sup>1.68</sup>	g/100g <sub>bs</sub>		ml agua/g	ml aceite/g	μmol TEs/g <sub>bs</sub>	μm	mg/g <sub>bs</sub>
1	50	2	0.01	210	1.61	4.36	12.14±0.33	0.726±0.01	0.067±0.10	2.83±0.10	108.0±12.4	269.2±0.2	4.290±0.005
2	40	1.5	0.02	310	3.47	8.40	26.19±0.10	0.977±0.01	0.033±0.10	2.50±0.10	22.56±2.20	352.8±0.1	6.590±0.005
3	40	2	0.015	295	2.64	5.54	10.28±0.15	0.718±0.01	0.067±0.10	2.00±0.10	128.62±2.00	322.8±0.2	3.340±0.005
4	40	1	0.015	270	3.02	7.45	24.63±0.18	0.986±0.01	0.067±0.10	2.50±0.10	319.08±6.90	349.5±0.2	3.480±0.005
5	50	1	0.02	300	3.77	9.13	22.99±0.3	0.971±0.01	0.067±0.10	1.33±0.10	68.23±7.30	347.6±0.1	3.880±0.005
6	50	1.5	0.015	280	2.52	6.05	18.35±0.23	0.940±0.01	0.033±0.10	2.16±0.10	80.22±6.40	211.5±0.1	4.190±0.005
7	60	2	0.015	250	2.95	7.31	4.38±0.21	0.181±0.01	0.067±0.10	2.16±0.10	108.49±2.10	248.5±0.2	4.300±0.005
8	50	1.5	0.015	260	2.94	6.71	12.90±0.13	0.815±0.01	0.100±0.10	2.00±0.10	106.03±6.40	337.1±0.2	5.520±0.005
9	50	2	0.02	270	3.33	8.73	19.74±0.19	0.969±0.01	0.033±0.10	1.63±0.10	158.47±4.30	339.2±0.1	3.560±0.005
10	50	1.5	0.015	200	3.64	1.02	20.80±0.10	0.961±0.01	0.067±0.10	1.83±0.10	154.53±3.70	333.7±0.1	5.260±0.005
11	60	1.5	0.01	180	1.69	11.32	7.75±0.20	0.467±0.01	0.000±0.10	1.16±0.10	122.31±2.40	308±0.2	4.770±0.005
12	40	1.5	0.01	270	0.99	2.44	21.69±0.33	0.963±0.01	0.033±0.10	1.66±0.10	138.59±9.60	195.3±0.1	4.400±0.005
13	60	1	0.015	250	2.85	6.54	19.42±0.31	0.945±0.01	0.067±0.10	2.00±0.10	43.09±3.20	238.9±0.1	4.310±0.005
14	50	1	0.01	130	2.41	5.18	24.78±0.25	0.982±0.01	0.067±0.10	1.16±0.10	118.7±10.80	246.9±0.1	1.960±0.005
15	50	1.5	0.015	310	2.07	4.65	17.88±0.28	0.889±0.01	0.100±0.10	1.00±0.10	60.89±10.30	239.5±0.1	4.400±0.005
16	60	1.5	0.02	240	4.53	12.43	21.30±0.14	0.938±0.01	0.067±0.10	1.83±0.10	194.65±1.00	332.3±0.2	3.710±0.005

### 4.2.1 Efecto del secado sobre la difusividad efectiva de la borra de café

En general, el tiempo de secado necesario para alcanzar MR<sub>t</sub>=0.1 varió entre 130 y 310 minutos, mientras el coeficiente de difusividad (D<sub>eff</sub>) basado en la segunda ley de Fick estuvo entre 0.99 y 4.53x10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s, con R<sub>2</sub> entre 0.30 y 0.94, para la corrida 12 y 14; respectivamente. Los bajos valores de R<sub>2</sub> hallados, permiten asumir que el proceso de difusión es anómala (Ramírez et al., 2017; Simpson, Jaques, Nun, Ramirez, & Almonacid, 2013). Por tal motivo el modelo de difusividad anómala fue aplicado, obteniendo valores para α de 1.68; el cual es mayor que 1, lo cual implica que el proceso de difusión puede ser considerado como superdifusivo (Ramírez et al., 2017). Los resultados presentados en la tabla 7, también

muestran que los valores de difusividad anómala variaron entre 2.44 y  $12.43 \times 10^{-15}$  m<sup>2</sup>/s<sup>1.68</sup> para las corridas 12 y 16; respectivamente. Después de aplicar el modelo de difusividad anómala los valores de R<sup>2</sup> fueron notoriamente más altos, variando entre 0.8356 y 0.9948 para las corridas 12 y 15; respectivamente. El hecho de que sea un proceso superdifusivo implica que las moléculas de agua "saltan" de una posición a otra, por lo tanto, el tiempo que lleva recorrer una distancia dada es menor que en la difusión normal (Simpson et al., 2013).

En general, los valores de D<sub>eff</sub> fueron menores que los valores reportados para matrices alimentarias, los cuales varían entre 10<sup>-11</sup> y 10<sup>-8</sup> m<sup>2</sup>/s (Zogzas & Maroulis, 2007), sin embargo, son similares a valores reportados para ciertas matrices alimentarias como lo son: mandioca, calabaza, borra de café, maracuyá y banano (Duarte et al., 2017; Gan & Poh, 2014; Gómez-De La Cruz et al., 2015; Guiné et al., 2011). La temperatura y velocidad de aire no presentaron incidencia significativa ( $p > 0.05$ ) (anexo 1) sobre los valores de difusividad, lo cual está en concordancia con lo reportado por Duarte et al., (2017).

Por último, el factor de espesor de la torta afectó significativamente ( $p < 0.05$ ) el coeficiente de difusividad; lo anterior se puede explicar en función de la porosidad del sistema, en ese sentido, en un sistema poroso la presencia de partículas sólidas causa diferentes caminos de difusión de las moléculas de agua (Shen & Chen, 2007), este proceso se conoce como tortuosidad. Además, en un proceso de secado de partículas (en este caso la borra de café) se genera una variación en el tamaño de partícula del material, disminuyendo la distancia que debe recorrer el vapor de agua a través de este y por ende la tortuosidad del sistema es menor, teniendo como consecuencia un incremento en los valores de difusividad del agua, resultados similares han sido reportados (Rojas & Augusto, 2018).

#### 4.2.2 Humedad y A<sub>w</sub>

En la tabla 7 se muestran los resultados de humedad los cuales variaron entre 4.38 y 26.9 g/100g, en tanto que los valores de actividad de agua oscilaron entre 0.1818 y 0.9863. La temperatura y velocidad de aire presentaron influencia significativa en el contenido de humedad y actividad de agua ( $p < 0.05$ ), pudiendo determinar que los valores de humedad y A<sub>w</sub>, disminuyen al incrementar la temperatura y velocidad de aire del proceso. Este

comportamiento se debe a que altas temperaturas incrementan la entalpía del sistema, lo cual incrementa la transferencia de masa y energía acelerando la migración de las moléculas de agua (Akoy, 2014). Para la velocidad de aire, resultados similares fueron reportados por Duarte et al., (2017), quienes atribuyen este comportamiento a que el incremento de la velocidad de aire aumenta el coeficiente de convección del proceso, incrementando la transferencia de calor de las muestras, lo cual implica un rápido incremento de la temperatura de las moléculas de agua presentes en la torta.

#### 4.2.3 Capacidad de retención de agua y aceite

La capacidad de retención de agua es una propiedad tecnológica importante que es relacionada con la capacidad de hidratación, principalmente para alimentos ricos en proteína y fibra. La capacidad de retención de agua obtenida en las muestras de borra de café varió entre 0 y 0.10 ml de agua por gramo de muestra. En el caso de la capacidad de retención de aceite las muestras variaron entre 1.0 y 2.8 ml de aceite por gramo de muestra, ver tabla 7.

De acuerdo con la tabla ANOVA (anexo 1), ninguno de los factores estudiados afectó ni la capacidad de retención de agua, ni de aceite de la borra de café ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, altos valores para la capacidad de retención de aceite fueron hallados, lo cual indica la afinidad de la matriz con compuestos hidrofóbicos y su potencial uso en la formulación de emulsiones. Dichos resultados pueden ser explicados desde la caracterización proximal de la borra de café, la cual presentó 12.77 g de grasa/ 100g en base seca. De igual manera la presencia de compuestos como celulosa, hemicelulosa, galactomanosa y lignina ha sido documentada por diferentes autores (Janissen & Huynh, 2018; Mussatto, Machado, et al., 2011; Ballesteros, Teixeira, & Mussatto, 2014); las cuales tienen propiedades de hinchamiento y retención de aceite (Figuerola et al., 2005). Valores superiores de capacidad de retención de aceite han sido reportados en subproductos de maracuyá y naranja, los cuales varían entre 2.98 y 5.15 g de aceite/ g muestra (de Moraes Crizel, Jablonski, de Oliveira Rios, Rech, & Flôres, 2013; Duarte et al., 2017).

#### 4.2.4 Tamaño promedio de partícula

El tamaño promedio de partícula de la borra de café deshidratada, varió entre 195.3 y 352.8  $\mu\text{m}$ , para los tratamientos 12 y 2, respectivamente (tabla 7). En general, ninguno de los factores estudiados presentó incidencia significativa ( $p > 0.05$ ) sobre esta variable. En promedio el tamaño de partícula disminuyó en 60 % con respecto a la borra de café fresca, la cual presentó tamaños promedios de partícula de 743  $\mu\text{m}$ . La disminución de los tamaños de partícula de la borra de café después de cada uno de los procesos de secado podría confirmar el efecto significativo ( $p < 0.05$ ) del factor de espesor de la torta sobre el coeficiente de difusividad; evidenciando un posible cambio estructural del material, explicando el proceso de tortuosidad anteriormente expuesto; generando que la distancia recorrida por el vapor de agua sea menor.

El conocimiento de esta variable, cobra importancia desde el punto de vista de toma de decisiones para procesos tecnológicos, pues la borra de café deshidratada puede ser utilizada como materia prima en procesos industriales para diferentes tipos de industrias y productos. En este sentido, el tamaño de partícula es un aspecto importante en la procesos de fermentación, pues la reducción del material genera una mayor disponibilidad de su superficie para la actividad microbiana; en procesos de extracción permite maximizar el rendimiento del componente bioactivo de interés (Nayak & Bhushan, 2019); y producción de biofertilizantes (Li et al., 2013).

#### 4.2.5 Cafeína y capacidad antioxidante

En promedio, el valor de cafeína de la borra de café procesada fue de 4.5 mg/ gbs, ver tabla 7. Este valor está en el rango reportado por diferentes autores, el cual varía entre 1.94 y 11.5 mg / gbs (R. Cruz et al., 2012; Panusa, Zuorro, Lavecchia, Marrosu, & Petrucci, 2013). En general, ninguno de los factores estudiados presentó incidencia significativa ( $p > 0.05$ ) sobre el contenido de cafeína. Este resultado se debe a la estabilidad térmica de la molécula, la cual puede soportar tratamientos térmicos con temperaturas superiores a los 200 °C (Vignoli et al., 2011).

De la tabla 7, se puede ver que los diferentes procesos de secado permitieron obtener valores de capacidad antioxidante entre 22.56 y 319.08  $\mu\text{mol TE}$ s / gbs. En promedio la capacidad antioxidante disminuyó en 64 %, lo cual es acorde a lo reportado por diferentes autores (Horuz,

Bozkurt, Karataş, & Maskan, 2017; Méndez-Lagunas et al., 2017; Wojdyło, Figiel, Lech, Nowicka, & Oszmiański, 2014); quienes usaron secado convectivo en la deshidratación de frutas ricas en compuestos antioxidantes. Este efecto se debe a cambios físicos en el material y cambios estructurales de los compuestos antioxidantes. De igual manera, la concentración de agua, la exposición al oxígeno y la luz durante el proceso, facilita y por ende aumenta la degradación de los antioxidantes (Saavedra et al., 2017).

Con respecto al análisis estadístico, ninguno de los factores tuvo efecto significativo ( $p > 0.05$ ) sobre la capacidad antioxidante, esto se debe posiblemente a la gran variabilidad de los datos. Sin embargo, se evidenció que la capacidad antioxidante disminuye con el incremento de la temperatura, lo cual coincide con lo reportado con Wojdyło et al., (2014), quienes reportaron una mayor capacidad antioxidante en muestras de cerezas deshidratadas a 50 °C, que las tratadas a temperaturas de 60 y 70 °C. A pesar de que la temperatura no afectó significativamente la capacidad antioxidante (anexo 1); en la gráfica de efectos principales se pudo evidenciar un comportamiento parabólico en el rango de temperaturas estudiadas (figura 14), lo cual está en concordancia a lo encontrado en el análisis ANOVA, ya que la falta de bondad de ajuste no fue significativa para la capacidad antioxidante, este comportamiento podría implicar un modelo cuadrático. Este efecto parabólico se debe a que tanto la concentración como la capacidad antioxidante de ciertos compuestos fenólicos puede incrementar cuando son sometidos a condiciones extremas de estrés, como lo son largos periodos de tiempo de exposición a altas temperaturas, luz y oxígeno (Naczka & Shahidi, 2006).

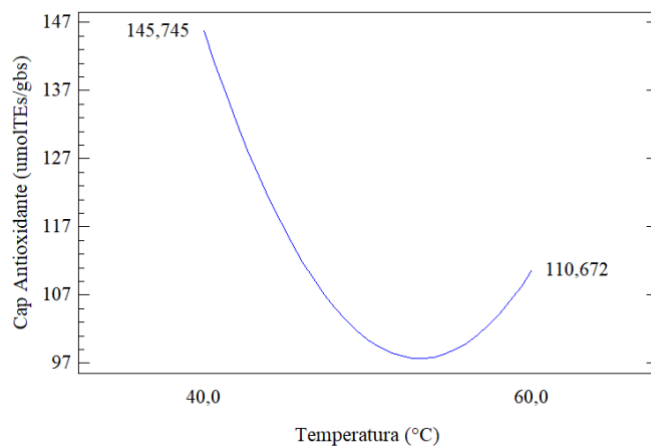


Figura 14. Efectos principales de capacidad antioxidante.

#### 4.2.6 Optimización del proceso de secado convectivo de la borra de café

Para optimizar el proceso de secado, fue usada la metodología de optimización de múltiples respuestas, buscando disminuir el contenido de humedad, y actividad acuosa; además de maximizar la capacidad antioxidante. Una vez la optimización del proceso fue realizada, las condiciones de proceso obtenidas fueron: temperatura 60 °C, velocidad de aire 2.0 m/s y espesor de torta 0.0128 m, con una deseabilidad del 77.42% (anexo 2). La figura 15 representa optimización del proceso de secado convectivo por medio de la metodología de superficie de respuesta.

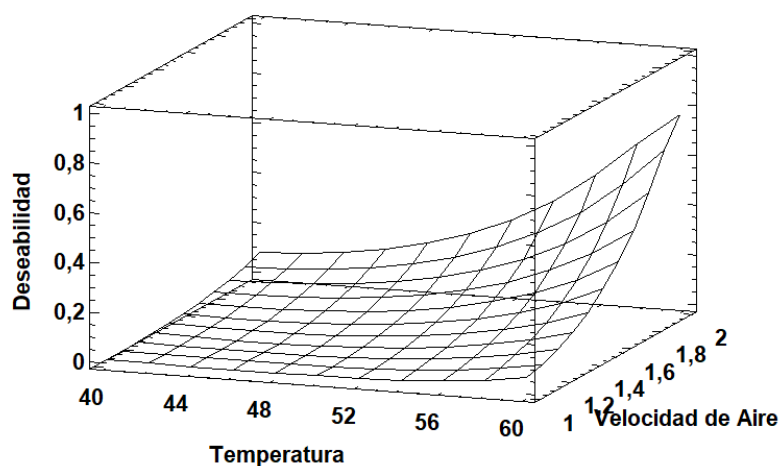


Figura 15. Superficie de respuesta para optimización de secado convectivo, espesor de torta 1.28 cm

De acuerdo con los valores encontrados en el análisis ANOVA (anexo 1) los factores temperatura, velocidad de aire y espesor de torta presentaron incidencia significativa sobre las variables de humedad, actividad de agua y el espesor de torta para el coeficiente de difusividad.

En términos de la bondad de ajuste no fue significativa para ninguna de las variables, lo cual implicaba el ajuste de los resultados de las variables a modelos cuadráticos. Las siguientes ecuaciones representan el modelo matemático para el contenido de humedad (ecuación 14),  $A_w$  (ecuación 15), capacidad antioxidante (ecuación 16), coeficiente de difusión basado en el



modelo de la 2da ley de Fick y el modelo anómalo (ecuación 17 y 18, respectivamente); que tienen los siguientes coeficientes R<sup>2</sup>: 76.68, 87.38, 74.07, 80.21 y 67.98 respectivamente.

$$\text{Humedad} = 83.96 + 0.74125T - 10.93A - 78.62L - 0.017425T^2 - 0.0345TA + 0.4525TL - 4.25A^2 + 9.39AL + 13.97L^2$$

*Ecuación 14. Modelo matemático para el contenido de humedad.*

$$A_w = -1.03971 + 0.123769T + 1.2465A - 2.17683L - 0.00134762T^2 - 0.024775TA + 0.02283TL - 0.23655A^2 + 0.2531AL + 0.2783L^2$$

*Ecuación 15. Modelo matemático para la actividad de agua.*

$$\text{Cap Antioxidante} = 2925.75 - 62.8636T - 1061.78A - 529.12L + 0.277921T^2 + 12.793TA + 9.4188TL + 86.4495A^2 + 100.933AL - 34.7135L^2$$

*Ecuación 16. Modelo matemático para la capacidad antioxidante.*

$$\text{Def}_{\text{Ley de Fick}} = 2.40375 - 0.0205T - 3.215A + 1.905L - 0.0001875T^2 + 0.024TA + 0.018TL + 0.365A^2 + 0.36AL - 0.415L^2$$

*Ecuación 17. Modelo matemático para el coeficiente de difusión basado en la 2da ley de Fick.*

$$\text{Def}_{\text{anómala}} = 68.0012 - 0.77425T - 34.6725A - 29.6275L + 0.00581T^2 + 0.13TA + 0.062TL + 6.175A^2L + 5.25AL + 7.615L^2$$

*Ecuación 18. Modelo matemático para el coeficiente de difusión de modelo anómalo.*

La tabla 8, muestra las características proximales de la borra de café deshidratada bajo las condiciones óptimas de procesamiento (temperatura 60 °C, velocidad de aire 2.0 m/s y espesor de torta 0.0128 m).

Tabla 8. Composición de la borra de café deshidratada con condiciones óptimas de proceso.

Parámetro (g/100 gbs)	Valor predicho	Valor Experimental
Humedad	2.48	5.50± 0.07
<b>a<sub>w</sub></b>	0.1818	0.306± 0.01
Cenizas	-	1.93± 0.01
Grasa	-	12.77 ± 0.04
Proteína (Nx6,25)	-	12.84 ± 0.12
Carbohidratos	-	72.45 ± 0.10

Calorías Kcal/100g	-	431.07
Capacidad Antioxidante*	160.19	163.95 ±10.82

\*  $\mu\text{mol TE}/\text{g}_{\text{bs}}$

En general, los parámetros de cenizas, grasa, proteína y carbohidratos no tuvieron grandes cambios con respecto a la composición de la borra de café húmeda. Las condiciones óptimas halladas permitieron obtener un producto con compuestos antioxidantes (48.88 % de retención con respecto al valor inicial) y con valores de humedad y actividad del agua que permiten su conservación, logrando estabilidad física, biológica y química (Puerta, 2006).

#### 4.2.7 Cinética de degradación térmica de compuestos antioxidantes de la borra de café

Con la finalidad de comprender el efecto de la temperatura sobre los compuestos antioxidantes de la borra de café, se evaluaron las cinéticas de degradación térmica, ajustando las concentraciones a cinéticas de reacción de primer orden (ecuación 19), lo cual permitió hallar la constante de reacción  $k$ .

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -kt$$

*Ecuación 19. Cinética de reacción de primer orden.*

Donde  $C$  es la concentración en el tiempo;  $C_0$  es la concentración en el tiempo 0;  $k$  es la constante de reacción y  $t$  corresponde al tiempo. La toma de las muestras de borra de café fue realizado por periodos de tiempo de 30 minutos. Una vez conocida las constantes de reacción, se utilizó la ecuación de Arrhenius (ecuación 20) para establecer la energía de activación ( $E_a$ ) de cada una de las variables analizadas; actividad antioxidante, contenido de polifenoles totales y ácidos clorogénicos [ácido 5-cafeoilquinico (5-CQA), ácido 3-cafeoilquinico (3-CQA), ácido 4-cafeoilquinico (4-CQA), ácido cafeico (CA), 3,4-dicafeoilquinico (3,4 di-CQA); ácido 4,5-dicafeoilquinico (4,5 di-CQA), ácido 3,5-dicafeoilquinico (3,5 di-CQA)].

$$k = A e^{\left(\frac{E_a}{-RT}\right)}$$

*Ecuación 20. Ecuación de Arrhenius.*

Donde  $k$  es la constante de la reacción;  $A$  es el actor de frecuencia;  $E_a$  es la energía de activación;  $R$  constante universal de los gases ( $8.3144 \text{ J / K mol}$ ) y  $T$  es la temperatura absoluta.

La tabla 9 presenta los resultados obtenidos para las constantes de reacción ( $k$ ), energía de activación ( $E_a$ ) y  $R_2$ , de los compuestos antioxidantes analizados en la borra de café. Las diferentes muestras de borra de café fueron secadas bajo las condiciones óptimas de velocidad de aire ( $2.0 \text{ m/s}$ ) y espesor de torta ( $0.0128 \text{ m}$ ); mientras la temperatura de proceso varió entre  $50$  y  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tabla 9. Parámetros de la cinética de degradación térmica de la capacidad antioxidante, polifenoles totales y ácidos clorogénicos de la borra de café.

	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	K ( $\text{h}^{-1}$ )	$R_2$	$E_A$ ( $\text{KJ/mol}$ )
Capacidad antioxidante	50	4.916	0.932	2.960
	60	5.148		
	70	5.243		
Contenido de polifenoles totales	50	5.964	0.983	1.290
	60	6.066		
	70	6.134		
5-CQA	50	3.675	0.814	2.830
	60	3.690		
	70	3.906		
3-CQA	50	4.468	0.935	2.080
	60	4.520		
	70	4.674		
4-CQA	50	4.018	0.843	2.500
	60	4.041		
	70	4.240		
3.4di-CQA	50	2.048	0.890	3.020
	60	2.157		
	70	2.188		
3.5di-CQA	50	2.007	0.998	3.570
	60	2.078		
	70	2.169		
4.5di-CQA	50	1.769	0.957	5.910
	60	1.839		
	70	2.010		

Cinéticas de degradación de primer orden fueron identificadas para la capacidad antioxidante, polifenoles totales y ácidos clorogénicos; donde la rata de degradación incrementa en función

de la temperatura. Resultados similares fueron reportados por Aurelio et al., (2008), y Oancea et al. (2017), quienes reportaron cinéticas de degradación de primer orden, para compuestos antioxidantes (antocianinas) y su capacidad antioxidante.

La energía de activación presentó valores de 2.960 kJ/mol para la capacidad antioxidante; 1.290 kJ/mol para polifenoles totales y 2.830, 2.080, 2.500, 3.020, 3.570, 5.910 kJ/mol; para 5-CQA, 3-CQA, 4-CQA, 3.4-diCQA, 3.5-diCQA y 4.5-diCQA respectivamente (tabla 9). Basados en los valores estimados para el parámetro K, se puede decir que, entre los ácidos clorogénicos estudiados, los compuestos más sensibles al calor son los monómeros 5-CQA, 3-CQA, 4-CQA. De igual manera, estos monómeros presentaron bajos valores de  $E_a$ , comparados con los dímeros 3.4-diCQA, 3.5-diCQA y 4.5-diCQA; lo cual se debe posiblemente a la complejidad de la estructura química. Bajos valores de energía de activación implican que la degradación de los compuestos fenólicos y ácidos clorogénicos sean altamente susceptibles al incremento de la temperatura; principalmente en tratamientos con temperaturas superiores a 60 °C; en las cuales, las velocidades de la reacción aumentan significativamente, cuando la temperatura incrementa. En el caso de procesos de secado en general, bajas  $E_a$  son deseadas pues disminuye el tiempo de proceso y el consumo energético; esto se debe a que las moléculas de agua requieren un menor aporte energético (Gan & Poh, 2014). No obstante, de acuerdo con los resultados obtenidos para moléculas como los ácidos clorogénicos; bajas  $E_a$  generan cambios y reacciones químicas con mayor rapidez. La tabla 10 muestra los valores obtenidos de actividad antioxidante, concentración de polifenoles totales y ácidos clorogénicos.

Tabla 10. Actividad antioxidante y concentración de polifenoles totales y ácidos clorogénicos bajo diferentes condiciones de temperatura.

Compuesto	Valor inicial	50 °C	60 °C	70°C
ABTS+	277.13±2.1	137.23±2.0	105.48±1.9	83.90±1.8
CPT	730.30±0.2	374.86±0.2	304.62±0.1	309.48±0.3
5-CQA	0.406±0.1	0.450±0.1	0.363±0.1	0.318±0.1
3-CQA	0.897±0.1	0.998±0.1	0.839±0.1	0.713±0.1
4-CQA	0.573±0.1	0.630±0.1	0.516±0.1	0.448±0.1
CA	0.005±0.01	0.021±0.01	0.023±0.01	0.016±0.01
3.4 di-CQA	0.079±0.4	0.075±0.4	0.072±0.4	0.065±0.4

3.5 di-CQA	0.075±0.4	0.079±0.4	0.074±0.4	0.062±0.4
4.5 di-CQA	0.061±0.1	0.061±0.1	0.057±0.1	0.048±0.1
ACGs totales	2.095±0.1	2.314±0.1	1.944±0.1	1.669±0.1

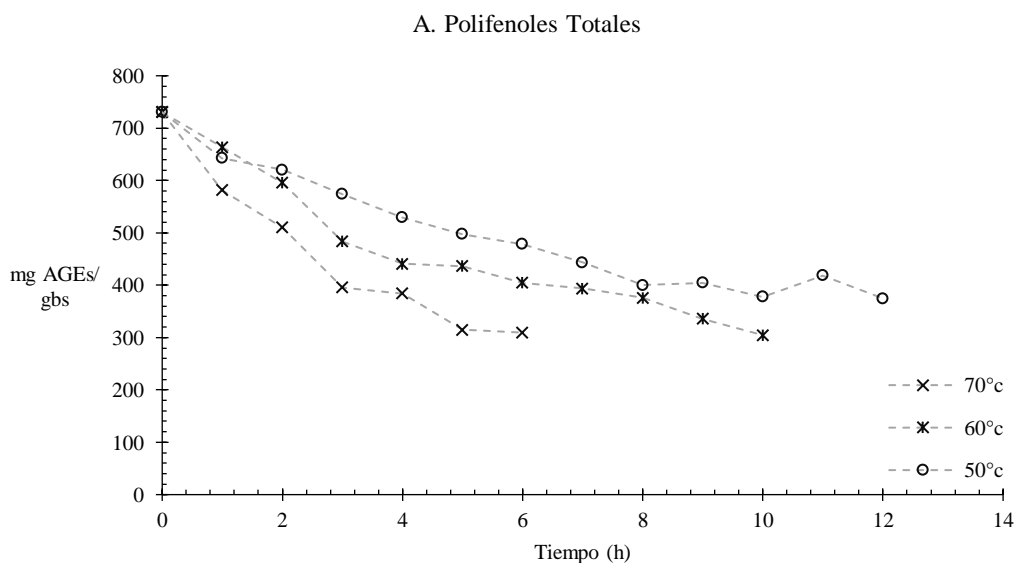
ABTS+:  $\mu\text{mol TEs /gbs}$ ; CPT:  $\text{mg AGEs /gbs}$ ; ACGs:  $\text{mg/gbs}$

En la tabla 10, se puede ver que la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales del producto sin secar presentaron valores de  $277.13 \mu\text{molTEs /gbs}$  y  $730.30 \text{ mg AGE /gbs}$ , respectivamente. Valores similares fueron reportados por diferentes autores (Bravo et al., 2012; Campos-Vega et al., 2015; Murthy & Naidu, 2012). En efecto, en términos generales la capacidad antioxidante de las muestras analizadas disminuyó entre 50 - 70%, y el contenido de polifenoles totales disminuyó entre 49 - 58%, dicho comportamiento se debe a la prolongada exposición de los alimentos al oxígeno y a las altas temperaturas de proceso, (Wojdyło et al., 2014). Algunos autores han reportado pérdidas similares para estos parámetros en muestras sometidas a procesos de secado convectivo, como lo son: fresas (Méndez-Lagunas et al., 2017) cerezas (Horuz et al., 2017) y subproductos de aguacate (Saavedra et al., 2017).

En las figuras 16 A y 18 B se puede ver el comportamiento de los polifenoles totales y la capacidad antioxidante de las muestras de borra de café sometidas a procesos de secado a diferentes condiciones de temperatura. La cinética de la disminución de la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos mostró una rápida degradación de durante las primeras 1.5 horas de cada uno de los procesos de secado (figura 16 A y 16 B). Este fenómeno se debe a cambios estructurales de las moléculas y al alto contenido de humedad, lo cual facilita las reacciones de degradación, actuando como catalizador (Saavedra et al., 2017). Una segunda etapa de degradación tomó lugar al final de cada secado; dicho efecto fue reportado por (Méndez-Lagunas et al., 2017), quien atribuye este comportamiento a cambios en la estructura molecular de los compuestos antioxidantes y que probablemente se tiene el proceso de secado decreciente (Onwude et al., 2016), en el cual la temperatura de secado puede catalizar las reacciones de degradación de compuestos en alimentos.

Para el caso de los ácidos clorogénicos (ACGs), estas son moléculas solubles en agua, formadas por la esterificación del ácido quínico y una o más moléculas de ácido cafeico en los carbonos 3, 4 o 5; dando como resultado los ácidos monocateolquínicos (3-CQA, 4-CQA, 5-

CQA) y los ácidos dicafeolquinicos ( 3,4-diCQA, 3,5-diCQA, 4,5-diCQA) (Campos-Vega et al., 2015; Farah, 2012). La concentración inicial total de ACGs fue de 2.095 mg ACGs/ g<sub>bs</sub>, es inferior a la encontrada en otros estudios donde se han reportado valores entre 4.78 y 13.24 mg ACGs/ g<sub>bs</sub> (Bravo et al., 2012; R. Cruz et al., 2012; López-Barrera et al., 2016). La concentración inicial de cada uno de los ácidos analizados fue 0.406, 0.897, 0.573, 0.005, 0.079, 0.075, 0.061 mg/g<sub>bs</sub> para 5-CQA, 3-CQA, 4-CQA, CA, 3,4-diCQA, 3,5-diCQA y 4,5-diCQA, respectivamente.



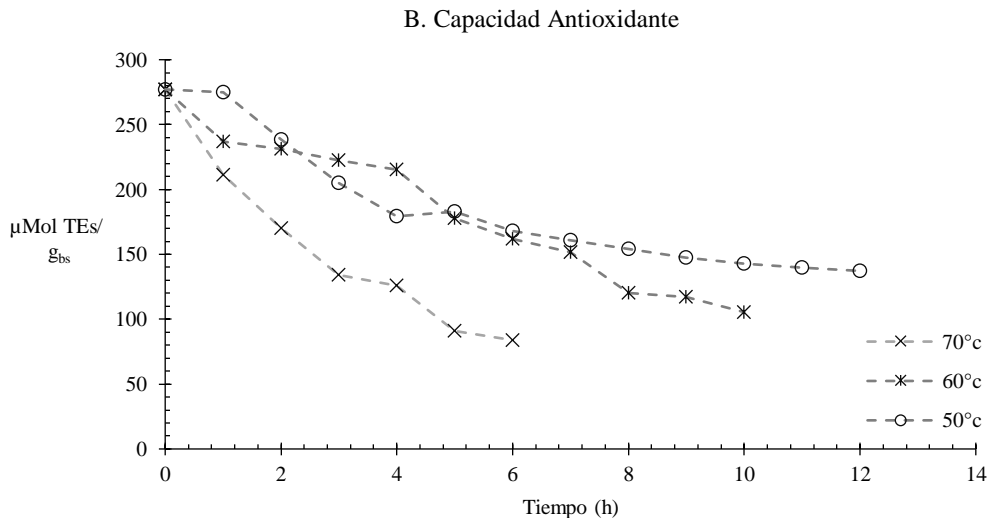


Figura 16 Contenido total de polifenoles (A), Capacidad antioxidante total (B) de muestras de borra de café sometidas a secado convectivo bajo diferentes condiciones de temperatura.

En términos generales las temperaturas de 70 y 60 °C disminuyeron la concentración total de ACGs en 20 y 8 % respectivamente; mientras que el proceso llevado a cabo a 50 °C la concentración incrementó en 5%, esto con respecto a la concentración inicial de la borra de café. En el caso específico del ácido cafeico su concentración incrementó en 352, 392 y 235 %; ya que pasó de una concentración inicial de 0.005 mg/g<sub>bs</sub> a 0.021, 0.023 y 0.016 mg/g<sub>bs</sub> en los procesos de 70, 60 y 50 °C, respectivamente (tabla 10). El efecto del secado sobre los ácidos clorogénicos se debe a la inestabilidad térmica de esta clase de compuestos, los cuales pueden presentar isomerización, epimerización, lactonización, hidrólisis y degradación a compuestos de bajo peso molecular (Farah, 2012). De acuerdo con los resultados hallados, se puede inferir que las temperaturas usadas generan cambios estructurales debido a procesos de isomerización posicional e hidrólisis. La isomerización posicional refleja cambios en la posición del ácido cafeico con respecto al sitio de unión inicial con el ácido quínico (figura 17), lo cual explica el aumento y disminución de la concentración de los diferentes ácidos mono y di cafeolquínicos. La hidrólisis, se basa en la ruptura del enlace entre los ácidos quínico y cafeico (figura 17); lo cual explica el aumento (>230%) en la concentración del ácido cafeico durante los diferentes secados, esto, también significa el aumento del ácido quínico.

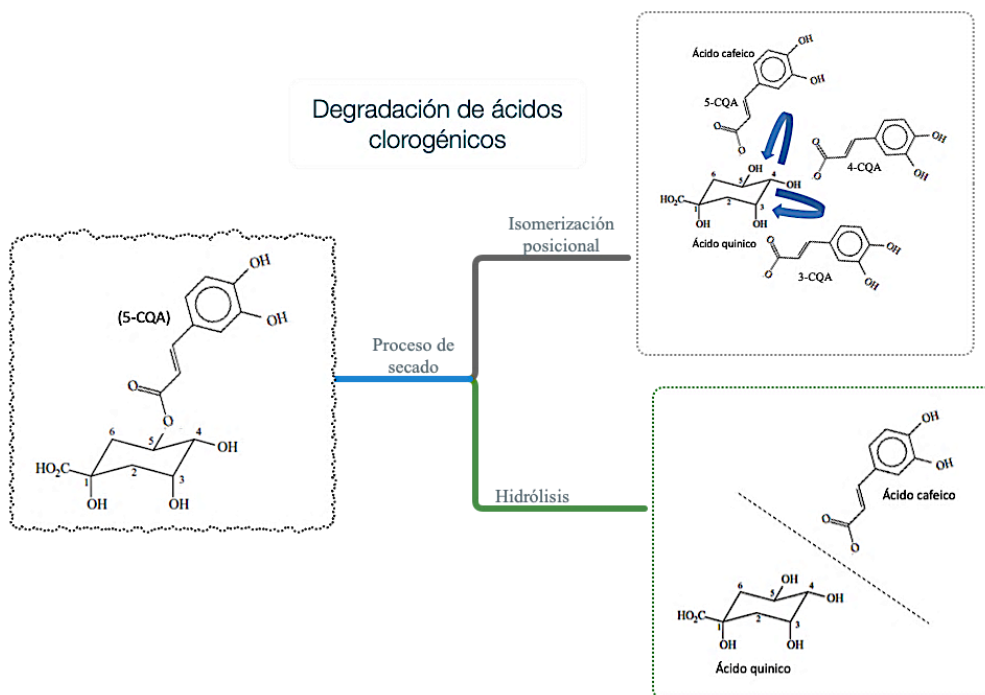


Figura 17 Isomerización posicional e hidrólisis de ácidos clorogénicos.

#### 4.2.8 Relevancia de los resultados obtenidos

En general, se puede concluir que el secado convectivo es una técnica adecuada para procesar los desechos generados en la industria del café, ya que permite obtener una materia prima con propiedades tecnológicas y funcionales con potencial de aplicación en la industria alimentaria y/o farmacéutica. La optimización del proceso arrojó condiciones de temperatura, velocidad del aire y espesor de la torta de 60 °C, 2.0 m/s, 0.0128 m respectivamente. Se determinó que la cinética de degradación de los ácidos clorogénicos es de primer orden, debido a las reacciones de hidrólisis y la isomerización posicional. Se puede decir que el proceso de secado es una buena alternativa para manejar los residuos de la industria del café, ya que además de obtener una materia prima con propiedades beneficiosas para la salud debido a su contenido de ácidos clorogénicos, además de reducir el impacto ambiental.



#### 4.3 Obtención y caracterización de un ingrediente alimentario a partir de subproductos agroindustriales.

##### Objetivo específico 3.

*“Establecer las mejores condiciones de secado convectivo que potencien algunas propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de una borra de café deshidratada”.*

Una vez establecidas las condiciones óptimas de secado de la borra de café, se creó el protocolo de mezcla entre el suero lácteo concentrado y la borra de café y su procesamiento por medio de secado por atomización. Para una mejor comprensión del texto, en adelante las muestras producto del secado por atomización se identificarán como “WC-SCG”. A continuación, se relacionan los resultados obtenidos en dicho proceso. La figura 18 presenta las muestras correspondientes a los secados por atomización desarrollados.



*Figura 18. Muestras secado por atomización.*

##### 4.3.1 Propiedades nutricionales y funcionales

Luego del proceso de secado de las diferentes mezclas realizadas, se evaluó el contenido de lisina disponible, HMF, furfural, índice de pardeamiento, cafeína, capacidad antioxidante y polifenoles totales de las diferentes muestras de WC-SCG procesadas (tabla 11).

Tabla 11. Lisina disponible, HMF, furfural, índice de pardeamiento, cafeína, capacidad antioxidante y polifenoles totales de WC-SCG.

No	% Borra	Lisina disponible <sup>a*</sup>	HMF <sup>b+</sup>	Furfural <sup>b+</sup>	Índice de pardeamiento <sup>*</sup>	Cafeína <sup>c*</sup>	ABTS <sup>d*</sup>	Polifenoles Totales <sup>e*</sup>
1	10	3.059±0.354	0.136±0.001	0.445±0.003	0.841±0.303	10.0±0.5	19.364±0.039	3.457±0.197
2	16	3.407±0.147	0.655±0.001	0.375±0.006	0.658±0.002	9.0±0.5	20.765±0.056	3.787±0.183
3	16	3.177±0.055	0.211±0.002	0.419±0.013	0.827±0.047	12.0±0.6	22.301±0.033	3.746±0.246
4	10	3.618±0.072	0.174±0.002	0.447±0.006	0.676±0.015	10.0±0.5	23.154±0.010	4.002±0.311
5	4	4.072±0.139	0.247±0.002	0.269±0.008	0.695±0.093	10.0±0.5	20.533±0.096	3.335±0.167
6	4	3.275±0.273	0.138±0.001	0.084±0.002	0.292±0.013	4.0±0.2	10.314±0.074	2.427±0.129
7	10	4.006±0.211	0.238±0.001	0.162±0.006	0.429±0.084	6.0±0.3	12.997±0.054	3.119±0.121
8	4	3.735±0.053	0.246±0.002	0.093±0.005	0.434±0.035	5.0±0.2	21.377±0.114	2.764±0.262
9	16	2.233±0.104	0.231±0.003	0.135±0.004	0.623±0.052	7.0±0.3	9.994±0.013	3.100±0.128

<sup>a</sup> Expresado en g/100 g de proteína; <sup>b</sup> mg/100 g de proteína; <sup>c</sup> mg/100 g; <sup>d</sup> μmol ETs/gbs; <sup>e</sup> mg AGEs /gbs. Valor promedio ± SD. \*n=3; +n=4.

#### 4.3.1.1 Lisina disponible

La naturaleza termolábil de la lisina, hace de este aminoácido uno de los mayores compuestos de interés a ser analizados en alimentos proteicos sometidos a procesos de secado por atomización (Schmitz-Schug et al., 2016). El contenido de lisina disponible permite obtener información sobre la calidad nutricional del producto deshidratado. De acuerdo con la tabla 11, la lisina disponible varió entre 2.23 y 4.07 g /100 g de proteína para los diferentes procesos de secado realizados.

Con respecto al análisis de LSD, el porcentaje de borra de café no incidió significativamente ( $p > 0.05$ ; anexo 3) sobre el contenido de lisina disponible. No obstante, las mezclas de 4, 10 y 16% brindaron concentraciones promedio de lisina disponible de 3.69, 3.56 y 2.94 g/100 g de proteína, respectivamente; lo cual indica una tendencia de mayor cantidad de lisina disponible cuando la cantidad de borra de café es menor (figura 19). Dicha tendencia se puede explicar debido a la presencia de compuestos antioxidantes como los polifenoles y ácidos clorogénicos provenientes de la borra de café. Esta clase de compuestos tienen la capacidad de interactuar con macromoléculas como las proteínas; formando complejos proteína-polifenoles (Dönmez, Mogol, & Gökmen, 2017). Por tal razón, cuando la relación de borra aumenta en la mezcla, más complejos son formados y la cantidad de lisina tiende a disminuir.

La figura 19 presenta el comportamiento de la variable lisina disponible en las muestras en polvo de WC-SCG, con diferentes porcentajes de borra de café.

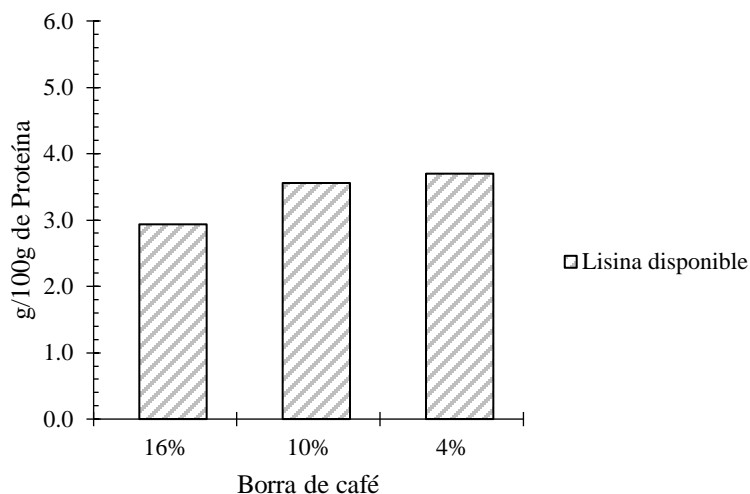


Figura 19. Lisina disponible de WC-SCG con diferentes porcentajes de borra de café (4, 10 y 16%).

En promedio, el valor de lisina disponible fue 3.40 g/ 100 g proteína, el cual es similar al reportado en muestras de leche en polvo descremada (3.23 g/100 g proteína) (Aalaei, Rayner, y Sjöholm, 2016). De igual manera se encuentra en el rango reportado para suplementos proteicos basados en proteínas de suero lácteo y caseinatos (1.33 y 11.6 g/100 g de proteína, respectivamente) (Sánchez-Oliver et al., 2018). No obstante, es inferior al valor reportado para formulas infantiles (4.88 y 5.58 g/100 g de proteína) (Contreras-Calderón, Guerra-Hernández, y García-Villanova, 2009), proteínas y proteínas hidrolizadas de suero lácteo (4.33 a 7.50 g/100 g de proteína) (Contreras-Calderón, Guerra-Hernández, y García-Villanova, 2008).

Los valores de lisina disponible hallados en las diferentes muestras de WC-SCG, cuando son comparados con otras fuentes proteicas que no han sufrido tratamientos térmicos, presentan valores inferiores; como lo son: micro algas, soya, caseína y huevo, los cuales tienen valores promedio de 5.14, 4.47, 6.34 y 5.29 g/100 g de proteína respectivamente. No obstante, WC-SCG presenta valores superiores de lisina disponible comparado con otras fuentes proteicas como el trigo, avena y arroz (1.35, 2.03 y 2.40 g/100 g de proteína respectivamente) (Gorissen

et al., 2018). El proceso de secado por atomización realizado permitió obtener un producto con una concentración de lisina disponible comparable con diferentes matrices alimentarias.

#### 4.3.1.2 Hidroximetilfurfural (HMF) y furfural

Como se puede ver en la tabla 11, el contenido de HMF presentó valores entre 0.136 y 0.655 mg/ 100g proteína, mientras que el furfural varió entre 0.084 y 0.447 mg/ 100g proteína. El factor porcentaje de borra de café no presentó incidencia significativa ( $p > 0.05$ ; anexo 3) sobre el contenido de HMF y furfural. No obstante, la mayor cantidad de HMF y furfural promedio se evidencia cuando la cantidad de borra de café en la mezcla es mayor (figura 20).

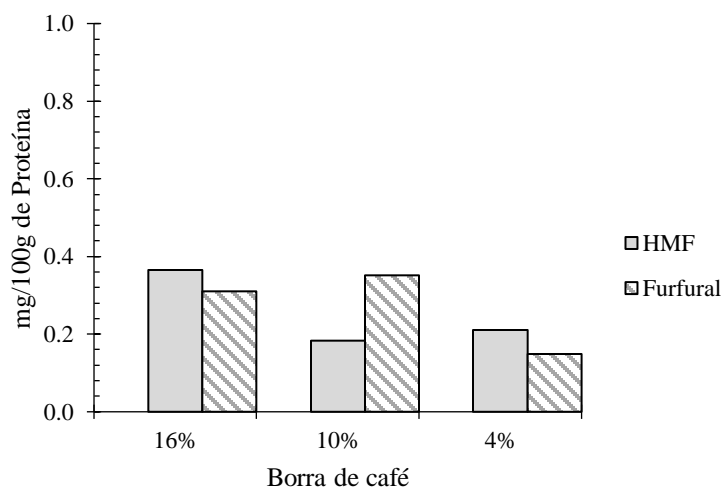


Figura 20. HMF y Furfural de WC-SCG con diferentes porcentajes de borra de café (4, 10 y 16%).

El contenido de HMF de las muestras de WC-SCG obtenidas por secado spray, es similar al reportado por otros autores en matrices con proteínas lácteas. Es así como se han reportado concentraciones que oscilan entre 0.14 a 1.15 mg / 100g de proteína en muestras comerciales de suero lácteo en polvo (Gómez-Narváez, Medina-Pineda, y Contreras-Calderón, 2017). Contreras-Calderón, Guerra-Hernández, y García-Villanova (2008) reportaron contenidos de HMF en muestras de proteína de suero lácteo entre 0.16 - 2.50 mg/ 100g de proteína. Dichos autores atribuyen la presencia de compuestos de HMF a los procesos térmicos y a inadecuadas condiciones de almacenamiento.

Así mismo, en el café se han reportado valores de HMF entre 2.33 – 411.2 mg/100g (Contreras-Calderón et al., 2016), 4.0 - 230 mg/100g (Vignoli et al., 2014); donde la presencia de HMF en el café, está en función del grado de tuestión y la variedad de café procesado. Los anteriores valores son superiores a los hallados en las muestras de WC-SCG. Este comportamiento se debe a que el HMF es un compuesto hidrosoluble, por lo cual casi su totalidad se extrae en la preparación de la bebida (Contreras-Calderón et al., 2016).

En el caso del furfural, ninguno de los autores anteriormente citados, reportó concentraciones en las matrices mencionadas, lo cual no está en concordancia a los resultados encontrados para el WC-SCG; el anterior comportamiento se puede explicar debido a la presencia de la borra de café, pues el café es un producto que durante su producción sufre tratamientos térmicos severos, que facilita reacciones de Maillard generando esta clase de compuestos. No obstante, las concentraciones halladas en las diferentes muestras analizadas son inferiores a las reportadas en muestras de café, las cuales se encuentran entre 0.18 y 13.5 mg/100g (Vignoli et al., 2014). Esto se debe a que el furfural es un compuesto altamente soluble en agua y se extrae en la preparación de la bebida (Contreras-Calderón et al., 2016).

En términos generales, el polvo obtenido es un producto con bajas concentraciones de HMF y furfural; los cuales, de acuerdo con reportes realizados por diferentes autores son altamente tóxicos y presentan efectos adversos a la salud, pues han sido asociados en diferentes estudios toxicológicos, con el cáncer de colon, papilomas de la piel, tumores en el riñón y efectos mutagénicos (Capuano & Fogliano, 2011; Kavousi, Mirhosseini, Ghazali, & Ariffin, 2015; Morales, 2008).

#### 4.3.1.3 Índice de pardeamiento

Como se puede observar en la tabla 11, los valores del índice de pardeamiento de las muestras de WC-SCG variaron entre 0.292 y 0.841. Con respecto al análisis estadístico, el porcentaje de borra de café no afectó significativamente el índice de pardeamiento ( $p > 0.05$ ; anexo 3). Una posible explicación para la falta de significancia de los resultados, es la que las

melanoidinas pueden presentar absorbancia en el rango UV (<400 nm) (Patrignani et al., 2019); lo cual generaría una subestimación de la medición. No obstante, al profundizar en el análisis de los resultados, se observó una tendencia donde las mezclas de 4, 10 y 16% de borra de café brindaron absorbancias promedio de 0.473, 0.649 y 0.703, respectivamente; lo cual indica una mayor absorbancia cuando la cantidad de borra de café incrementa.

Finalmente, al analizar las correlaciones de Pearson (anexo 4). El índice de pardeamiento presentó una correlación significativa positiva con el furfural ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.85$ ), lo anterior se puede explicar debido a que tanto las melanoidinas como el furfural, son compuestos que quedan presentes en la borra de café luego del proceso de la preparación de la bebida, por tal motivo aumentan proporcionalmente con el aumento de la concentración de borra en la solución. Los valores del índice de pardeamiento hallados son similares a los reportados para una matriz de café tostado y molido (0.48) (Contreras-Calderón et al., 2016) y superiores a los encontrados en muestras comerciales de suero lácteo, proteína concentrada de suero, permeado de suero lácteo y formulas infantiles (0.0052 - 0.0256) (Ferrer et al., 2005; Gómez-Narváez et al., 2017).

#### 4.3.1.4 Cafeína

Los valores obtenidos para la cafeína de las muestras de WC-SCG variaron entre 4.0 y 12.0 mg / 100g, ver tabla 11. Además, se puede establecer que el porcentaje de borra de café no afectó significativamente el contenido de cafeína de las muestras analizadas ( $p > 0.05$ ); este resultado se puede explicar debido a que la cafeína al ser un compuesto soluble en agua, la mayor concentración de esta es extraída en el proceso de preparación de la bebida. Sin embargo, el contenido de cafeína incrementó proporcionalmente con el aumento del porcentaje de borra de café en la mezcla, además y de acuerdo con los análisis de Pearson (anexo 4) el contenido de cafeína del polvo obtenido tiene correlación significativa positiva con el contenido de furfural e índice de pardeamiento ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.94$  y  $0.93$  respectivamente). Este resultado es de esperar, dado que la borra de café es la materia prima usada que aporta esta clase de compuestos.

Los valores de cafeína hallados en las muestras de WC-SCG son inferiores a los encontrados en productos y subproductos del café, ya que se han reportado concentraciones entre 2840 y 3640 mg/ 100g en muestras de café variedad arábica, y para la variedad robusta se han reportado concentraciones entre 3980 y 4750 mg/ 100g (Vignoli et al., 2011). En el caso de la borra de café, la concentración de cafeína varía entre 200 y 1100 mg/ 100g (Panusa et al., 2013). Las diferentes muestras de WC-SCG obtenidas presentaron baja concentración de cafeína, lo cual disminuye sus posibles efectos en el cuerpo, entre los cuales se encuentran palpitations, incremento de la presión sanguínea y estrés (Bhandari et al., 2013).

#### 4.3.1.5 Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles totales (CPT)

De la tabla 11, se puede observar que el CPT estuvo entre 2.42 - 4.00 mg de AGEs/ g<sub>bs</sub>, mientras que la capacidad antioxidante varió entre 9.99 y 23.15  $\mu$ mol TEs/ g<sub>bs</sub>. El porcentaje de borra de café no presentó una incidencia significativa ( $p > 0.05$ ; anexo 3) sobre el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante del polvo de WC-SCG. Sin embargo, su actividad y concentración incrementaron en función de la cantidad de borra de café en la mezcla. La figura 21 presenta el comportamiento de la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales de las muestras obtenidas.

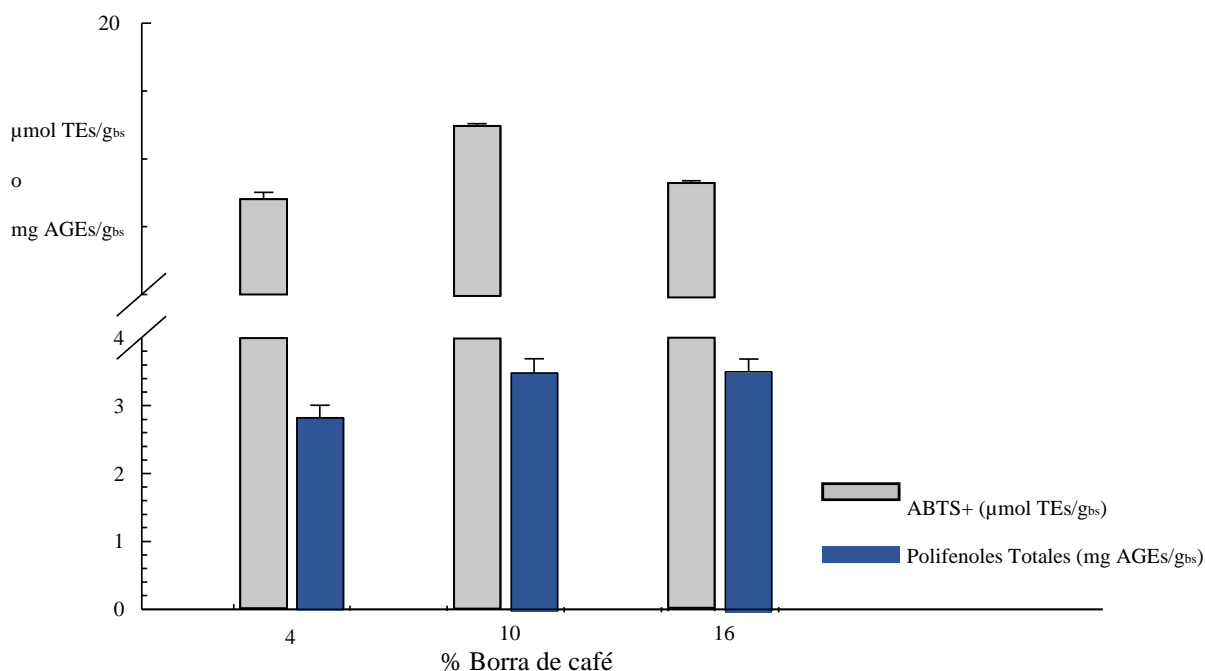


Figura 21. Capacidad antioxidante y polifenoles totales de las muestras WC-SCG con diferentes porcentajes de borra de café (4, 10 y 16%).

En función de los resultados del análisis de Pearson (anexo 4), la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles, presentaron una correlación positiva y significativa con la variable cafeína ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.72$  y  $0.90$  respectivamente), lo cual es acorde con lo reportado por Vignoli et al., (2011) quienes hallaron alta correlación entre la capacidad antioxidante y el contenido de cafeína, en muestras de café variedad Robusta. Así mismo, significativas correlaciones fueron halladas con respecto al índice de pardeamiento ( $r = 0.61$  y  $0.80$  para ABTS<sup>+</sup> y CPT, respectivamente), dicha relación se debe a que las melanoidinas poseen actividad antioxidante (Vignoli et al., 2011); las cuales pueden tener compuestos fenólicos dentro de su estructura (Vignoli et al., 2014).

#### 4.3.1.6 Ácidos clorogénicos (ACGs)

En la tabla 12, se muestran el contenido Ácidos clorogénicos (ACGs), de las muestras obtenidas. En general el contenido de ácidos clorogénicos totales de las muestras de WC-SCG estuvo entre 0.211 y 0.805 mg/gbs. El porcentaje de borra de café no afectó significativamente ( $p > 0.05$ ; anexo 3) la concentración de ACGs. Sin embargo, la concentración de ACGs incrementó con el porcentaje de borra de café en la mezcla (figura 22).

Tabla 12. Contenido de ácidos clorogénicos en las muestras de WC-SCG.

No	% Borra de café	5-CQA <sup>a</sup>	4-CQA <sup>a</sup>	3-CQA <sup>a</sup>	CA <sup>a</sup>	3.4-diCQA <sup>a</sup>	3.5-diCQA <sup>a</sup>	4.5-diCQA <sup>a</sup>	ACGs totales
1	10	0.103±0.001	0.125±0.003	0.198±0.001	0.000±0.001	0.052±0.001	0.071±0.001	0.042±0.001	0.591±0.005
2	16	0.120±0.001	0.159±0.002	0.263±0.003	0.002±0.001	0.064±0.001	0.089±0.001	0.047±0.001	0.744±0.001
3	16	0.135±0.001	0.174±0.003	0.267±0.001	0.002±0.001	0.074±0.001	0.102±0.001	0.052±0.001	0.805±0.003
4	10	0.119±0.001	0.153±0.003	0.235±0.001	0.001±0.001	0.063±0.001	0.091±0.001	0.047±0.001	0.709±0.003
5	4	0.070±0.001	0.086±0.002	0.144±0.001	0.000±0.001	0.040±0.001	0.058±0.001	0.032±0.001	0.431±0.001
6	4	0.038±0.001	0.041±0.001	0.078±0.002	0.000±0.001	0.014±0.001	0.021±0.001	0.018±0.001	0.211±0.001
7	10	0.061±0.001	0.087±0.002	0.145±0.004	0.000±0.001	0.032±0.001	0.045±0.001	0.029±0.001	0.399±0.006
8	4	0.041±0.001	0.051±0.001	0.082±0.001	0.000±0.001	0.023±0.001	0.032±0.001	0.023±0.001	0.253±0.001
9	16	0.066±0.001	0.089±0.001	0.131±0.001	0.000±0.001	0.037±0.001	0.052±0.001	0.031±0.001	0.406±0.001

<sup>a</sup> Expresado en mg/ gbs. Valor promedio ± SD. n=3.

La concentración de ACGs presentó una alta y significativa correlación ( $p < 0.05$ ) con las variables respuesta, índice de pardeamiento, capacidad antioxidante, polifenoles totales y cafeína ( $r = 0.74$ ,  $0.61$ ,  $0.84$  y  $0.85$ , respectivamente), ver anexo 4. Dicha correlación se debe a que todas las variables mencionadas están relacionadas con la actividad antioxidante, lo que



indica una sinergia entre estos compuestos. Así mismo, los ácidos clorogénicos son algunos de los compuestos fenólicos responsables de la actividad antioxidante del café (Souza et al., 2010); y están asociados con algunos efectos benéficos para la salud, como la reducción de enfermedades cardíacas, diabetes tipo II y Alzheimer (Ranheim & Halvorsen, 2005). Así mismo, se les ha atribuido algunas bioactividades como actividades antioxidante, anti cáncer y anti mutagénicas (Shang, Xu, Lee, & Um, 2017).

Comparado con productos y subproductos del café, el WC-SCG presentó valores inferiores de ácidos clorogénicos, ya que en muestras de café se han reportado concentraciones entre 4.1 y 11.3 g/100 g para café variedad arábica y robusta, respectivamente (Farah, 2012). En el caso específico de la borra de café se tienen valores 0.48 y 1.32 g/ 100 g (López-Barrera et al., 2016). Dicho resultado es de esperar, ya que los compuestos antioxidantes de la borra de café se encuentran diluidos en el suero lácteo. La Figura 22 muestra el comportamiento de la concentración de los diferentes ácidos clorogénicos analizados en las muestras de WC-SCG.

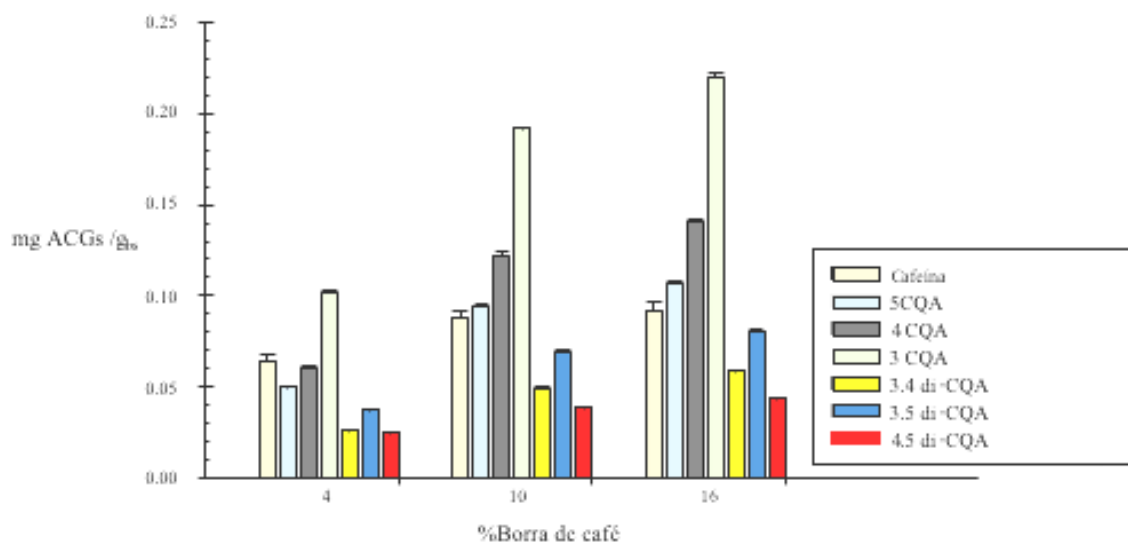


Figura 22. Concentración de ácidos clorogénicos en Whey-SCG.

#### 4.3.2 Propiedades fisicoquímicas

En la tabla 13, se muestran los valores obtenidos para porcentaje de humedad,  $A_w$ , densidad aparente, tamaño de partícula, capacidad de retención de aceite, formación y estabilidad de espuma, correspondientes a los diferentes tratamientos de las muestras de WC-SCG obtenido después del proceso de secado por atomización.

Tabla 13. Resultados del diseño experimental del secado spray de las diferentes mezclas de suero concentrado y borra de café.

No	Humedad		$A_w$	Densidad Aparente	Tamaño de Partícula	Capacidad de retención de aceite	Formación de espuma	Estabilidad de espuma
	% Borra	g/100g		g/cm <sup>3</sup>	micras	g aceite /g	mL	min
1	10	3.405±0.33	0.233±0.01	0.481±0.10	39.8±0.04	1.06±0.10	6.00±0.10	5.24±0.10
2	16	3.223±0.15	0.256±0.03	0.447±0.10	53.2±0.24	0.94±0.10	4.50±0.80	2.75±0.26
3	16	2.771±0.10	0.204±0.06	0.440±0.10	53.3±0.20	1.90±0.10	4.50±0.50	2.54±0.45
4	10	3.000±0.11	0.235±0.01	0.434±0.10	43.2±1.40	2.12±0.10	4.26±0.25	2.92±0.34
5	4	3.238±0.38	0.223±0.01	0.477±0.10	42.2±0.19	1.78±0.10	3.55±0.45	2.22±0.15
6	4	3.746±0.18	0.284±0.01	0.533±0.10	40.2±1.83	1.72±0.10	3.00±0.50	1.40±0.06
7	10	3.419±0.06	0.213±0.01	0.527±0.10	35.2±1.57	2.14±0.10	4.66±0.28	4.34±0.07
8	4	2.746±0.40	0.306±0.01	0.563±0.10	45.4±0.55	2.12±0.10	5.50±0.26	5.12±0.10
9	16	3.711±0.32	0.319±0.01	0.560±0.10	42.4±1.27	2.03±0.10	4.70±0.28	4.30±0.11

En general, el contenido de humedad de las muestras osciló entre 2.74 y 3.74 g/100g; en tanto que la  $A_w$  tuvo como valor promedio 0.252, con un rango de 0.204 y 0.319. Con respecto al análisis estadístico se encontró que el porcentaje de borra de café no presentó incidencia significativa ( $p > 0.05$ ), sobre dichas variables (anexo 3). Los valores de humedad y  $A_w$  obtenidos hacen del WC-SCG un producto microbiológicamente estable, ya que la disponibilidad de agua libre es menor, lo cual reduce el crecimiento de microorganismos y retarda reacciones de deterioro (Oliveira et al., 2018).

El contenido de humedad y  $A_w$  (tabla 13), están en concordancia con los valores reportados, por algunos autores para matrices alimentarias sometidas a procesos de secado por atomización. Felix da Silva et al., (2018) reportaron valores de 3.6 - 4.2 % en muestras de queso en polvo; Nishanthi et al., (2017b), reportaron valores de humedad entre 3.9 - 5.7 % en diferentes tipos de suero en polvo. Bazaria y Kumar, (2016) obtuvieron valores entre 2.81- 4.37 % para muestras de jugo de remolacha y suero lácteo. Por último, Osorio et al., (2014), reportaron contenidos de humedad entre 1.69 - 2.14 g/ 100g, para muestras de una base espumante en polvo obtenida a partir de suero lácteo.

Con respecto a los resultados de densidad aparente oscilaron entre 0.434 y 0.563 g/cm<sup>3</sup> y su valor promedio fue de 0.495 g/cm<sup>3</sup> (tabla 13). Estos valores, permiten tener un producto con buen comportamiento al momento del empaque y estabilidad en el almacenamiento. Estas características se deben a que altos valores de densidad aparente, permiten tener menor volumen de aire dentro de la matriz, lo cual retrasa los procesos de oxidación (Dantas, Pasquali, Cavalcanti-Mata, Duarte, & Lisboa, 2018).

Los valores hallados son superiores a los reportados por Goula y Adamopoulos, (2005), quienes reportaron valores entre 0.199 y 0.365 g/cm<sup>3</sup> en muestras de pulpa de tomate. Oliveira et al., (2018) obtuvieron valores de densidad aparente entre 0.154 y 0.202 g/cm<sup>3</sup>, en muestras de suero lácteo con diferentes porcentajes de piel de uva. La diferencia de valores se debe a la influencia de la temperatura en los procesos de secado por atomización, ya que altas temperaturas de secado generan menor densidad aparente (Elversson & Millqvist-Fureby, 2005). Sin embargo, los valores hallados para las muestras de WC-SCG están en concordancia con lo reportado por Bhandari et al., (2013), quienes reportaron valores de densidad aparente para productos en polvo como leche, chocolate y harina entre 0.520 – 0.590 g/cm<sup>3</sup>. Finalmente, la densidad aparente no fue influenciada significativamente ( $p > 0.05$ ) por el porcentaje de borra de café (anexo 3).

Con respecto al tamaño de partícula, los resultados obtenidos oscilaron entre 35.20 y 53.30  $\mu\text{m}$ ; estando en concordancia con lo reportado en diferentes matrices alimentarias sometidas a proceso de secado por atomización, tales como: leche descremada (Y. Lin, Kelly, O'Mahony, & Guinee, 2018), bases espumantes (Osorio et al., 2014), café instantáneo (B. Bhandari, 2013). El tamaño de partícula presentó negativa correlación con la densidad aparente. Esta correlación se debe a que pequeñas partículas del material ocupan espacios entre partículas de gran tamaño, haciendo que la densidad aparente del sistema aumente (Oliveira et al., 2018).

En general, el tamaño de partícula tuvo un valor promedio de 43.87 micras, lo cual permite que el producto tenga buenas propiedades de manejo y reconstitución. Sin embargo, algunos autores reportan que tamaños de partícula inferiores a 50 $\mu\text{m}$ , comprometen la estabilidad del

producto, pues mayor área superficial permanece expuesta a condiciones ambientales, permitiendo la degradación y oxidación de compuestos sensibles (Ferrari, Germer, & Aguirre, 2012; Gong, Zhang, Mujumdar, & Sun, 2008; Tontul & Topuz, 2017). Este efecto se contrarresta con los altos valores de densidad, pues como se mencionó anteriormente, altos valores de densidad disminuyen el contacto del producto con el ambiente, retrasando reacciones de degradación.

#### 4.3.3 Propiedades tecnológicas (capacidad de retención de aceite, formación y estabilidad de espuma)

En la tabla 13 se puede observar la capacidad de retención de aceite de las muestras de WC-SGP, la cual varió entre 0.94 y 2.14 g de aceite/g de muestra; el porcentaje de borra de café no presentó incidencia significativa ( $p > 0.05$ ) (anexo 3) sobre la capacidad de retención de aceite. En promedio las mezclas de 4, 10 y 16% de borra de café brindaron capacidades de retención de aceite de 1.87, 1.77 y 1.62 g de aceite/g de muestra respectivamente; lo cual indica que mayor cantidad de aceite es retenido cuando el contenido de borra es menor. Este comportamiento no era el esperado, ya que la borra de café es un subproducto que contiene polisacáridos como celulosa (12%), hemicelulosa (39%) y lignina (23%) (Ballesteros et al., 2014), los cuales tienen la propiedad de aumentar la capacidad de retención de aceite (Tiwari & Cummins, 2011). Sin embargo, los procesos térmicos en soluciones ricas en proteínas globulares causa el desdoblamiento de su estructura; lo cual permite la exposición de los sitios hidrofóbicos activos (Bernard, Broyart, Vasseur, Granda, & Relkin, 2008). Acorde con lo anterior, con bajos porcentajes de borra de café, la acción del suero lácteo como agente encapsulante es menor, dejando sitios hidrofóbicos activos que pueden aumentar la capacidad de retención de aceite de las proteínas, lo anterior también se puede evidenciar en función de los resultados encontrados con el SEM, ver numeral 4.3.4.

En general, la capacidad de retención de aceite fue de 1.75 g de aceite/g de muestra, siendo mayor al reportado para otras matrices alimentarias tales como: concentrados de fibra de residuos de fruta (0.60 – 1.81 g de aceite /g de muestra) (Figuerola et al., 2005), extractos de residuos de naranja (0.86 – 1.27 g de aceite /g de muestra) (Grigelmo-Miguel & Martín-

Belloso, 1999). De acuerdo a los valores obtenidos de capacidad de retención de aceite, el WC-SCG tiene potencial uso en la estabilización de productos con alto contenido graso y emulsiones (Tiwari & Cummins, 2011), o en el desarrollo de alimentos que ayuden al tránsito digestivo (Duarte et al., 2017).

Por otra parte, los valores para la capacidad de formación y estabilidad de espuma de las diferentes muestras de WC-SCG oscilaron entre 3.0 - 6.0 mL y 1.4 - 5.24 minutos respectivamente. El factor porcentaje de borra de café no presentó incidencia significativa ( $p > 0.05$ ) (anexo 3) sobre dichos parámetros. No obstante, el porcentaje de borra de café que mejores propiedades de formación y estabilidad de espuma fue el de 10%, con 4.98 mL y 4.20 min respectivamente. En general, los valores de formación y estabilidad de espuma fueron 4.52 mL y 3.42 min respectivamente. Dichos valores están en concordancia con los encontrados en un estudio previo (Osorio et al., 2014).

La capacidad de formación y estabilidad de espuma obtenidos se pueden atribuir al despliegue parcial de proteínas, generado por calentamiento durante el secado por atomización, en el cual se alcanzan temperaturas superiores a los 70 °C; lo cual mejora la flexibilidad de la cadena de proteínas (Osorio et al., 2014). Así mismo, el despliegue de las moléculas de proteína de suero, expone sus sitios reactivos aumentando la estabilización de la espuma (Bernard et al., 2011).

#### 4.3.4 Microestructura electrónica de barrido.

La figura 23 muestra las imágenes de la borra de café deshidratada y los polvos obtenidos a partir de las mezclas WC-SCG (4, 10 y 16 % de borra de café). En la figura 23 A y 24 B, se muestra la estructura de la borra de café deshidratada, dichas muestras presentaron estructura porosa con formas de hojas planas, lo cual es similar a lo reportado por Ballesteros et al., (2014).

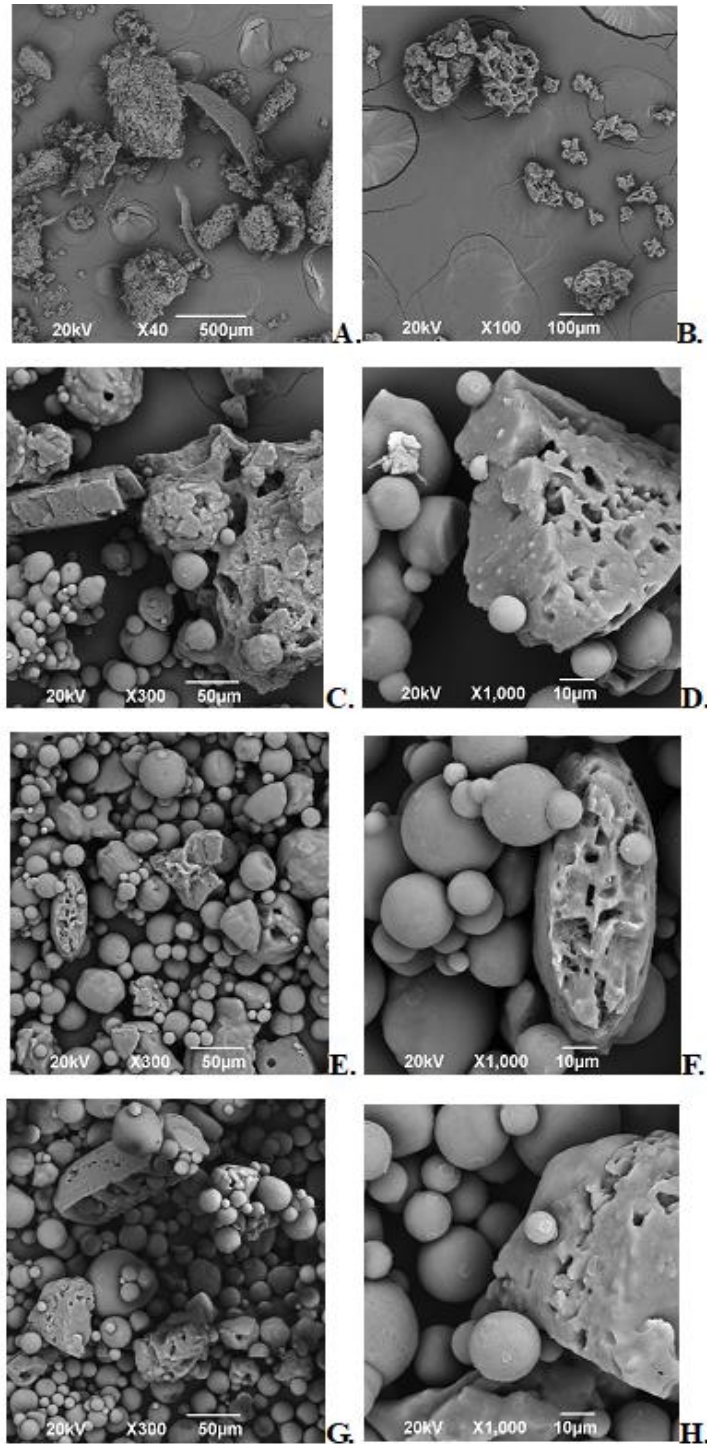


Figura 23. Imágenes de microestructura (SEM) de las muestras de borra deshidratada y WC-SCG. A-B: Borra de café deshidratada; C-D: mezcla 4% borra de café; E-F: mezcla 10% borra de café; G-H: mezcla 16% borra de café. Magnificación: x40, x100, x300 y x1000.

En el caso de las muestras de WC-SCG (figura 23 C-H), gran cantidad de partículas esféricas aglomeradas de diferentes diámetros y superficie suave fueron observadas. Dicho fenómeno se debe al efecto de la temperatura de entrada y al tipo de atomizador utilizado; pues el uso de bajas temperaturas (140 °C), generan partículas con superficie arrugada; por el contrario, temperaturas de proceso altas (180 °C), produce superficies suaves y aglomeradas (Ferrari et al., 2012).

Asimismo, las micrografías permiten confirmar la correlación que existe entre la densidad y el tamaño de partícula hallada con anterioridad, pues las partículas pequeñas ocupan espacios libres entre partículas de gran tamaño, lo cual aumenta la densidad aparente del producto (Braga, Rocha, & Hubinger, 2018). A lo anteriormente expuesto, las partículas de mayor tamaño y forma asimétrica de las micrografías D, F y H (figura 23), corresponden a partículas de borra de café, las cuales presentan superficie suave y lisa; contrario a lo mostrado en las figuras 23A y 23B, el cambio en la estructura se debe a que el suero lácteo tiende a formar un film alrededor de otros compuestos durante el secado por atomización, cumpliendo un rol de protección sobre los mismos (do Carmo et al., 2018); además de tener alto rendimiento de encapsulación y estabilidad en el tiempo de almacenamiento (Tan, Zhong, & Langrish, 2020); por tal motivo las proteínas del suero lácteo son ampliamente usadas en la encapsulación de compuestos de alto valor. Resultados similares han sido reportados por diferentes autores tanto para tamaño, forma, aglomeración y encapsulación con suero lácteo (Adhikari, Howes, Bhandari, & Langrish, 2009; Chegini & Taheri, 2013; Eckert et al., 2017). Diferentes estudios han usado las proteínas de suero lácteo en la microencapsulación y liberación sostenida de diferentes compuestos tales como: acetaminofén (Tan et al., 2020), pepsina (Tan, Zhong, & Langrish, 2019) y aceites de atún (B. Wang, Adhikari, & Barrow, 2019).

#### 4.3.5 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

En la tabla 14, se pueden observar los valores obtenidos para la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), temperatura de fusión ( $T_f$ ) y entalpía de fusión ( $\Delta H_m$ ), correspondiente a los análisis de DSC para los diferentes porcentajes de borra de café mezclado con suero lácteo concentrado.

Tabla 14. Calorimetría diferencial de barrido de diferentes mezclas de suero lácteo concentrado y borra de café.

%Borra de café	In Set (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	In Set (°C)	Tr (°C)	Entalpía (J/g)
4	53.54	59.72	64.67	149.43	30.45
10	69.16	84.37	103.82	147.34	33.95
16	73.06	84.58	100.28	148.49	24.28

En general los valores de T<sub>g</sub> mostrados en la tabla 14 son superiores a los reportados para diferentes matrices alimentarias formuladas a partir de suero lácteo, tales como: formulas infantiles (57.5°C) (Kelly, Mahony, Kelly, & Callaghan, 2016), mezclas de lactosa con proteína aislada de suero (WPI) (40-41°C) (Fan, Mou, Nurhadi, & Roos, 2017), sistemas de lactosa/WPI (42.6 – 45.3 °C) (Maidannyk & Roos, 2017); al igual que para muestras de borra de café (76.89°C) (Ballesteros et al., 2014).

Los resultados obtenidos se deben a la composición y la relación suero lácteo/borra de café de las muestras, ambos, tanto el suero lácteo como la borra de café, contienen compuestos de alto peso molecular, específicamente proteínas, los cuales al aumentar en concentración permite incrementar el peso molecular promedio del sistema (Maidannyk & Roos, 2017). Sistemas con alto peso molecular tienen altas temperaturas T<sub>g</sub> (Slade, Levine, & Reid, 1991). Los valores obtenidos para la T<sub>g</sub>, permiten temperaturas de almacenamiento de 25 °C (temperatura ambiente) sin sufrir cambios de fase que desestabilizan la estructura del producto; los cuales se dan cuando las temperaturas de almacenamiento sobrepasan la T<sub>g</sub> (B. R. Bhandari & Howes, 1999).

#### 4.3.6 Caracterización del ingrediente en polvo desarrollado

Una vez realizadas las determinaciones correspondientes al diseño de experimentos correspondiente al secado por atomización, y en función de los resultados obtenidos; la relación 90/10 de suero lácteo concentrado/borra de café, respectivamente; fue seleccionada para continuar el flujo de la investigación. Dicha relación permitía obtener un producto con baja A<sub>w</sub>, baja concentración de HMF, alta capacidad antioxidante, mejores propiedades de formación y estabilidad de espuma, y alta temperatura de transición Vítreo; por tal motivo un



nuevo secado de la relación 90/10 (10%) tuvo lugar, y su caracterización se muestra a continuación. En adelante el producto desarrollado se identificará como *Ingrediente en polvo Whey-SCG* (figura 24).



Figura 24. Ingrediente en polvo Whey-SCG.

#### 4.3.6.1 Caracterización fisicoquímica

En la tabla 15, se puede ver el análisis proximal del ingrediente en polvo Whey-SCG. De acuerdo a estos valores se podría decir que es un material con características propias de alimentos en polvo y están en concordancia con los resultados reportados para diversos productos en polvo, tales como: remolacha, queso, concentrados de proteína de suero, bases espumantes (Bazaria & Kumar, 2016; Felix da Silva et al., 2018; Nishanthi et al., 2017a; Osorio et al., 2014). Finalmente y según los valores de Aw y humedad mostrados en la tabla 15, el ingrediente desarrollado es un producto estable con baja disponibilidad de agua libre (Oliveira et al., 2018).

Tabla 15. Caracterización proximal del ingrediente en polvo Whey-SCG.

Parámetro	g/ 100g
Humedad	3.550 ±0.010
aw	0.250 ±0.002
Cenizas	4.91 ±0.01
Grasa	0.73 ±0.21
Proteína (Nx6,25)	10.70 ±0.08
Carbohidratos	78.7 0±0.16

Fibra dietaria	1.02 ±0.09
Calorías (Kcal/100g)	354

El ingrediente en polvo Whey-SCG es un producto con bajo contenido de grasa (0.73 g/ 100 g) y alto contenido de carbohidratos (78.65 g/100 g). La lactosa, proveniente del suero lácteo, es el carbohidrato de mayor concentración en el ingrediente desarrollado; sin embargo, la borra de café podría aportar, aunque en menor cantidad, algunos carbohidratos como lo son: manosa, galactosa, glucosa y arabinosa (Ballesteros et al., 2014; Peshev, Mitev, Peeva, & Peev, 2018).

La fibra dietaria presentó un valor de 1.02 g/ 100g, donde sus mayores componentes son celulosa, hemicelulosa y lignina provenientes de la borra de café (fibra dietaria insoluble). La presencia de esta clase de compuestos en el ingrediente en polvo Whey-SCG, hace que tenga potencial efecto benéfico en el tránsito digestivo (Ballesteros et al., 2014; Betancur-Ancona, Peraza-Mercado, Moguel-Ordoñez, & Fuertes-Blanco, 2004).

Finalmente, con respecto al valor proteico, el ingrediente en polvo Whey-SCG presentó 10.69 g de proteína /100 g de muestra. El contenido proteico está dado principalmente por el suero lácteo. Las proteínas del suero lácteo son consideradas como de alta calidad, las cuales tienen un amplio rango de propiedades nutricionales y funcionales (Baró, Jiménez, Martínez-Férez, & Boza, 2001). Las proteínas del suero también son de gran importancia tecnológica debido a sus propiedades gelificantes, a su capacidad de ligar agua, al igual que la habilidad de estabilizar interfaces en espumas y emulsiones (Boland, 2011). En el caso específico de la borra de café, en su fracción proteica predominan los aminoácidos ácido glutámico y leucina (Lago, Antoniassi, & Freitas, 2000).

Los valores obtenidos son comparables con algunos alimentos denominados como suplementos alimenticios, tales como: Commercial powder with nutritional value, Commercial Protein supplements (KIDS), Food supplements; los cuales tienen un aporte calórico de 371, 440 y 378 Kcal/100g, respectivamente; aporte proteico 8.8, 11 y 18.7 g/100g, respectivamente; aporte en carbohidratos 81.3, 54 y 71.2 g/100g, respectivamente; y aporte en fibra dietaria 3.6, 0.0 y 0.0 g/100g, respectivamente (NOVARTIS, 2004).

#### 4.3.6.2 Caracterización de compuestos antioxidantes

La caracterización de compuestos antioxidantes del ingrediente en polvo Whey-SCG es presentada en la tabla 16. El contenido de cafeína fue de 3.2 mg/ 100g<sub>bs</sub>. Este valor es acorde al encontrado previamente (sección 4.3.1.4) y es más bajo que el reportado en productos y subproductos del café (Vignoli et al., 2011), el cual estuvo entre 4.0 y 12.0 mg / 100g.

La capacidad antioxidante (ABTS<sup>+</sup>), el contenido de polifenoles totales y ácidos clorogénicos se muestran en la tabla 16, los datos para cada uno de estos compuestos fueron 1748 μMol TEs/ 100g, 159.7 mg AGEs/ g<sub>bs</sub> y 151.2 mg/ g<sub>bs</sub>, respectivamente. La presencia de ácidos clorogénicos ha sido asociada con diferentes efectos benéficos para la salud, como la reducción de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II y Alzheimer (Ranheim & Halvorsen, 2005). Con la finalidad de obtener mayor información sobre la capacidad antioxidante total del ingrediente desarrollado, se utilizó la metodología capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC); la cual se basa en la determinación de la capacidad global de neutralizar radicales peroxilo; los cuales son especies reactivas de oxígeno comparables con aquellos biológicamente generados en el organismo (Lopera, 2013). El valor ORAC obteniendo fue 2791.1 μMol ETs/ 100g. Dichos valores son comparables con diferentes productos alimentarios como lo son especias de cardamomo (2764), camote morado (2720), jugo de granada (2681), banano (2572), maracuyá (2154) y ahuyama (1974) todas en μmol TEs/ 100g (Zapata, Piedrahita, & Rojano, 2014).

Tabla 16. Caracterización de compuestos antioxidantes del ingrediente en polvo Whey-SCG.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Whey-SCG</b>
Cafeína	mg/ 100g <sub>bs</sub>	3.2 ±0.002
Capacidad Antioxidante (ABTS <sup>+</sup> )	μmol TEs/100g <sub>bs</sub>	1748.0 ±18.5
Polifenoles totales	mg AGEs/ 100g <sub>bs</sub>	159.7 ±2.2
Ácidos clorogénicos (ACGs)	mg/ 100g <sub>bs</sub>	151.2 ±0.9
Capacidad Antioxidante (ORAC)	μmol TEs/100g <sub>bs</sub>	2791.1±112.5

#### 4.3.6.3 Perfil de aminoácidos

La composición de aminoácidos es el factor más importante que define la calidad proteica, al igual que su digestibilidad y biodisponibilidad (Lorieau et al., 2018). El perfil de aminoácidos del ingrediente en polvo Whey-SCG es presentado en la tabla 17. En general, el ingrediente desarrollado contiene 11 aminoácidos, de los cuales 7 son esenciales. El ingrediente en polvo Whey-SCG presentó valores superiores para isoleucina y leucina; seguido de valina y fenilalanina. Estos resultados están en concordancia con los reportados por algunos autores quienes obtuvieron altos valores de leucina e isoleucina en muestras de suero lácteo (Boland, 2011; Tang, Moore, Kujbida, Tarnopolsky, & Phillips, 2009) y borra de café (Campos-Vega et al., 2015), en estudios independientes.

Tabla 17. Perfil de aminoácidos del ingrediente en polvo Whey-SCG.

<b>Parámetro</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>g/100g de Proteína</b>
<i>Aminoácidos esenciales</i>		
Fenilalanina	Phe	12.71 ± 0.03
Triptófano	Trp	4.33 ± 0.03
Lisina	Lys	6.44 ± 0.03
Lisina Disponible		4.418 ± 0.146
Leucina	Leu	37.99 ± 0.03
Isoleucina	Ile	57.34 ± 0.03
Valina	Val	15.29 ± 0.03
Histidina	His	0.69 ± 0.03
<i>Aminoácidos no esenciales</i>		
Ácido Glutámico	Glu	4.44 ± 0.03
Glutamina	Gln	6.07 ± 0.03
Prolina	Pro	18.03 ± 0.03
Arginina	Arg	0.89 ± 0.03

Según la tabla 17, el valor de lisina en el ingrediente es de 6.44 g/ 100g de proteína, el cual se encuentra en el rango de alimentos considerados como suplementos proteicos 1.33 a 11.6 g/100g de proteína (Gorissen et al., 2018); el valor de lisina mostrado en la tabla 17 es mayor que otros alimentos como el arroz (2.40 g/100g de proteína), avena (2.03 g/100g de proteína) y trigo (1.35 g/100g de proteína) (Gorissen et al., 2018). Finalmente, el contenido de lisina disponible en el ingrediente en polvo Whey-SCG indica que el 68 % de la lisina presente en el ingrediente desarrollado posee un grupo amino libre o disponible.

#### 4.3.6.4 Isotermas de sorción y propiedades termodinámicas

La tabla 18 muestra los parámetros obtenidos para el modelo de GAB, en cuanto a la humedad en la monocapa ( $X_m$ ) y las constantes C y k, para tres diferentes temperaturas (17, 26 y 45 °C).

Tabla 18. Parámetros del modelo GAB.

Parámetro GAB	Temperatura		
	17 °C	26 °C	45 °C
$X_m$ (kg de agua/ g <sub>bs</sub> )	0.0865	0.0618	0.0439
C	1.1774	2.3780	8.1218
K	0.7800	0.8247	0.8761

De acuerdo a la tabla 18, la humedad en la monocapa analizada en el ingrediente en polvo Whey-SCG osciló entre 0.043 y 0.086 kg de agua/ g<sub>bs</sub>. En general, la humedad en la monocapa disminuyó cuando la temperatura aumentó, lo cual está en concordancia con lo reportado por diferentes autores (Edrisi Sormoli & Langrish, 2016; Largo-Avila et al., 2014), quienes atribuyen dicho comportamiento como una indicación de que las moléculas absorbidas ganan energía cinética, haciendo que las fuerzas de atracción se debiliten, permitiendo que algunas moléculas de agua se separaren de sus sitios de sorción, disminuyendo así los valores de humedad de equilibrio, siendo característico de alimentos con alto contenido de azúcares, siendo esto lógico en términos del análisis proximal presentados en la tabla 15; donde el contenido de carbohidratos del ingrediente desarrollado es de 78.7 g/100g.

La figura 25 presenta las isotermas de sorción del ingrediente en polvo Whey-SCG bajo diferentes temperaturas de análisis. Las isotermas de sorción mostradas en la figura 26 pueden ser clasificadas como tipo III (Brunauer, Deming, Deming., & Teller, 1940); isotermas tipo III han sido reportadas en alimentos ricos en compuestos solubles en agua tales como: sacarosa, glucosa, fructosa y lactosa (Largo-Avila et al., 2014).

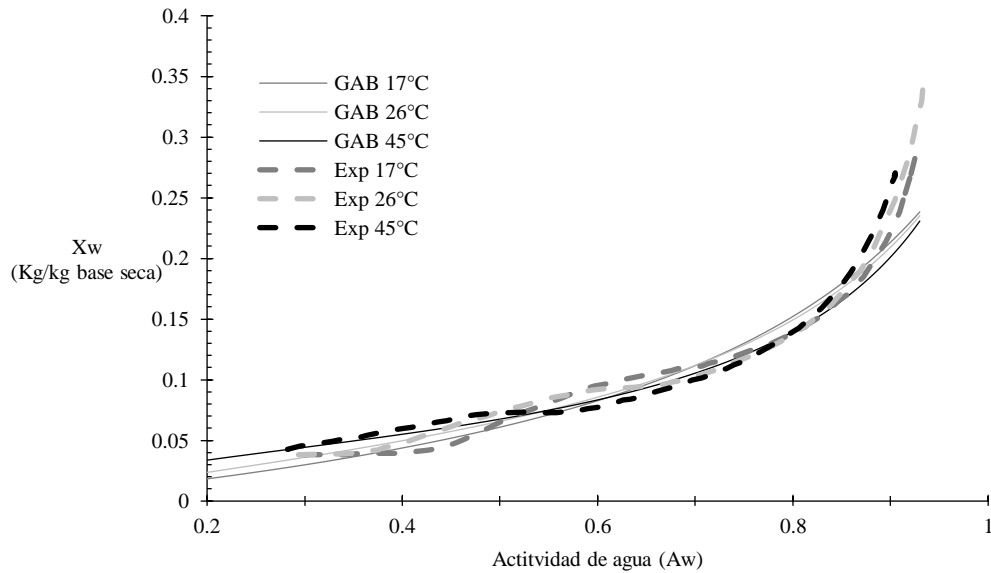


Figura 25 Isotermas de sorción del ingrediente en polvo Whey-SCG.

De la figura 25 se puede observar que la zona comprendida entre 0.3 - 0.70 de la  $A_w$ , las isotermas revelan algunas inflexiones, las cuales son resultado de las transiciones de fase inducidas por la humedad; representando moléculas de agua que están unidas con menos firmeza, donde el agua está disponible como disolvente para solutos de bajo peso molecular. (Domian, Brynda-kopytowska, Cie, & Agata, 2018).

Por otro lado, en las actividades de agua superiores a 0.7 la humedad en equilibrio incrementa rápidamente en todas las temperaturas estudiadas. Este fenómeno se debe a que el agua actúa como solvente, migrando hacia el alimento a medida que se acerca a una región de transición vítrea, antes del proceso de cristalización (Lewicki, 2004). Lo anterior en acuerdo con (Kelly et al., (2016). De igual manera, se ha observado una intersección en las isotermas, comprendida entre  $A_w$  0.7-0.8. Similares resultados han sido reportados en frutas deshidratadas y alimentos ricos en azúcares (Domian et al., 2018; Kaymak-Ertekin & Gedik, 2004).

La figura 26 muestra el comportamiento del calor isostérico de sorción y las propiedades termodinámicas del ingrediente en polvo Whey-SCG, usando el modelo de GAB y la ecuación de Clausius-Clapeyron, basados en la temperatura y el contenido de humedad.

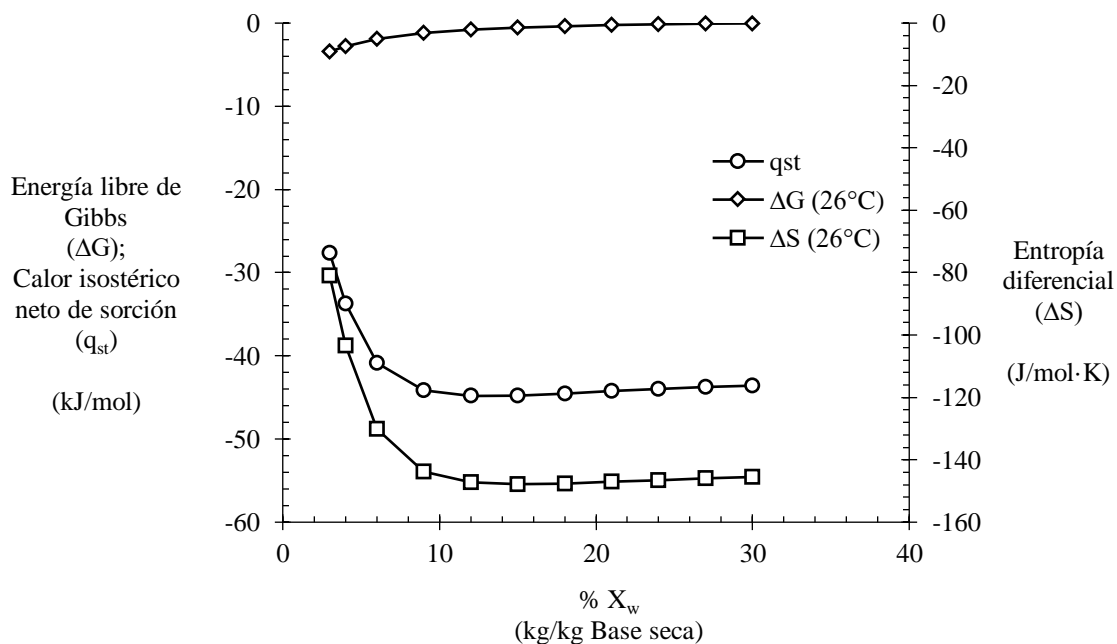


Figura 26 Calor isostérico de sorción y propiedades termodinámicas del ingrediente en polvo Whey-SCG.

El calor isostérico de sorción es la cantidad de energía requerida para evaporar agua de un material sólido (Edrisi Sormoli & Langrish, 2016). Valores negativos fueron obtenidos, lo cual indica el carácter exotérmico del proceso de adsorción. El calor isostérico de sorción disminuyó cuando el contenido de humedad aumentó, pasando de -27.65 kJ/mol a -43.56 kJ/mol para valores de humedad en base seca de 3 y 30%, respectivamente; el anterior comportamiento se debe al hecho de que la sorción ocurre inicialmente en los sitios más activos, como los grupos polares hidrofílicos que dan lugar a la mayor energía de interacción (Ciro, Osorio, & Cortés, 2008; Edrisi Sormoli & Langrish, 2016). Lo que implica que el polvo obtenido a medida que gana humedad, menos sitios activos quedan disponibles resultandos en valores más bajos para el calor de adsorción.

Finalmente, las propiedades termodinámicas del ingrediente en polvo Whey-SCG presentadas en la figura 26, muestran la tendencia de la energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ); la cual explica que la adsorción de las moléculas de agua se debió a un fenómeno espontáneo. Los valores negativos de la energía libre de Gibbs, indican que el agua adsorbida tiene menos libertad para escapar a la atmósfera y el aumento de la temperatura disminuye la capacidad de adsorción (Largo-

Avila et al., 2014). La entropía diferencial ( $\Delta S$ ) representada en función del contenido de humedad, donde un aumento en la aleatoriedad se indica mediante valores positivos para el cambio de entropía (Largo-Avila et al., 2014).

#### 4.3.7 Relevancia de los resultados obtenidos

En general, la proporción de CW-SCG no afectó significativamente las variables analizadas. Sin embargo, el suero lácteo presentó un efecto protector sobre las partículas de borra de café, lo que permite la conservación de compuestos de alto valor. Además, de presentar buenas propiedades tecnológicas en términos de densidad, humedad,  $A_w$ , capacidad de retención de aceite, lo que favorece el uso de tal materia prima en polvo en la industria alimentaria.

De acuerdo con las características nutricionales y propiedades tecnológicas encontradas para el ingrediente en polvo Whey-SCG, se puede decir que el ingrediente desarrollado es un producto microbiológicamente estable, con un posible efecto beneficioso para la salud debido a la presencia de compuestos antioxidantes, aminoácidos y bajo contenido de compuestos tóxicos (HMF y furfural). El contenido de cafeína del ingrediente en polvo Whey-SCG evita los efectos adversos en el cuerpo (Bhandari et al., 2013). La presencia de ácidos clorogénicos ha sido asociada con diferentes efectos benéficos para la salud, como la reducción de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II y Alzheimer (Ranheim & Halvorsen, 2005).

Así mismo, el ingrediente en polvo Whey-SCG podría usarse como materia prima para la estabilización de productos con alto contenido de grasa, emulsiones, alimentos que requieren formación de espuma, algunos productos como yogurt, helado y productos de panadería. Así como en el desarrollo de alimentos funcionales.



#### 4.4 **Aplicación del ingrediente alimentario desarrollado a partir de subproductos alimentarios.**

##### Objetivo específico 4.

*“Determinar el efecto de diferentes porcentajes de un polvo de borra de café y suero lácteo obtenido por secado spray, sobre algunas propiedades reológicas, texturales y nutricionales de un alimento lácteo tipo yogur”.*

Una vez caracterizado el ingrediente desarrollado, se procedió a realizar su aplicación en un producto lácteo; específicamente un yogur tipo set bajo en grasa. La formulación del yogur contempló diferentes porcentajes del ingrediente como reemplazante de la leche en polvo descremada. En adelante las muestras de yogur tipo set bajo en grasa se identifican como “Yogur”. A continuación, se relacionan los resultados obtenidos.

##### 4.4.1 Propiedades nutricionales y antioxidantes del yogur fortificado

###### 4.4.1.1 Contenido proteico y lisina disponible

La tabla 19, presenta los valores obtenidos para el contenido de proteína total, lisina disponible, contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante, correspondientes a los yogures formulados a partir de las diferentes relaciones de leche en polvo descremada (LPD) y el ingrediente en polvo Whey-SCG.

Tabla 19. Compuestos nutricionales y funcionales de yogures fortificados con el ingrediente en polvo Whey-SCG.

No	Whey-SCG (%)	Contenido de proteína (g/100g <sub>bs</sub> )	Lisina disponible (mg/100g <sub>bs</sub> )	Polifenoles totales (mg de AGEs/g)	Capacidad antioxidante (μmol TEs./100g)
1	0	38.887±1.050 <sub>a</sub>	512.80±1.57 <sub>a</sub>	0.0±0.0*	41.452±3.000 <sub>a</sub>
2	25	28.555±1.450 <sub>b</sub>	191.82±9.90 <sub>b</sub>	0.0±0.0*	46.004±1.008 <sub>ab</sub>
3	75	25.281±1.920 <sub>c</sub>	166.05±9.42 <sub>b</sub>	0.0±0.0*	69.007±3.901 <sub>c</sub>
4	100	19.258±0.440 <sub>d</sub>	128.44±2.73 <sub>b</sub>	1.43±0.09*	87.208±3.008 <sub>d</sub>
5	0	38.118±0.400 <sub>a</sub>	512.96±1.57 <sub>a</sub>	0.0±0.0*	45.691±1.809 <sub>a</sub>
6	25	26.114±1.450 <sub>b</sub>	175.29±9.90 <sub>b</sub>	0.0±0.0*	44.086±1.307 <sub>ab</sub>
7	75	22.730±1.920 <sub>c</sub>	150.12±9.42 <sub>b</sub>	0.0±0.0*	66.973±1.300 <sub>c</sub>
8	100	20.083±0.440 <sub>d</sub>	133.41±2.73 <sub>b</sub>	1.58±0.09*	77.665±9.702 <sub>d</sub>
9	0	38.669±0.400 <sub>a</sub>	515.59±1.57 <sub>a</sub>	0.0±0.0*	47.222±1.204 <sub>a</sub>
10	25	28.699±1.450 <sub>b</sub>	193.01±9.90 <sub>b</sub>	0.0±0.0*	65.402±5.004 <sub>ab</sub>
11	75	21.531±1.920 <sub>c</sub>	149.37±9.42 <sub>b</sub>	0.0±0.0*	62.290±3.307 <sub>c</sub>
12	100	19.386±0.430 <sub>d</sub>	132.88±2.73 <sub>b</sub>	1.60±0.09*	71.793±6.001 <sub>d</sub>

Los valores son medias ± DE de la media (n = 3). Según la comparación por pares de Tukey (p < 0.05).\* (do not test)

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 19, el contenido de proteína total de las muestras de yogur oscilo entre 19.25 y 38.89 g/100g<sub>bs</sub>, para las corridas 4 y 1, respectivamente. Según el análisis estadístico, la relación LPD / ingrediente en polvo Whey-SCG fue significativo (p < 0.05) (anexo 10) para el contenido de proteína total de todos los tratamientos estudiados. La figura 27 presenta el comportamiento del contenido de proteína total y lisina disponible de las diferentes formulaciones realizadas.

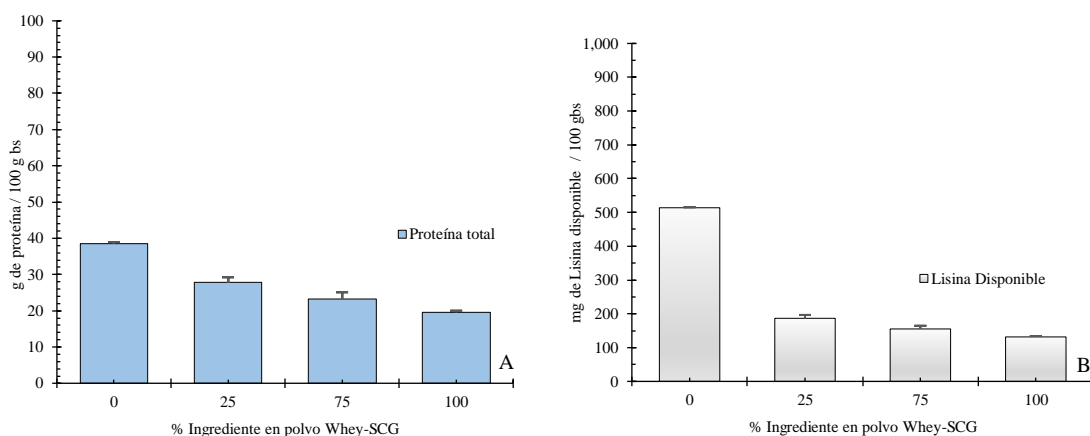


Figura 27. Contenido de proteína total (A) y Lisina disponible (B) de yogures fortificados con el ingrediente en polvo Whey-SCG.

En general, el contenido de proteína total de las muestras de yogur fortificadas con el ingrediente en polvo Whey-SCG fue menor, comparado con la muestra control (100% LPD), siendo en promedio 38.56, 27.79, 23.18 y 19.58 g/100g de sólido seco, para las relaciones con 0, 25, 75 y 100% del ingrediente, respectivamente (figura 27 A). En términos generales, la relación de 0, 25, 75 y 100% del ingrediente en polvo Whey-SCG brindó valores promedios de 513.79, 186.70, 155.18 y 131.57 mg de lisina disponible por cada 100 gramos de muestra en base seca (figura 27 B), respectivamente. El factor porcentaje de ingrediente en polvo Whey-SCG presentó incidencia significativa ( $p>0.05$ ) (anexo 10), entre los tratamientos 0-25, 0-75 y 0-100.

De acuerdo con los resultados representados en la figura 27, la cantidad de proteína total y la cantidad de lisina disponible disminuyen cuando el porcentaje del ingrediente en polvo Whey-SCG aumenta. En el caso específico de la proteína, los resultados se pueden explicar desde la composición proteica de las materias primas, pues el contenido de proteína de la LPD era mayor (34.7 g/100g de muestra) en relación con el contenido proteico del ingrediente desarrollado (10.7 g/100g de muestra); no obstante, los valores de proteína total obtenidos en todas las formulaciones, están en el rango reportado para muestras de yogurt tipo set natural (3.47 - 5.73 g de proteína/100g de muestra) (Chandan, 2017). En cuanto al comportamiento de la lisina disponible, claramente a medida que la cantidad de proteína total disminuye en las formulaciones, el aporte del aminoácido también lo hará. Sin embargo, es necesario tener presente que el tratamiento térmico empleado (90 °C x 10 min), previo a la inoculación del cultivo; facilita la reacción entre proteínas y carbohidratos; y por lo cual disminuye la cantidad de lisina disponible en el producto final (Gómez-Narváez, Pérez-Martínez, & Contreras-Calderón, 2019),

La importancia del contenido proteico se debe a la funcionalidad de esta clase de compuestos en el organismo. En particular, las proteínas lácteas están asociadas con ser promotoras de péptidos activos con propiedades benéficas para la salud; como lo son propiedades inmunomoduladores, antihipertensivas, antimicrobianas y antioxidantes; algunos de estos péptidos son: VPYPQ (Valina, Prolina, Tirosina, Prolina y Glutamina), IPIQY (Isoleucina, Prolina, Isoleucina, Glutamina y Tirosina) y FVAP (Fenilalanina, Valina, Alanina y Prolina)

(Mann, Athira, Sharma, & Bajaj, 2017). De igual manera, el consumo de productos lácteos fermentados ha sido asociado con ser promotores de la salud intestinal, ya que mejoran la actividad metabólica y la composición de la microflora presente en el sistema digestivo (Chandan, 2017). Así mismo, péptidos bioactivos derivados de productos lácteos han sido asociados con ser inductores de saciedad, control de peso, además de promover la salud dental, ósea y cardiovascular (Muehlhoff, Bennett, & McMahon, 2013).

#### 4.4.1.2 Propiedades Antioxidantes

El contenido total de polifenoles y capacidad antioxidante son presentados en la tabla 19. En general, el CTP osciló entre 0.0 y 1.6 mg de AGEs por gramo de muestra. El análisis estadístico no permitió establecer la significancia del factor porcentaje de ingrediente en polvo sobre el CPT; ya que las únicas formulaciones que brindaron valores diferentes de cero (1.43, 1.58 y 1.60 mg AGEs/ g, para las corridas 4, 8 y 12 respectivamente) fueron aquellas fortificadas con 100% del ingrediente en polvo. Dicho comportamiento se podría explicar desde la formación de complejos entre los grupos fenólicos y la caseína, que pudo influir en la cuantificación de CPT (Dönmez et al., 2017); éstas reacciones (proteína-polifenoles) han sido documentados por diferentes autores, quienes sugieren que estos complejos son dominados por interacciones hidrofóbicas no covalentes, estabilizadas por puentes de hidrógeno (Jakobek, 2015), que incluyen interacciones hidrófobas, de van der Waals, puentes de hidrógeno e interacciones iónicas, las cuales son más débiles que la unión covalente (Nagy et al., 2012). Así mismo, la formación de esta clase de complejos está en función de la cantidad de grupos OH del polifenol; el cual entre más grupos hidroxilo tenga, mayor cantidad de complejos puede formar (Kanakis et al., 2011).

La figura 28 presenta el comportamiento de la capacidad antioxidante (ABTS<sup>+</sup>) de las muestras de yogur fortificadas con el ingrediente desarrollado.

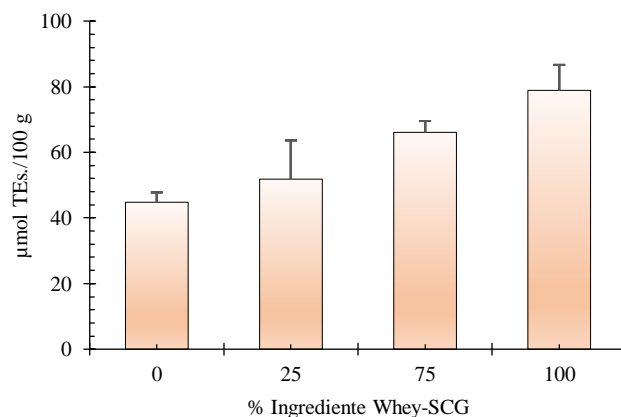


Figura 28 Capacidad antioxidante de las muestras de yogur fortificadas con el ingrediente en polvo Whey-SCG.

La capacidad antioxidante de las diferentes muestras de yogur brindó resultados entre 41.45 y 87.20  $\mu\text{mol TEs}/100\text{g}$ . Según el análisis estadístico la relación LPD / Whey-SCG presentó incidencia significativa ( $p < 0.05$ ) (anexo 10) para la capacidad antioxidante total. En promedio, los porcentajes 0, 25, 75 y 100% del ingrediente en polvo presentaron valores de 44.79, 51.83, 66.09 y 78.89  $\mu\text{mol TEs}/100\text{g}$ , respectivamente (figura 28); lo cual indica que la capacidad antioxidante aumenta cuando el porcentaje del ingrediente en polvo también es mayor. La actividad antioxidante de las muestras control (0% de Whey-SCG), está en concordancia con lo reportado por Şanlıdere Aloğlu & Öner (2011), quienes reportaron valores en muestras de yogur comercial entre 76.9 - 131.8  $\mu\text{mol TEs}/100\text{g}$ ; los autores atribuyeron las diferencias entre las muestras a la variabilidad en cada uno de los pasos de la elaboración del yogur; desde las características de la materia prima, las condiciones de pasteurización y el tipo de cultivo utilizado. La actividad antioxidante de las muestras control se puede explicar desde la posible formación de péptidos y liberación de aminoácidos con actividad antioxidante; en el caso del yogur, este fenómeno se puede dar en dos etapas:

- Durante el tratamiento térmico previo a la inoculación de la base láctea (pasteurización), se desdoblán y exponen los grupos tiol presentes en las proteínas; los cuales son potenciales donantes de hidrógeno (Virtanen, Pihlanto, Akkanen, & Korhonen, 2007).

- La proteólisis inducida por el cultivo durante la fermentación de la base láctea (Mann et al., 2017; Muehlhoff et al., 2013).

La actividad antioxidante de péptidos y aminoácidos está relacionada con su composición, estructura y propiedades hidrofóbicas (Chen, Muramoto, Yamauchi, Fujimoto, & Nokihara, 1998); y está basada en la capacidad de donar protones a los radicales deficientes en electrones (Mann et al., 2017). De acuerdo con Rajapakse et al., (2005), la actividad antioxidante de los péptidos que contienen el aminoácido Histidina, se debe a su capacidad de donar hidrógenos, atrapa radicales peroxilo lipídicos y/o quelan iones metálicos; así mismo, otros aminoácidos tales como Tirosina, Triptófano, Metionina, Lisina y Cisteína han sido asociados con tener propiedades antioxidantes (W. Wang & Gonzalez, 2005).

En el caso de las muestras fortificadas con el ingrediente Whey-SCG (25, 75 y 100%), la capacidad antioxidante aumentó en función del ingrediente desarrollado en cada una de las formulaciones del yogur; el cual aporta antioxidantes provenientes de la borra de café.

#### 4.4.2 Propiedades texturales, reológicas y estructurales.

##### 4.4.2.1 Producción de suero y capacidad de retención de agua

La tabla 20 muestra los resultados obtenidos con respecto a la producción de suero y la capacidad de retención de agua, para las diferentes formulaciones del yogur con el ingrediente en polvo Whey-SCG.

Tabla 20. Producción de suero y capacidad de retención de agua de las muestras de yogur.

% Whey-SCG	Producción de suero (%)	Capacidad de retención de agua (%)
0	0.0 <sub>a</sub>	74.524±0.860 <sub>a</sub>
0	0.0 <sub>a</sub>	72.615±0.860 <sub>a</sub>
0	0.0 <sub>a</sub>	74.338±0.860 <sub>a</sub>
25	2.56±0.80 <sub>a</sub>	61.389±1.340 <sub>b</sub>
25	4.15±0.80 <sub>a</sub>	58.450±1.340 <sub>b</sub>
25	2.33±0.80 <sub>a</sub>	58.642±1.340 <sub>b</sub>
75	3.73±0.90 <sub>c</sub>	54.686±1.270 <sub>c</sub>
75	5.81±0.90 <sub>c</sub>	57.133±1.270 <sub>c</sub>
75	5.93±0.90 <sub>c</sub>	54.247±1.270 <sub>c</sub>

100	6.82±0.30 <sub>d</sub>	62.102±0.850 <sub>d</sub>
100	6.02±0.30 <sub>d</sub>	64.169±0.850 <sub>d</sub>
100	6.14±0.30 <sub>d</sub>	62.944±0.850 <sub>d</sub>

Valores promedio con  $\pm$  desviación estándar ( $n = 3$ ). Las muestras de yogur sin letras en común en el mismo componente presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) de acuerdo con Tukey.

En general, la producción de suero de las muestras de yogur varió entre 0 y 6.82%, mientras que la capacidad de retención de agua tuvo un valor promedio de 62.94%, con un rango entre 54.25 y 74.52%. Con respecto al análisis estadístico, se encontró que el ingrediente en polvo Whey-SCG fue significativo ( $p < 0.05$ ) para la producción de suero en todos los tratamientos, exceptuando el entre los tratamientos 0 y 25; en el caso de la capacidad de retención de agua; la diferencia fue significativa entre todos los tratamientos (anexo 10).

La producción de suero (sinéresis espontánea), es la contracción del gel sin la aplicación de ninguna fuerza externa (por ejemplo, centrifugación), y es la causa habitual de la separación del suero (Lucey et al., 1998a). La producción de suero de las muestras fortificadas con el ingrediente en polvo Whey-SCG fue mayor que la del yogur control, siendo 0.0, 3.01, 4.81 y 6.29% para las formulaciones con 0, 25, 75 y 100% del ingrediente en polvo Whey-SCG, respectivamente. En cuanto a la capacidad de retención de agua de los yogures enriquecidos con el ingrediente en polvo Whey-SCG presentaron valores más bajos que la muestra control (figura 29). En general la capacidad de retención de agua presentó porcentajes inferiores cuando son comparados con la muestra control, representando una diferencia del 20%.

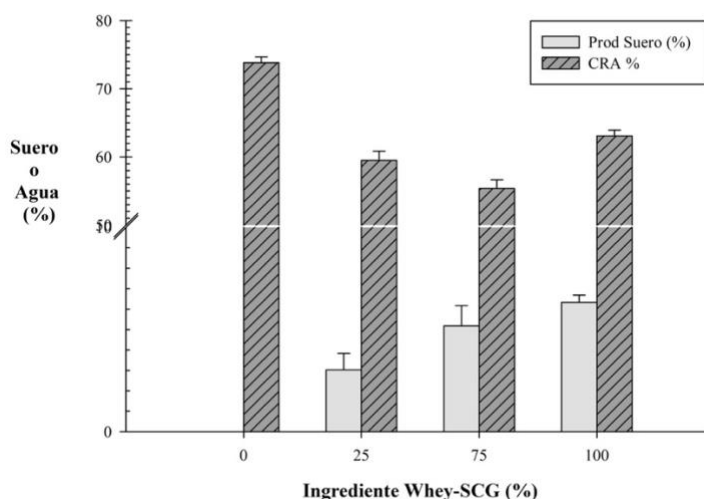


Figura 29 Capacidad de retención de agua de las muestras de yogur enriquecidas con el ingrediente en polvo Whey-SCG.

La separación del suero (producción de suero) es la expulsión del suero de la red que luego se hace visible como suero de superficie. La eliminación del suero afecta negativamente la percepción del yogur por parte de los consumidores, por lo tanto, usualmente son usados estabilizantes como pectina, gelatina y almidón. De acuerdo con la literatura, el aumento del contenido de sólidos de la leche del yogur, específicamente el contenido proteico aumenta la capacidad de retención de agua, pues permite mayor articulación en la red de proteínas, lo que lleva a la inmovilización de gran cantidad de agua (Bong & Moraru, 2014; Mahomud et al., 2017; Sodini, Montella, & Tong, 2005).

La producción de suero y baja capacidad de retención de agua están relacionados con una red inestable, lo cual puede deberse a un aumento en los reordenamientos de la matriz de gel o puede ser inducida por daños en la red de gel, el grado de reordenamiento está relacionado con los enlaces proteína-proteína expresados en términos del rendimiento de las cadenas de caseína (Lucey et al., 1998). De acuerdo con lo anterior, es claro que el contenido de proteína de la LPD usada era aproximadamente 3 veces mayor en relación con el contenido proteico del ingrediente desarrollado, haciendo que el contenido de caseína disminuyera cuando el ingrediente aumento en la formulación; afectando las cadenas de caseína y proteínas de suero desnaturalizadas, lo cual disminuye la capacidad de retener agua y aumenta la producción de suero. Así mismo, el ingrediente desarrollado tiene compuestos como fibra, antioxidantes y melanoidinas; que pueden interactuar con las proteínas de la base láctea, disminuyendo la articulación de la red.

#### 4.4.2.2 Firmeza, Trabajo y adhesividad del yogur

En la tabla 21 se presentan los resultados obtenidos con respecto a los parámetros texturales de firmeza, trabajo y adhesividad de las diferentes formulaciones del yogur realizado con la adición del ingrediente en polvo Whey-SCG.

Tabla 21. Análisis de textura del yogur.

<b>% Whey -SCG</b>	<b>Trabajo (N.mm)</b>	<b>Adhesividad (N.mm)</b>	<b>Firmeza (N)</b>
--------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------



0	76.739±1.1 <sub>a</sub>	-11.516±0.5 <sub>a</sub>	4.7017±0.01 <sub>a</sub>
0	75.048±1.1 <sub>a</sub>	-12.768±0.5 <sub>a</sub>	4.6026±0.07 <sub>a</sub>
0	77.938±1.1 <sub>a</sub>	-12.683±0.5 <sub>a</sub>	4.7663±0.07 <sub>a</sub>
25	54.237±0.7 <sub>b</sub>	-8.757±0.4 <sub>a</sub>	3.2536±0.04 <sub>b</sub>
25	53.624±0.7 <sub>b</sub>	-7.935±0.4 <sub>a</sub>	3.2301±0.04 <sub>b</sub>
25	52.424±0.7 <sub>b</sub>	-8.892±0.4 <sub>a</sub>	3.1512±0.04 <sub>b</sub>
75	35.288±1.3 <sub>c</sub>	-4.666±0.2 <sub>b</sub>	2.1327±0.07 <sub>c</sub>
75	38.148±1.3 <sub>c</sub>	-5.253±0.2 <sub>b</sub>	2.2944±0.07 <sub>c</sub>
75	38.333±1.3 <sub>c</sub>	-5.204±0.2 <sub>b</sub>	2.2589±0.07 <sub>c</sub>
100	32.558±1.7 <sub>d</sub>	-2.101±1.1 <sub>c</sub>	1.863±0.11 <sub>d</sub>
100	28.371±1.7 <sub>d</sub>	-4.979±1.1 <sub>c</sub>	1.607±0.11 <sub>d</sub>
100	29.904±1.7 <sub>d</sub>	-3.216±1.1 <sub>c</sub>	1.689±0.11 <sub>d</sub>

Valores promedio con  $\pm$  desviación estándar (n=3). De acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ )

En general, la adición de Whey-SCG tuvo incidencia significativa ( $p < 0.05$ ) (anexo 10), para los parámetros de firmeza, Trabajo y adhesividad de las diferentes muestras de yogur. La firmeza presentó valores promedio de 4.69, 3.21, 2.22 y 2.66 N para los yogures elaborados con 0, 25, 75 y 100% del ingrediente en polvo Whey-SCG, respectivamente. Para el parámetro de Trabajo, el valor promedio de los yogures hechos con 0, 25, 75 y 100% del ingrediente en polvo Whey-SCG fue 76.57, 53.42, 37.25 y 45.00 N.mm., respectivamente (figura 30). Finalmente, la adhesividad en promedio presentó valores de -12.32, -8.52, -5.04 y -6.57 N.mm para los yogures correspondientes a 0, 25, 75 y 100% de Whey-SCG, respectivamente (figura 30).

Los parámetros de firmeza y Trabajo presentaron una alta y negativa correlación ( $p < 0.05$ ) con el porcentaje de ingrediente en polvo Whey-SCG ( $r = -0.97$  y  $-0.96$ ) y la producción de suero ( $r = -0.95$ ); los cual significa que cuando el ingrediente aumenta en la formulación del yogur, la firmeza y Trabajo disminuyen.

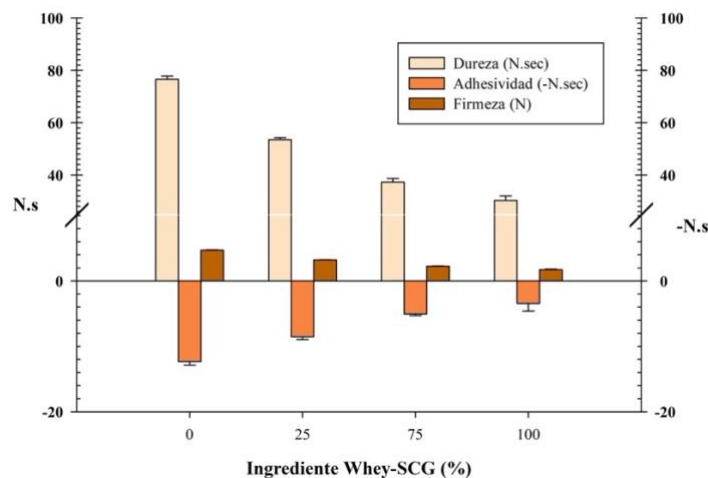


Figura 30 Trabajo, adhesividad y firmeza de las muestras de yogur enriquecidas con diferentes porcentajes de Whey-SCG.

Los resultados obtenidos indican que los yogures hechos a partir del ingrediente en polvo Whey-SCG fueron menos firmes que la muestra control (figura 30); así mismo, cuando la cantidad de Whey-SCG aumentó, tanto la Trabajo como la adhesividad disminuyeron; lo cual podría indicar que menos trabajo fue necesario para romper la estructura del gel (Lesme et al., 2019). Estos resultados implican que los yogures enriquecidos con el ingrediente en polvo Whey-SCG podrían percibirse menos rígidos o compactos que los yogures enriquecidos solo con LDP; dado lo anterior, la disminución de la firmeza y Trabajo de los geles obtenidos, se podría explicar por la presencia de compuestos propios de la borra de café; que pueden interactuar con las proteínas lácteas, afectando la formación de complejos entre proteínas y por ende afectando la firmeza y Trabajo de los geles. Así mismo, la disminución de la cantidad de caseína en las formulaciones hace que menos enlaces proteína-proteína se generen, lo cual hace que la estructura del gel sea menos firme y rígida. Otra posible explicación es que posiblemente las proteínas del ingrediente se desnaturalizaron antes de la mezcla con la caseína, lo cual puede conducir a un gel menos homogéneo con una estructura más abierta que en un sistema donde las proteínas de suero se desnaturalizan en presencia de caseína (Sodini et al., 2005).

De acuerdo a lo reportado en la literatura, cuando proteínas de suero lácteo son añadidas a formulaciones de yogures, dan como resultado geles más fuertes y duros en su estructura;

debido a los complejos formados por la unión de disulfuro entre las proteínas de suero desnaturalizadas y las  $\kappa$ -caseínas (Jørgensen et al., 2015; Lesme et al., 2019; Mahomud et al., 2017; Sah et al., 2016); así mismo, se ha reportado que la sustitución de LDP por proteínas de suero lácteo tiene un efecto positivo sobre la firmeza del yogur (Puvanenthiran, Williams, & Augustin, 2002; Remeuf, Mohammed, Sodini, & Tissier, 2003). Sin embargo, efectos negativos con geles débiles y menos firmes fueron reportados con igual (Guinée, Mullins, Reville, & Cotter, 1995).

#### 4.4.2.3 Características reológicas del yogur

La reología es una de las principales propiedades que determina la calidad del yogur. La tabla 22 presenta los resultados obtenidos para el comportamiento al flujo y el ajuste de los datos experimentales con respecto al modelo de Herschel-Buckley.

Tabla 22. Comportamiento al flujo de las muestras de yogur.

% Whey -SCG	1 [1/s]	13 [1/s]	100 [1/s]	R <sub>2</sub>	n	K. (Pa.s <sup>n</sup> )
0	30.12±2.6 <sub>a</sub>	4.44±0.1 <sub>a</sub>	0.54±0.01 <sub>a</sub>	0.701	0.275	13.13
0	25.31±2.6 <sub>a</sub>	4.24±0.1 <sub>a</sub>	0.53±0.01 <sub>a</sub>	0.888	0.358	11.03
0	23.86±2.6 <sub>a</sub>	4.18±0.1 <sub>a</sub>	0.54±0.01 <sub>a</sub>	0.924	0.275	13.13
25	19.84±0.6 <sub>b</sub>	2.97±0.1 <sub>b</sub>	0.45±0.01 <sub>a</sub>	0.993	0.601	3.96
25	21.07±0.6 <sub>b</sub>	3.34±0.1 <sub>b</sub>	0.47±0.01 <sub>a</sub>	0.988	0.537	5.30
25	19.55±0.6 <sub>b</sub>	3.05±0.1 <sub>b</sub>	0.46±0.01 <sub>a</sub>	0.984	0.638	3.81
75	13.14±0.5 <sub>c</sub>	2.22±0.1 <sub>c</sub>	0.37±0.01 <sub>a</sub>	0.994	0.820	1.83
75	13.18±0.5 <sub>c</sub>	2.26±0.1 <sub>c</sub>	0.38±0.01 <sub>a</sub>	0.991	0.805	2.01
75	12.01±0.5 <sub>c</sub>	1.86±0.1 <sub>c</sub>	0.35±0.01 <sub>a</sub>	0.991	0.832	1.49
100	6.68±0.8 <sub>d</sub>	1.35±0.1 <sub>d</sub>	0.31±0.01 <sub>b</sub>	0.989	0.667	2.07
100	8.38±0.8 <sub>d</sub>	1.76±0.1 <sub>d</sub>	0.31±0.01 <sub>b</sub>	0.996	0.747	2.12
100	6.49±0.8 <sub>d</sub>	1.17±0.1 <sub>d</sub>	0.31±0.01 <sub>b</sub>	0.973	0.712	1.51

Los valores son medias ± DE de la media (n = 3). Según la comparación por pares de Tukey (p < 0.05)

Los parámetros del modelo indicaron que el coeficiente de consistencia (K) disminuyó con la adición del ingrediente; donde el análisis estadístico reveló diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre todos los tratamientos, excepto entre los tratamientos 75 y 100 (anexo 10). En el caso del índice de comportamiento de flujo (n), todas las muestras presentaron valores inferiores a 1 ( $n < 1$ ); lo cual indica que todas las muestras tenían un comportamiento pseudoplásticos. Sin embargo, es de observar que cuando el porcentaje de ingrediente aumentó en la formulación, el índice de comportamiento de flujo también aumentó,

llegando a presentar valores cercanos a 1; lo cual indica una tendencia a un comportamiento newtoniano ( $n=1$ ).

Los parámetros de comportamiento al flujo que describen la viscosidad de los yogures, incluidas las viscosidades aparentes a 1, 13 y 100 1/s, se presentan en la figura 31; dichas viscosidades se usan como medidas para comprender el impacto del procesamiento industrial en el comportamiento del flujo y la estabilidad del producto.

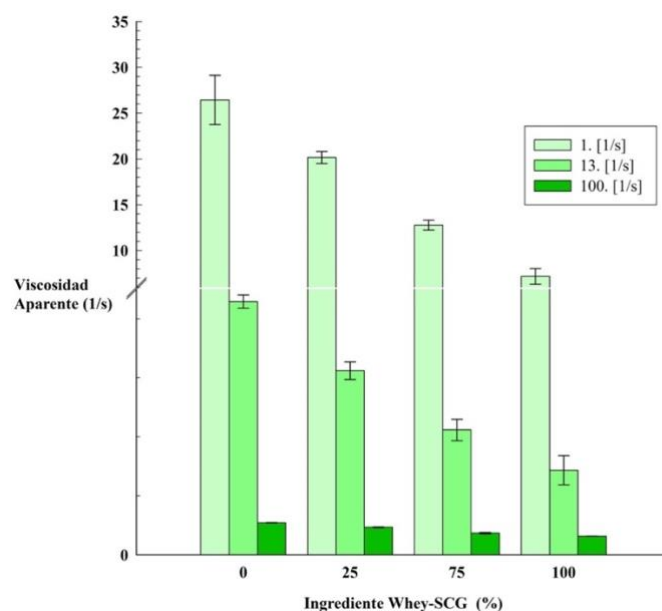


Figura 31 Viscosidad aparente a 1, 13 y 100 1/s de las muestras de yogur con diferentes porcentajes del ingrediente en polvo Whey-SCG.

En general, la viscosidad de las muestras disminuyó cuando la adición del ingrediente Whey-SCG aumentó, en el caso particular del límite elástico (1 1/s), este disminuyó con la adición del ingrediente en polvo Whey-SCG (tabla 22; figura 31), presentando diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre las muestras analizadas; este fenómeno indica que el yogur enriquecido requiere menos fuerza para iniciar fluir.

La tabla 23 presenta los resultados obtenidos para una frecuencia angular de 1 Hz del análisis reológico de barrido de frecuencia de las muestras de yogur enriquecidas. Los análisis reológicos fueron realizados en función del módulo de almacenamiento, módulo de pérdida, el factor de pérdida.

Tabla 23. Características reológicas de las muestras de yogur.

% Whey - SCG	Módulo de almacenamiento G' (Pa)	Módulo de pérdida G'' (Pa)	Factor de pérdida	Módulo de complejo	Viscosidad compleja
0	377.1±13.6 a	108.1±2.8 a	0.287±0.003	392.3±13.0	3.628±0.004
0	401.6±13.6 a	114.2±2.8 a	0.284±0.003	417.5±13.0	3.658±0.004
0	369.7±13.6 a	108.3±2.8 a	0.293±0.003	385.3±13.0	3.559±0.004
25	288.0±6.6 b	81.86±1.9 b	0.284±0.003	299.4±6.9	3.658±0.004
25	273.8±6.6 b	77.64±1.9 b	0.284±0.003	284.6±6.9	3.666±0.004
25	273.8±6.6 b	77.64±1.9 b	0.284±0.003	284.6±6.9	3.666±0.004
75	196.2±17 c	56.47±4.5 c	0.288±0.003	204.2±7.4	3.600±0.004
75	211.2±17 c	61.65±4.5 c	0.292±0.003	220.0±7.4	3.569±0.004
75	170.2±17 c	50.53±4.5 c	0.297±0.003	204.2±7.4	3.616±0.004
100	98.4±8.1 d	29.68±2.5 d	0.302±0.003	102.8±8.5	3.464±0.004
100	115.2±8.1 d	34.73±2.5 d	0.301±0.003	120.3±8.5	3.465±0.004
100	97.3±8.1 d	28.88±2.5 d	0.297±0.003	101.5±8.5	3.515±0.004

Los valores son medias ± DE de la media (n = 3). Según la comparación por pares de Tukey (p <0.05)

La figura 32 A muestra el módulo de almacenamiento (G') en función del esfuerzo cortante (ensayo de amplitud) para las muestras de yogur con diferentes porcentajes de Whey-SCG. En general, los análisis reológicos mostraron que las muestras de yogur eran un gel viscoelástico débil, cuyo módulo de almacenamiento (G') era mayor que el módulo de pérdida (G'') en todas las muestras.

Es de aclarar que tanto los geles fuertes como los débiles presentan módulos de almacenamiento mayores que los módulos de pérdida; sin embargo, es característico de los geles fuertes que G' sea independiente de la frecuencia y que G'' presente valores mínimos en frecuencias intermedias.

En el caso de los geles débiles, estos poseen propiedades reológicas intermedias entre disoluciones y geles fuertes. En general, los geles débiles cuando son sometidos a bajas deformaciones, tienen comportamiento reológicos similar a los geles fuertes, sin embargo, a medida que la deformación aumenta, las redes tridimensionales experimentan una progresiva ruptura; haciéndolos dependientes de la frecuencia (Díaz-Ocampo, 2018). Dado lo anterior, Se observa un comportamiento de gel débil debido a la ligera dependencia con la frecuencia angular.

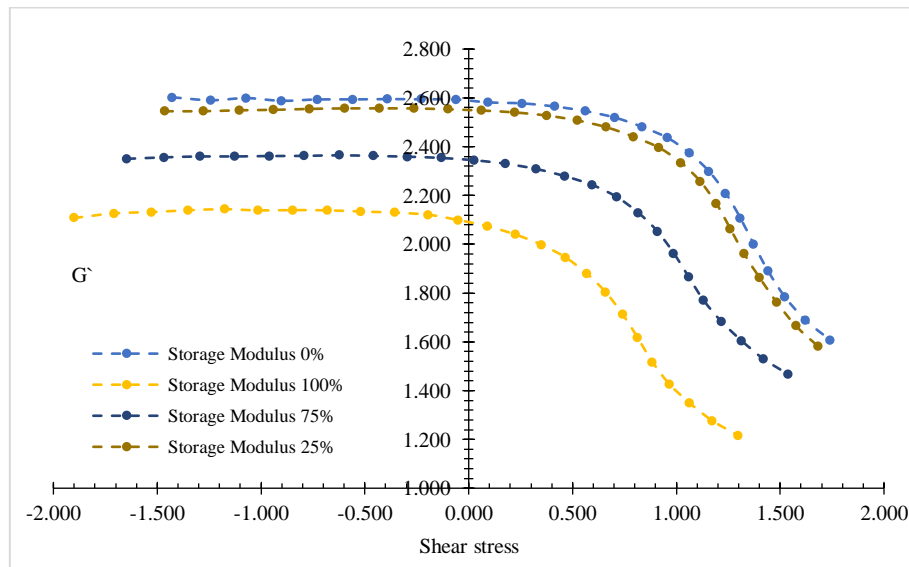


Figura 32. Módulo de almacenamiento (storage module,  $G'$ ) hallado por medio de un ensayo de Amplitud, frecuencia = 1 rad s<sup>-1</sup>.

De la figura 32, se pueden observar dos regiones con comportamientos diferentes. Inicialmente, se observa una región viscoelástica lineal donde  $G'$  es constante; e independiente de la deformación aplicada; este comportamiento se debe al comportamiento viscoelástico de las muestras y está estrechamente relacionada con la estabilidad del producto (Martínez-Monteagudo et al., 2017). Después de la región viscoelástica lineal, aparece una región no lineal; en el que  $G'$  comenzó a disminuir con el aumento de la deformación, región en la cual cambios estructurales se presentan dentro del gel.

El aumento del porcentaje de Whey-SCG en las formulaciones del yogur, resultó en valores exponenciales más bajos de  $G'$  en comparación con la muestra de control, lo que significa que disminuyó la fuerza del gel. Ninguno de los yogures fortificados produjo las mismas propiedades de gel que la muestra de control. Sin embargo, las muestras con 25% del ingrediente presentaron valores de  $G'$  similares a la muestra control. El módulo elástico medido en función de la deformación (figura 32 A) indicó que aumentar el ingrediente en la fórmula de yogur no extiende ni acorta la longitud de la región viscoelástica lineal en comparación con

la muestra de control, eso significa que la estabilidad del producto no se vio afectada por adición del Whey-SCG.

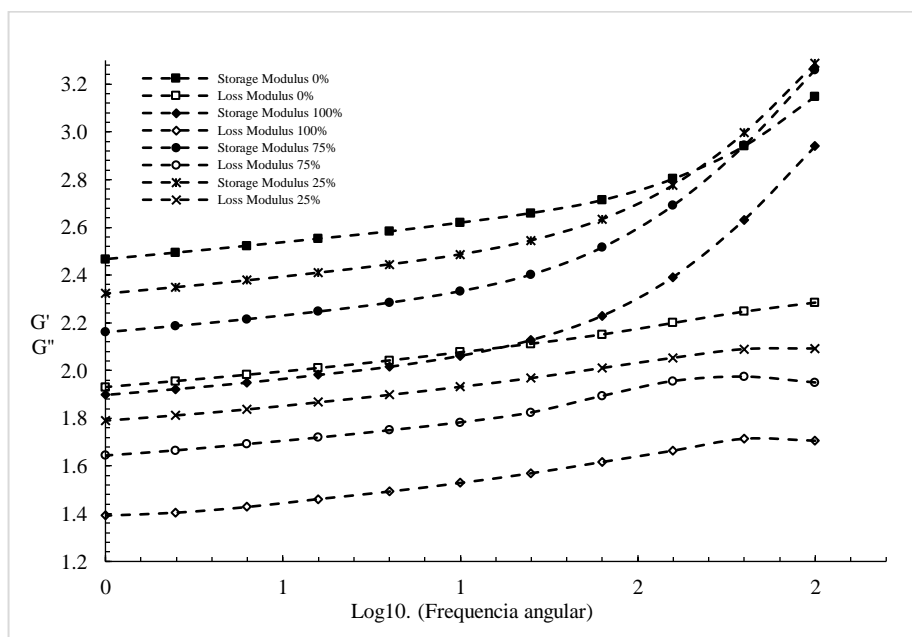


Figura 33. Ensayo de frecuencia de las muestras de yogur enriquecidas.

El análisis de barrido de frecuencia se utilizó para comparar los espectros mecánicos. La Figura 33. muestra el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y el módulo de pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia de todas las formulaciones analizadas.  $G'$  y  $G''$  aumentaron ligeramente con la frecuencia, los valores de  $G'$  siempre fueron mayores que los valores de  $G''$  ( $G' > G''$ ), lo que significa que domina el comportamiento elástico. Estos comportamientos corroboran el comportamiento de gel débil anteriormente expuesto.

Los valores de  $G'$  y  $G''$  a 1Hz son presentados en la tabla 23. Se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras ( $p < 0.05$ ). El módulo de almacenamiento ( $G'$ ) presentó alta y negativa correlación ( $p < 0.05$  y  $r > 0.97$ ) con el porcentaje de ingrediente adicionado, producción de suero y adhesividad. Por otro lado,  $G'$  presentó una alta y positiva correlación ( $p < 0.05$  y  $r > 0.95$ ) con los parámetros de Trabajo, firmeza y yield strees. La adición del ingrediente en polvo Whey-SCG disminuyó los valores de los módulos de almacenamiento de todas las muestras, lo que nuevamente indica un debilitamiento de la estructura.

En general, la correlación obtenida indica que cuando aumenta el porcentaje de ingrediente, el módulo de almacenamiento, la Trabajo, la firmeza y el yield stress disminuyen. De acuerdo con la literatura, la adición de proteína de suero lácteo a una formulación de yogur, mejora significativamente la estructura del gel, brindando características reológicas y texturales superiores. Este comportamiento es causado por la interacción entre las proteínas de suero desnaturalizadas y las micelas de caseína (Lucey, Munro, & Singh, 1999); en particular, la b-lactoglobulina desnaturalizada interactúa con la k-caseína a través de enlaces disulfuro (Sandoval-Castilla et al., 2004). No obstante, la presencia de compuestos antioxidantes como polifenoles y ácidos clorogénicos en el ingrediente en polvo Whey-SCG puede explicar parte del comportamiento reológico obtenido; pues los polifenoles, tienen la capacidad de interactuar con macromoléculas como las proteínas, lo que resulta en la formación del complejo proteína-polifenoles (Dönmez et al., 2017; Jakobek, 2015; Yuksel, Avci, & Erdem, 2010); anteriormente expuestos. Este tipo de interacciones cambia la estructura de la proteína, dejando expuestos sitios hidrofóbicos débiles en la superficie de la proteína; cambiando su funcionalidad y propiedades tecnológicas; así mismo, los resultados reológicos son causados por la disminución de la interacción entre las proteínas de suero desnaturalizadas y las micelas de caseína, pues a medida que el ingrediente Whey-SCG incrementaba en la fórmula de los yogures, el contenido de casina disminuye considerablemente, pues el LPD estaba siendo reemplazada.

#### 4.4.2.4 Microestructura electrónica de barrido

La microestructura de los yogures se evaluó para visualizar las redes de proteínas y la estructura del gel. La figura 34 presenta las imágenes de microestructura de las muestras de yogur enriquecido con diferentes porcentajes (0-100%) del ingrediente en polvo Whey-SCG. Las imágenes fueron tomadas con diferentes ampliaciones (x 1, 2, 5 y 10K).

La compacidad de la red de proteínas y el tamaño de los poros (agujeros oscuros) se observaron en muestras de yogur con el ingrediente en polvo Whey-SCG, lo que explica la modificación en sus propiedades físicas y estructurales. La microestructura de la muestra control se presenta



en la figura 35 A, E, I y M. Se observaron diferencias notables entre la microestructura del yogur control y las muestras formuladas con el ingrediente en polvo Whey-SCG. El yogur elaborado con el ingrediente presentó grandes espacios porosos, lo cual se relaciona con los resultados texturales y reológicos, donde el módulo de almacenamiento, la Trabajo, la firmeza y el yield stress disminuyen en función del aumento el ingrediente Whey-SCG en la formulación del yogur.

La presencia de polifenoles, ácidos clorogénicos y fibra en la borra de café; no permiten las interacciones entre las proteínas del suero desnaturalizadas y las micelas de caseína; haciendo que la estructura del gel sea débil (Dönmez et al., 2017). La figura 35 D, H, L, P. presentan estructuras en formas de hoja plana entre la estructura del gel, afectando su estructura, imágenes similares de la microestructura de la borra de café, como estructuras planas y alargadas (Ballesteros et al., 2014).

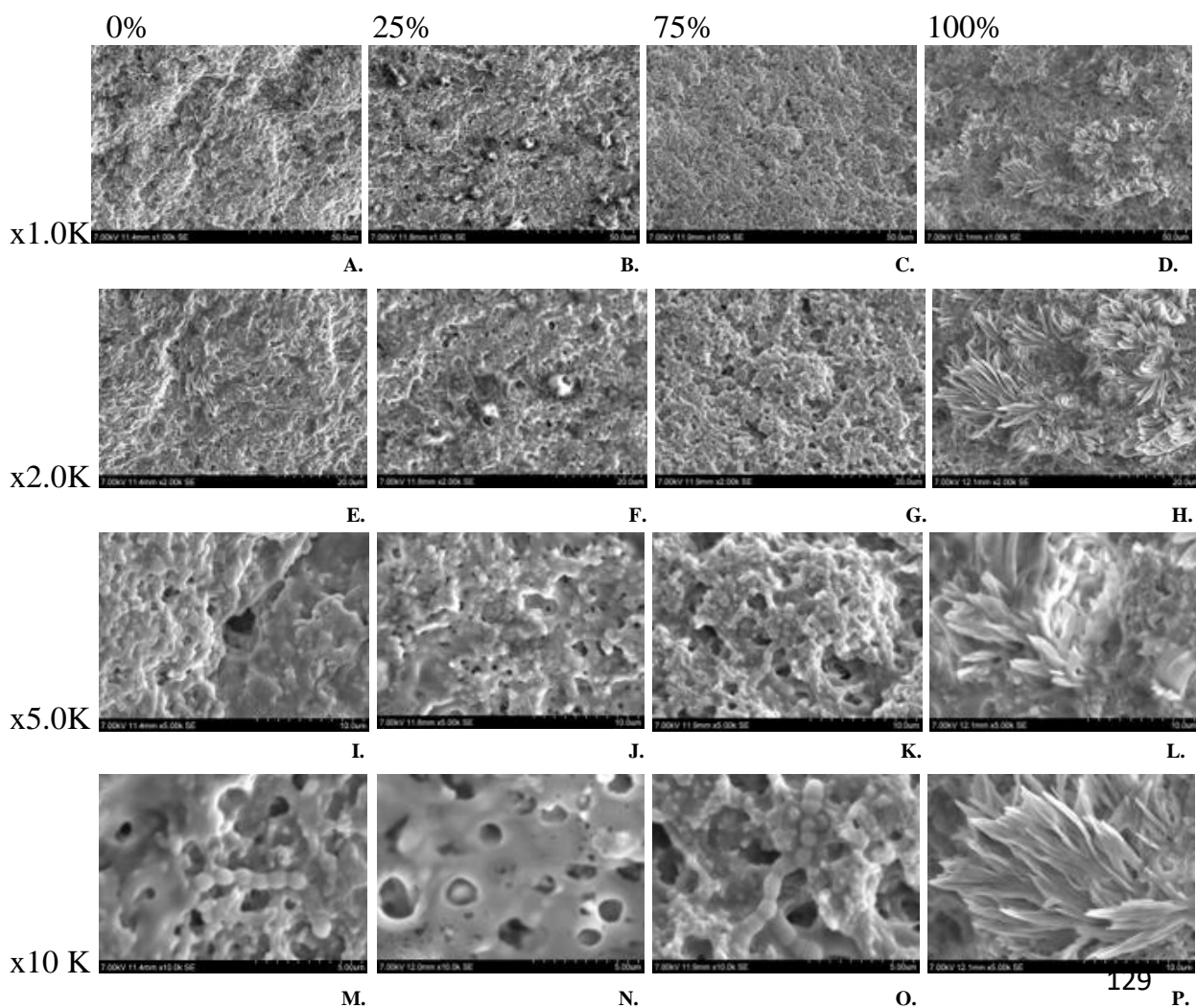


Figura 34 Microestructura de las muestras de yogur fortificadas con Whey-SCG.

#### 4.4.3 Relevancia de los resultados obtenidos

Los resultados de este estudio mostraron que el uso del ingrediente Whey-SCG en la formulación de yogurt tipo set afectó la microestructura y, por lo tanto, las propiedades reológicas y de textura. Una proporción incrementada de Whey-SCG (0-25-75-100%) en cada formulación resultó en un producto suave y poco viscoso; así mismo, el módulo de almacenamiento, la Trabajo, la firmeza y el límite de elasticidad disminuyen. Las diferencias encontradas en las diferentes formulaciones se deben a las interacciones entre los componentes del SCG (polifenoles, ácidos clorogénicos y fibra) y las proteínas lácticas. De la misma manera, la adición del ingrediente Whey-SCG disminuyó el contenido de proteína total, lo que disminuyó la fuerza del gel por la falta de interacciones entre las proteínas de suero desnaturalizadas y las micelas de caseína. No obstante, el valor nutricional y capacidad antioxidante de los yogures formulados con el ingrediente desarrollado cumplen con los valores legales en cuanto a contenido mínimo de proteína.

Finalmente, según el departamento de agricultura y el departamento de servicios de salud de los Estados Unidos, la ingesta diaria recomendada (IDR) de proteína en personas adultas saludables, debe ser entre 46 – 56 g (USDA & HHS, 2015). Teniendo en cuenta estos valores, 100g del yogur desarrollado mediante las diferentes formulaciones, aporta 10.5, 9.0, 8.4 y 7.5% de la IDR de proteína, dichos porcentajes para las relaciones con 0, 25, 75 y 100% del ingrediente el polvo Whey-SCG, respectivamente. En el caso de la lisina útil, en general la IDR recomendada es de 2.1 g de lisina para personas adultas saludables (EI-Khoury et al., 2000). De acuerdo con estos valores, 100g de las muestras de yogur desarrolladas, puede aportar 3.7, 1.6, 1.5 y 1.4 % de la IDR, para las relaciones con 0, 25, 75 y 100% del ingrediente el polvo, respectivamente.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Fue posible obtener un ingrediente alimentario, a partir de dos subproductos agroindustriales, como la borra y el suero lácteo y desarrollar un producto tipo yogur, rico en proteína y antioxidantes.

En general se puede concluir que el suero lácteo y la borra de café, son susceptibles de aprovechamiento y tienen potencial uso para la producción de ingredientes alimenticios; ya que el análisis proximal de los mismos mostró un contenido apropiado de proteína y de compuestos antioxidantes; los cuales podrían ser catalogados como propiedades beneficiosas para la salud humana. Finalmente, el contenido de carbohidratos los hace susceptibles de aprovechamiento para procesos biotecnológicos.

Las condiciones óptimas del proceso de secado de la borra de café fueron de 60 °C, 2.0 m/s, 0.012 m para las condiciones de temperatura, velocidad del aire y espesor de la torta, respectivamente. Permitiendo retener el 48 % de la capacidad antioxidante.

Además, se pudo establecer que, durante el proceso de secado convectivo de la borra de café las reacciones de hidrólisis e isomerización posicional, fueron las principales responsables de los cambios estructurales de los ácidos clorogénicos de la borra de café, donde cinéticas de primer orden fueron establecidas para su degradación.

Se pudo evidenciar que, en el polvo *Whey-SCG* obtenido por secado por atomización, las proteínas del suero lácteo presentaron un posible efecto encapsulante sobre las partículas de borra de café, lo cual permitió la conservación de compuestos de alto valor, tales como los ácidos clorogénicos.

De acuerdo con las características nutricionales y propiedades tecnológicas encontradas para el *ingrediente en polvo Whey-SCG*, se puede decir que éste tiene potencial efecto benéfico para la salud humana; debido a la presencia de compuestos antioxidantes, aminoácidos y bajo contenido de compuestos tóxicos (HMF y furfural). Así mismo, buenas propiedades

tecnológicas fueron obtenidas, en términos de densidad, humedad,  $a_w$ , capacidad de retención de aceite fueron obtenidas; lo cual favorece su potencial aplicación en el desarrollo de alimentos.

En general el producto lácteo tipo yogur formulado, es un alimento con alto valor nutricional y capacidad antioxidante; de baja viscosidad, de acuerdo a las propiedades reológicas y de textura encontradas. Además, es un producto que cumple con los valores legales en cuanto a contenido mínimo de proteína ( $>2.6$  g/100g), según la norma técnica colombiana 805 para bebidas lácteas fermentadas.

Es posible reemplazar el 25% de las materias primas usadas en la formulación de un yogur tipo set, con el ingrediente en polvo Whey-SCG sin comprometer las propiedades reológicas y texturales del yogur.

Quedan como retos, realizar el escalamiento de la producción industrial del ingrediente, para aumentar su capacidad de producción; que asegure un producto uniforme en cuanto a sus propiedades tecnológicas y funcionales.

Con respecto a las posibles aplicaciones del ingrediente, se podrían realizar estudios para evaluar su comportamiento en la formulación de diferentes matrices alimentarias como lo son helados, suplementos alimentarios, panadería y galletería, en miras de dar potencial comercialización.

Se deberán establecer estudios sensoriales y de vida útil que permitan conocer las características del ingrediente y de sus aplicaciones.

Finalmente, es importante realizar un estudio de bioaccesibilidad y biodisponibilidad del ingrediente, inicialmente con simuladores y posteriores estudios clínicos.

## 6 REFERENCIAS

- Aalaei, K., Rayner, M., & Sjöholm, I. (2016). Storage stability of freeze-dried, spray-dried and drum-dried skim milk powders evaluated by available lysine. *LWT - Food Science and Technology*, *73*, 675–682. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.011>
- Abd El-Salam, M. H., & El-Shibiny, S. (2018). Glycation of whey proteins: Technological and nutritional implications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *112*, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.114>
- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., & Langrish, T. A. G. (2009). Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. *Journal of Food Engineering*, *94*(2), 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.029>
- Akoy, E. O. M. (2014). Experimental characterization and modeling of thin-layer drying of mango slices. *International Food Research Journal*, *21*(5), 1911–1917.
- Al-Dhabi, N. A., Ponnurugan, K., & Maran Jeganathan, P. (2017). Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds. *Ultrasonics Sonochemistry*, *34*, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.005>
- Alam, S., Stevens, D., & Bajpai, R. (1988). Production of butyric acid by batch fermentation of cheese whey with *Clostridium beijerinckii*. *Journal of Industrial Microbiology*, *2*(6), 359–364. <https://doi.org/10.1007/BF01569574>
- Alves, R. C., Rodrigues, F., Antónia Nunes, M., Vinha, A. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2017). *State of the art in coffee processing by-products. Handbook of Coffee Processing By-Products: Sustainable Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00001-3>
- AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (D. G. W. Latimer, Ed.) (20th ed.). Rockville, Maryland, USA.: Association of Official Analytical Chemists.
- Araujo-Díaz, S. B., Leyva-Porras, C., Aguirre-Bañuelos, P., Álvarez-Salas, C., & Saavedra-Leos, Z. (2017). Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. *Carbohydrate Polymers*, *167*, 317–325.

- <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.065>
- Aristizábal-Marulanda, V., Chacón-Perez, Y., & Cardona Alzate, C. A. (2017). *The biorefinery concept for the industrial valorization of coffee processing by-products. Handbook of Coffee Processing By-Products: Sustainable Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00003-7>
- Aurelio, D. L., Edgardo, R. G., & Navarro-Galindo, S. (2008). Thermal kinetic degradation of anthocyanins in a roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. cv. 'Criollo') infusion. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(2), 322–325. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01439.x>
- Baiano, A. (2014). Recovery of Biomolecules from Food Wastes — A Review. *Molecules*, 19, 14821–14842. <https://doi.org/10.3390/molecules190914821>
- Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2014). Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, 7(12), 3493–3503. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>
- Baró, L., Jiménez, J., Martínez-Férez, A., & Boza, J. (2001). Bioactive milk peptides and proteins. *Ars Pharmaceutica*, 42(3–4), 135–145.
- Bazaria, B., & Kumar, P. (2016). Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bioscience*, 14, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.11.002>
- Bernard, C., Broyart, B., Vasseur, J., Granda, P., & Relkin, P. (2008). Enhancement of protein structure-forming properties in liquid foams by spray drying. *Dairy Science and Technology*, 88(1), 65–80. <https://doi.org/10.1051/dst:2007017>
- Bernard, C., Regnault, S., Gendreau, S., Charbonneau, S., & Relkin, P. (2011). Enhancement of emulsifying properties of whey proteins by controlling spray-drying parameters. *Food Hydrocolloids*, 25(4), 758–763. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.08.011>
- Betancur-Ancona, D., Peraza-Mercado, G., Moguel-Ordoñez, Y., & Fuertes-Blanco, S. (2004). Physicochemical characterization of lima bean (*Phaseolus lunatus*) and Jack bean (*Canavalia ensiformis*) fibrous residues. *Food Chemistry*, 84(2), 287–295. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00213-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00213-9)

- Bhandari, B. (2013). Introduction to food powders. In Bhesh Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, & P. Schuck (Eds.), *Handbook of Food Powders* (pp. 1–25). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.1>
- Bhandari, B. R., & Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, *40*(1), 71–79. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00039-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00039-4)
- Bhandari, Bhesh, Bansal, N., Zhang, M., & Schuck, P. (2013). *Handbook of Food Powders - Processes and Properties*. Philadelphia New Delhi: Woodhead Publishing Limited.
- Blaschek, K. . M., Wendorff, W. L., & Rankin, S. A. (2007). Survey of salty and sweet whey composition from various cheese plants in Wisconsin. *Journal of Dairy Science*, *90*(4), 2029–2034. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-770>
- Boland, M. (2011). 3 - Whey proteins. *Handbook of Food Proteins*, 30–55. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1533/9780857093639.30>
- Bong, D. D., & Moraru, C. I. (2014). Use of micellar casein concentrate for Greek-style yogurt manufacturing: Effects on processing and product properties. *Journal of Dairy Science*, *97*(3), 1259–1269. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7488>
- Bonnaillie, L. M., & Tomasula, P. M. (2012). Kinetics, aggregation behavior and optimization of the fractionation of whey protein isolate with hydrochloric acid. *Food and Bioprocesses Processing*, *90*(4), 737–747. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.01.002>
- Braga, M. B., Rocha, S. C. dos S., & Hubinger, M. D. (2018). Spray-Drying of Milk–Blackberry Pulp Mixture: Effect of Carrier Agent on the Physical Properties of Powder, Water Sorption, and Glass Transition Temperature. *Journal of Food Science*, *83*(6), 1650–1659. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14187>
- Bravo, J., Juárez, I., Monente, C., Caemmerer, B., Kroh, L. W., De Peña, M. P., & Cid, C. (2012). Evaluation of spent coffee obtained from the most common coffeemakers as a source of hydrophilic bioactive compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(51), 12565–12573. <https://doi.org/10.1021/jf3040594>
- Brennan, J. G. (2006). *Food Processing Handbook*. (James G. Brennan, Ed.), *Traders* (2nd ed.). Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Brewer, M. S. (2011). Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action,

- and Potential Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(4), 221–247. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>
- Brunauer, S., Deming, L. S., Deming, W. E., & Teller, E. (1940). On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. *J. Am. Chem. Soc.*, 62(7), 1723–1732. <https://doi.org/10.1021/ja01864a025>
- Bylund, G. (1995). Dairy Processing Handbook. *Tetra Pak Processing Systems, G3*, 331–352. <https://doi.org/10.1533/9781855737075.3.448>
- Caetano, N. S., Caldeira, D., Martins, A. A., & Mata, T. M. (2017). Valorisation of Spent Coffee Grounds: Production of Biodiesel via Enzymatic Catalysis with Ethanol and a Co-solvent. *Waste and Biomass Valorization*, 8(6), 1981–1994. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9790-z>
- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H. A., & Dave Oomah, B. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science and Technology*, 45(1), 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>
- Capuano, E., & Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT - Food Science and Technology*, 44(4), 793–810. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.002>
- Carman, A. J., Dacks, P. A., Lane, R. F., Shineman, D. W., & Fillit, H. M. (2014). Current evidence for the use of coffee and caffeine to prevent age-related cognitive decline and Alzheimer's disease. *Journal of Nutrition, Health and Aging*, 18(4), 383–392. <https://doi.org/10.1007/s12603-014-0021-7>
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the Total Environment*, 445–446, 385–396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>
- CEC. (2017). *Characterization and Management of Food Loss and Waste in North America*. Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation. Retrieved from <http://www3.cec.org/fw/food-waste-reports/>
- Chandan, R. C. (2017). *An overview of yogurt production and composition*. *Yogurt in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00002-X>



- Chandrapala, J., Duke, M. C., Gray, S. R., Weeks, M., Palmer, M., & Vasiljevic, T. (2016). Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature. *Separation and Purification Technology*, *160*, 18–27.  
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.12.046>
- Chegini, G., & Taheri, M. (2013). Whey powder: Process technology and physical properties: A review. *Middle East Journal of Scientific Research*.  
<https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.13.10.1239>
- Chen, H. M., Muramoto, K., Yamauchi, F., Fujimoto, K., & Nokihara, K. (1998). Antioxidative Properties of Histidine-Containing Peptides Designed from Peptide Fragments Found in the Digests of a Soybean Protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46*(1), 49–53. <https://doi.org/10.1021/jf970649w>
- Ciro, H., Osorio, J., & Cortés, E. (2008). Determination of the isosteric heat to plantain pulp (*musa paradisiaca*) by sorption isotherms. *Dyna Rev.Fac.Nac.Minas*, *75*(156), 127–134.
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, *44*(7), 2047–2053.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.003>
- Contreras-Calderón, J., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B. (2008). Indicators of non-enzymatic browning in the evaluation of heat damage of ingredient proteins used in manufactured infant formulas. *European Food Research and Technology*, *227*(1), 117–124. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0700-2>
- Contreras-Calderón, J., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B. (2009). Utility of some indicators related to the Maillard browning reaction during processing of infant formulas. *Food Chemistry*, *114*(4), 1265–1270.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.004>
- Contreras-Calderón, J., Mejía-Díaz, D., Martínez-Castaño, M., Bedoya-Ramírez, D., López-Rojas, N., Gómez-Narváez, F., ... Vega-Castro, O. (2016). Evaluation of antioxidant capacity in coffees marketed in Colombia: Relationship with the extent of non-enzymatic browning. *Food Chemistry*, *209*, 162–170.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.038>

- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*: 2d Ed. [https://doi.org/10.1016/0306-4549\(77\)90072-X](https://doi.org/10.1016/0306-4549(77)90072-X)
- Cruz, D., Fátima Barroso, M., Alves, R. C., González-García, M. B., Ramalhosa, M. J., Duarte, A. J., ... Delerue-Matos, C. (2014). *Assay of Total Antioxidant Capacity of Coffee: Use of a DNA-Based Biosensor. Coffee in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00106-6>
- Cruz, R., Cardoso, M. M., Fernandes, L., Oliveira, M., Mendes, E., Baptista, P., ... Casal, S. (2012). Espresso coffee residues: A valuable source of unextracted compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(32), 7777–7784. <https://doi.org/10.1021/jf3018854>
- Cvejić, J. H., Krstonošić, M. A., Bursác, M., & Miljić, U. (2017). *Polyphenols. Nutraceutical and Functional Food Components: Effects of Innovative Processing Techniques*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805257-0.00007-7>
- Dantas, D., Pasquali, M. A., Cavalcanti-Mata, M., Duarte, M. E., & Lisboa, H. M. (2018). Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. *Food Chemistry*, 266(June), 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.016>
- de Moraes Crizel, T., Jablonski, A., de Oliveira Rios, A., Rech, R., & Flôres, S. H. (2013). Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.002>
- de Wit, J. N. (2001). Lecturer ' s Handbook on whey and whey products. *The European Whey Products Association.*, 91.
- Deeth, H., & Bansal, N. (2019). Whey Proteins: An Overview. In H. C. Deeth & N. Bansal (Eds.), *Whey Proteins From Milk to Medicine* (pp. 1–50). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00001-1>
- Delgado-Arias, S., Zapata-Valencia, S., Cano-Agudelo, Y., Osorio-Arias, J., & Vega-Castro, O. (2019). Evaluation of the antioxidant and physical properties of an exfoliating cream developed from coffee grounds. *Journal of Food Process Engineering*, e13067. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13067>
- Díaz-Ocampo. (2018). *Reología aplicada a sistemas alimentarios* (Grupo Comp). Guayaquil-Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Djilas, S., Čanadanović-Brunet, J., & Četković, G. (2009). By-products of fruits processing

- as a source of phytochemicals. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 15(4), 191–202. <https://doi.org/10.2298/CICEQ0904191D>
- do Carmo, E. L., Teodoro, R. A. R., Félix, P. H. C., Fernandes, R. V. de B., Oliveira, É. R. de, Veiga, T. R. L. A., ... Botrel, D. A. (2018). Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. *Food Chemistry*, 249, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.076>
- Domian, E., Brynda-kopytowska, A., Cie, J., & Agata, G. (2018). Effect of carbohydrate type on the DVS isotherm-induced phase transitions in spray-dried fat-filled pea protein-based powders. *Journal of Food Engineering*, 222, 115e125 C. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.012>
- Dönmez, Ö., Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2017). Syneresis and rheological behaviors of set yogurt containing green tea and green coffee powders. *Journal of Dairy Science*, 100(2), 901–907. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11262>
- Donz, E., Boiron, P., & Courthaudon, J. L. (2014). Characterization of industrial dried whey emulsions at different stages of spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 126, 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.003>
- Dragone, G., Mussatto, S. I., Almeida e Silva, J. B., & Teixeira, J. A. (2011). Optimal fermentation conditions for maximizing the ethanol production by *Kluyveromyces fragilis* from cheese whey powder. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1977–1982. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.045>
- Duarte, Y., Chau, A., Lopez, N., Largo, E., Ramírez, C., Nuñez, H., ... Vega, O. (2017). Effects of Blanching and Hot Air Drying Conditions on the Physicochemical and Technological Properties of Yellow Passion Fruit (*Passiflora edulis* Var. *Flavicarpa*) by-Products. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), 0–9. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12425>
- Echeverri, D., Buitrago, L., Montes, F., Mejía, I., & González, M. del P. (2005). Café para cardiólogos. *Revista Colombiana de Cardiología*, 11(7), 357–365.
- Eckert, C., Serpa, V. G., Felipe dos Santos, A. C., Marinês da Costa, S., Dalpubel, V., Lehn, D. N., & Volken de Souza, C. F. (2017). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 through spray drying and using dairy whey as wall materials. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 176–183.

- <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.045>
- Edrisi Sormoli, M., & Langrish, T. A. G. (2016). Spray drying bioactive orange-peel extracts produced by Soxhlet extraction: Use of WPI, antioxidant activity and moisture sorption isotherms. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 1–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.033>
- EI-Khoury, PC, P., S, B., A, B.-F., L, B., SY, W., ... VR, Y. (2000). Twenty-four-hour oral tracer studies with L-[1-13C]lysine at a low (15mg·kg (-I)'d (-I)) and intermediate (29mg·kg (-I)'d(-I)) lysine intake in healthy adults. *Am J C/in Nlltr*, 72, 122–130.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417762-8.50056-9>
- Elversson, J., & Millqvist-Fureby, A. (2005). Particle size and density in spray drying - Effects of carbohydrate properties. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 94(9), 2049–2060. <https://doi.org/10.1002/jps.20418>
- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488–495.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>
- Fan, F., Mou, T., Nurhadi, B., & Roos, Y. H. (2017). Water sorption-induced crystallization , structural relaxations and strength analysis of relaxation times in amorphous lactose / whey protein systems. *Journal of Food Engineering 1*, 196, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.022>
- Fang, Y., Rogers, S., Selomulya, C., & Chen, X. D. (2012). Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. *Biochemical Engineering Journal*, 62, 101–105. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2011.05.007>
- FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Retrieved from <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/I>
- FAO. (2015). Food loss and waste facts. Retrieved February 19, 2019, from <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/317265/>
- FAO, FIDA, & PMA. (2015). *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo: cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales procesos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Vol. 2)*. Roma: FAO. Retrieved from

<http://www.fao.org/docrep/017/i3027s/i3027s.pdf>

Farah, A. (2012). Coffee Constituents. In Y.-F. Chu (Ed.), *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention* (First Edit, pp. 21–58). Blackwell Publishing Ltd.

<https://doi.org/10.1002/9781119949893.ch2>

Farrokhi, F., Ehsani, M. R., Badii, F., & Hashemi, M. (2018). Structural and thermal properties of nanofibrillated whey protein isolate in the glassy state. *Lwt*, *95*, 274–281.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.001>

Federación Nacional de Cafeteros. (2010). Un Café Sobresaliente | Café de Colombia.

Retrieved March 5, 2019, from

[http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el\\_cafe\\_de\\_colombia/un\\_cafe\\_sobresaliente/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia/un_cafe_sobresaliente/)

Felix da Silva, D., Ahrné, L., Larsen, F. H., Hougaard, A. B., & Ipsen, R. (2018). Physical and functional properties of cheese powders affected by sweet whey powder addition before or after spray drying. *Powder Technology*, *323*, 139–148.

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.014>

Ferrari, C. C., Germer, S. P. M., & de Aguirre, J. M. (2012). Effects of Spray-Drying Conditions on the Physicochemical Properties of Blackberry Powder. *Drying Technology*, *30*(2), 154–163. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.628429>

Ferrer, E., Alegría, A., Farré, R., Clemente, G., & Calvo, C. (2005). Fluorescence, browning index, and color in infant formulas during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(12), 4911–4917. <https://doi.org/10.1021/jf0403585>

Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, *91*(3), 395–401.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.036>

Flores, F. P., Singh, R. K., & Kong, F. (2014). Physical and storage properties of spray-dried blueberry pomace extract with whey protein isolate as wall material. *Journal of Food Engineering*, *137*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.03.034>

Foegeding, E. A., & Mleko, S. W. (2002). Whey protein products. *US Patent 6,383,551*, 1957–1960. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00350-2>

Foegeding, E., & Luck., P. (2002). Whey protein products. In B. Caballero, L. Trugo, & P.

- Finglas (Eds.), *Encyclopedia of Food sciences and nutrition* (pp. 1957–1960). New York: Academic Press.
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., & Ferreira, M. E. (2009). Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds. *Desalination*, *249*(1), 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.11.017>
- Gan, P. L., & Poh, P. E. (2014). Investigation on the Effect of Shapes on the Drying Kinetics and Sensory Evaluation Study of Dried Jackfruit. *International Journal of Science and Engineering (IJSE)*, *7*(October), 193–198.
- Gayán, E., Serrano, M. J., Álvarez, I., & Condón, S. (2016). Modeling optimal process conditions for UV-heat inactivation of foodborne pathogens in liquid foods. *Food Microbiology*, *60*, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.011>
- Giroto, F., Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). Food waste generation and industrial uses: A review. *Waste Management*, *45*, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.008>
- Gloess, A. N., Schönbächler, B., Klopprogge, B., D`Ambrosio, L., Chatelain, K., Bongartz, A., ... Yeretizian, C. (2013). Comparison of nine common coffee extraction methods: instrumental and sensory analysis. *European Food Research and Technology*, *236*(4), 607–627. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-1917-x>
- Gómez-De La Cruz, F. J., Cruz-Peragón, F., Casanova-Peláez, P. J., & Palomar-Carnicero, J. M. (2015). A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics. *Fuel Processing Technology*, *130*(C), 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.10.012>
- Gómez-Narváez, F., Medina-Pineda, Y., & Contreras-Calderón, J. (2017). Evaluation of the heat damage of whey and whey proteins using multivariate analysis. *Food Research International*, *102*(September), 768–775. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.074>
- Gómez-Narváez, F., Pérez-Martínez, L., & Contreras-Calderón, J. (2019). Usefulness of some Maillard reaction indicators for monitoring the heat damage of whey powder under conditions applicable to spray drying. *International Dairy Journal*, *99*, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104553>
- Gong, Z., Zhang, M., Mujumdar, A., & Sun, J. (2008). Spray drying and agglomeration of instant bayberry powder. *Drying Technology*, *26*(1), 116–121.

<https://doi.org/10.1080/07373930701781751>

- Gorissen, S. H. M., Crombag, J. J. R., Senden, J. M. G., Waterval, W. A. H., Bierau, J., Verdijk, L. B., & van Loon, L. J. C. (2018). Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2640-5>
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 38(5), 479–487. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.07.020>
- Goula, A. M., & Lazarides, H. N. (2015). Integrated processes can turn industrial food waste into valuable food by-products and/or ingredients: The cases of olive mill and pomegranate wastes. *Journal of Food Engineering*, 167, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.003>
- Grasmeijer, N., Frijlink, H. W., & Hinrichs, W. L. J. (2016). Model to predict inhomogeneous protein–sugar distribution in powders prepared by spray drying. *Journal of Aerosol Science*, 101, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2016.07.012>
- Griguelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (1999). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*, 31(5), 335–361. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(98\)00087-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00087-8)
- Guerra, Á. V. A., Castro, L. M. M. T., & Quintero, A. L. (2013). Utilization of whey as a source of nutritional energy to minimize the problem of environmental pollution. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 55–66.
- Guiné, T., Mullins, C., Reville, W., & Cotter, M. (1995). Physical properties of stirred-curd unsweetened yoghurts stabilised with different dairy ingredients. *Milchwissenschaft*, 50, 196–200.
- Guiné, R. P. F., Pinho, S., & Barroca, M. J. (2011). Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Food and Bioproducts Processing*, 89(4), 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.09.001>
- Hasbay, I., & Galanakis, C. M. (2018). *Recovery technologies and encapsulation techniques. Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00007-5>
- Hayat, K., Zhang, X., Farooq, U., Abbas, S., Xia, S., Jia, C., ... Zhang, J. (2010). Effect of

- microwave treatment on phenolic content and antioxidant activity of citrus mandarin pomace. *Food Chemistry*, 123(2), 423–429.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.060>
- Heldman, D. R., Lund, D. B., & Sabliov, C. (2006). *Handbook of Food Engineering, Second Edition*. (Taylor and Francis Group L, Ed.). Boca Raton.
- Hinkova, A., Zidova, P., Pour, V., Bubnik, Z., Henke, S., Salova, A., & Kadlec, P. (2012). Potential of membrane separation processes in Cheese whey fractionation and separation. *Procedia Engineering*, 42, 1425–1436.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.536>
- Hino, A., Adachi, H., Enomoto, M., Furuki, K., Shigetoh, Y., Ohtsuka, M., ... Imaizumi, T. (2007). Habitual coffee but not green tea consumption is inversely associated with metabolic syndrome. An epidemiological study in a general Japanese population. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 76(3), 383–389.  
<https://doi.org/10.1016/j.diabres.2006.09.033>
- Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., & Maskan, M. (2017). Effects of hybrid (microwave-convectonal) and convectonal drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. *Food Chemistry*, 230, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.046>
- Ibrahim, S. (2016). *Utility of Critical Fluids in Extraction and Encapsulation of Polyphenolics from By-product of Cider Production (Ph.D. thesis)*. University of Birmingham, Birmingham, U.K.
- ICO. (2018). Historical Data on the Global Coffee Trade. Retrieved March 5, 2019, from [http://www.ico.org/historical/1990 onwards/PDF/1a-total-production.pdf](http://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/1a-total-production.pdf)
- IDF. Milk and milk products e Determination of nitrogen content e Part 1: Kjeldahl principle and crude protein calculation. (2014). Brussels, Belgium: International Dairy Federation.
- Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821–1835. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>
- Iriondo-DeHond, A., Aparicio García, N., Fernandez-Gomez, B., Guisantes-Batan, E., Velázquez Escobar, F., Blanch, G. P., ... del Castillo, M. D. (2019). Validation of



- coffee by-products as novel food ingredients. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 51(January 2018), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.010>
- Iriondo-DeHond, A., Aparicio García, N., Velazquez Escobar, F., San Andres, M. I., Sanchez-Fortun, S., Blanch, G. P., ... del Castillo, M. D. (2018). Validation of coffee by-products as novel food ingredients. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (January), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.010>
- Iriondo-DeHond, A., Cornejo, F. S., Fernandez-Gomez, B., Vera, G., Guisantes-Batan, E., Alonso, S. G., ... del Castillo, M. D. (2019). Bioaccessibility, Metabolism, and Excretion of Lipids Composing Spent Coffee Grounds. *Nutrients*, 11(6), 1411. <https://doi.org/10.3390/nu11061411>
- Iriondo-Dehond, M., Miguel, E., & del Castillo, M. (2018). *Byproducts as a Source of Novel Ingredients in Dairy Foods. Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812687-5.22137-0>
- Jacobs, I. C. (2014). *Atomization and Spray-Drying Processes. Microencapsulation in the Food Industry*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404568-2.00005-4>
- Jakobek, L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chemistry*, 175, 556–567. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.013>
- Jang, H., Ocon, J. D., Lee, S., Lee, J. K., & Lee, J. (2015). Direct power generation from waste coffee grounds in a biomass fuel cell. *Journal of Power Sources*, 296, 433–439. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.07.059>
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products : A review. *Resources, Conservation & Recycling*, 128(July 2017), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
- Jørgensen, C. E., Abrahamsen, R. K., Rukke, E. O., Johansen, A. G., Schüller, R. B., & Skeie, S. B. (2015). Improving the structure and rheology of high protein, low fat yoghurt with undenatured whey proteins. *International Dairy Journal*, 47, 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.02.002>
- Jurić, S., Ferrari, G., Velikov, K. P., & Donsì, F. (2019). High-pressure homogenization treatment to recover bioactive compounds from tomato peels. *Journal of Food Engineering*, 262(February), 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.011>
- Kamiloglu, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Beekwilder, J., Robert, D., & Capanoglu, E.

- (2015). A Review on the Effect of Drying on Antioxidant Potential of Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1045969>
- Kanakis, C. D., Hasni, I., Bourassa, P., Tarantilis, P. A., Polissiou, M. G., & Tajmir-riahi, H. (2011). Milk  $\beta$ -lactoglobulin complexes with tea polyphenols. *Food Chemistry*, *127*(3), 1046–1055. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.079>
- Kavousi, P., Mirhosseini, H., Ghazali, H., & Ariffin, A. A. (2015). Formation and reduction of 5-hydroxymethylfurfural at frying temperature in model system as a function of amino acid and sugar composition. *Food Chemistry*, *182*, 164–170.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.135>
- Kaymak-Ertekin, F., & Gedik, A. (2004). Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, *37*(4), 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.012>
- Kelly, G. M., Mahony, J. A. O., Kelly, A. L., & Callaghan, D. J. O. (2016). Effect of hydrolyzed whey protein on surface morphology, water sorption, and glass transition temperature of a model infant formula. *The Lancet*, *99*, 1–12.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10447>
- Kelly, G. M., O'Mahony, J. A., Kelly, A. L., & O'Callaghan, D. J. (2016). Water sorption and diffusion properties of spray-dried dairy powders containing intact and hydrolysed whey protein. *LWT - Food Science and Technology*, *68*, 119–126.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.056>
- Kiritsakis, K., Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., & Gerasopoulos, D. (2018). Valorization of Olive Leaves: Spray Drying of Olive Leaf Extract. *Waste and Biomass Valorization*, *9*(4), 619–633. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0023-x>
- Knockaert, G., Pulissery, S. K., Colle, I., Van Buggenhout, S., Hendrickx, M., & Loey, A. Van. (2012). Lycopene degradation, isomerization and in vitro bioaccessibility in high pressure homogenized tomato puree containing oil: Effect of additional thermal and high pressure processing. *Food Chemistry*, *135*(3), 1290–1297.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.065>
- Kondamudi, N., Mohapatra, S. K., & Misra, M. (2008). Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(24), 11757–

11760. <https://doi.org/10.1021/jf802487s>

- Kourmentza, C., Economou, C. N., Tsafrakidou, P., & Kornaros, M. (2018). Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 980–992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.088>
- Kovalcik, A., Obruca, S., & Marova, I. (2018). Valorization of Spent Coffee Grounds: A review. *Food and Bioproducts Processing*, *110*, 104–119. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.05.002>
- Kumar, N., Sarkar, B. C., & Sharma, H. K. (2012). Mathematical modelling of thin layer hot air drying of carrot pomace. *Journal of Food Science and Technology*, *49*(1), 33–41. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0266-7>
- Lacerda, E. C. Q., Calado, V. M. D. A., Monteiro, M., Finotelli, P. V., Torres, A. G., & Perrone, D. (2016). Starch, inulin and maltodextrin as encapsulating agents affect the quality and stability of jussara pulp microparticles. *Carbohydrate Polymers*, *151*, 500–510. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.093>
- Lago, R. C. A., Antoniassi, R., & Freitas, S. C. (2000). Centesimal composition and amino acids of raw, roasted and spent ground of soluble coffee. In *II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil* (pp. 1473–1478).
- Largo-Avila, E., Cortes Rodriguez, M., & Ciro-Velasquez, H. J. (2014). The adsorption thermodynamics of sugarcane (*Saccharum officinarum* L) powder obtained by spray drying technology. *Vitae*, *21*(3), 165–177.
- Lee, J. Y., Kim, S. S., & Kang, D. H. (2015). Effect of pH for inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* in orange juice by ohmic heating. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1), 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.020>
- Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2004). Structure and Physical Properties of Yogurt Gels : Effect of Inoculation Rate and Incubation Temperature. *Journal of Dairy Science*, *87*(10), 3153–3164. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73450-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73450-5)
- Lesme, H., Rannou, C., Loisel, C., Famelart, M.-H., Bouhallab, S., & Prost, C. (2019). Controlled whey protein aggregates to modulate the texture of fat-free set-type yoghurts. *International Dairy Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.01.004>

- Lewicki, P. P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, 61(4), 483–495. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00219-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00219-X)
- Lin, C. S. K., Pfaltzgraff, L. A., Herrero-Davila, L., Mubofu, E. B., Abderrahim, S., Clark, J. H., ... Luque, R. (2013). Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. *Energy and Environmental Science*, 6(2), 426–464. <https://doi.org/10.1039/c2ee23440h>
- Lin, Y., Kelly, A. L., O'Mahony, J. A., & Guinee, T. P. (2018). Effect of heat treatment, evaporation and spray drying during skim milk powder manufacture on the compositional and processing characteristics of reconstituted skim milk and concentrate. *International Dairy Journal*, 78, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.10.007>
- Linden, G., Lorient, D., Bichat, H., & Carballo García, F. J. (1996). *Bioquímica agroindustrial : revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Acribia. Retrieved from <https://www.casadellibro.com/libro-bioquimica-agroindustrial-revalorizacion-alimentaria-de-la-produccion-agricola/9788420008059/518042>
- Lipinski, B., Hanson, C., & Lomax, J. (2013). Reducing Food Loss and Waste. *Creating a Sustainable Food Future*, (June), 1–40. [https://doi.org/10.2499/9780896295827\\_03](https://doi.org/10.2499/9780896295827_03)
- Loan, N. T. ., Hoa, N. D. ., & Ha, N. V. . (2016). Effects of Spray-Drying Conditions on Antioxidant Properties of Mango. *Journal of Biotechnology*, 14(January), 427–438.
- Lopera, Y. E. (2013). *Estudio del efecto de adición de antioxidantes ( polifenoles del vino ) en leche*. UNIVERSIDAD DE OVIEDO.
- López-Barrera, D. M., Vázquez-Sánchez, K., Loarca-Piña, M. G. F., & Campos-Vega, R. (2016). Spent coffee grounds, an innovative source of colonic fermentable compounds, inhibit inflammatory mediators in vitro. *Food Chemistry*, 212, 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.175>
- Lorieau, L., Halabi, A., Ligneul, A., Hazart, E., Dupont, D., & Flourey, J. (2018). Impact of the dairy product structure and protein nature on the proteolysis and amino acid bioaccessibility during in vitro digestion. *Food Hydrocolloids*, 82, 399–411. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.019>
- Lucey, J. A., Munro, P. A., & Singh, H. (1999). Effects of heat treatment and whey protein

- addition on the rheological properties and structure of acid skim milk gels. *International Dairy Journal*, 9, 275–279.
- Ludwig, I. A., Sanchez, L., Caemmerer, B., Kroh, L. W., De Peña, M. P., & Cid, C. (2012). Extraction of coffee antioxidants: Impact of brewing time and method. *Food Research International*, 48(1), 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.02.023>
- M'hiri, N., Ghali, R., Nasr, I. B., & Boudhrioua, N. (2018). Effect of different drying processes on functional properties of industrial lemon byproduct. *Process Safety and Environmental Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.004>
- Mahomud, M. S., Katsuno, N., & Nishizu, T. (2017). Formation of soluble protein complexes and yoghurt properties influenced by the addition of whey protein concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.010>
- Maidannyk, V. A., & Roos, Y. H. (2017). Food Hydrocolloids Water sorption , glass transition and “ strength ” of lactose e Whey protein systems. *Food Hydrocolloids*, 70, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.025>
- Mann, B., Athira, S., Sharma, R., & Bajaj, R. (2017). *Bioactive peptides in yogurt. Yogurt in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00024-9>
- Martín-Cabrejas, M. A., Aguilera, Y., Pedrosa, M. M., Cuadrado, C., Hernández, T., Díaz, S., & Esteban, R. M. (2009). The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chemistry*, 114(3), 1063–1068. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.070>
- Martinez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., ... del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*, 216, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.173>
- Masisi, K., Beta, T., & Moghadasian, M. H. (2016). Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on in vitro and in vivo studies. *Food Chemistry*, 196, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.021>
- Mehari, B., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Combrinck, S., Atlabachew, M., & McCrindle, R. (2016). Profiling of phenolic compounds using UPLC-MS for

- determining the geographical origin of green coffee beans from Ethiopia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 45, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.09.006>
- Méndez-Lagunas, L., Rodríguez-Ramírez, J., Cruz-Gracida, M., Sandoval-Torres, S., & Barriada-Bernal, G. (2017). Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food Chemistry*, 230, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.010>
- Metzler, R., & Klafter, J. (2000). The random walk's guide to anomalous diffusion: a fractional dynamics approach. *Physics Reports*, 339, 1–77.
- MinAgricultura. (2016). Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. Retrieved March 5, 2019, from <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#>
- Mollea, C., Marmo, L., & Bosco, F. (2013). Valorisation of Cheese Whey, a By-Product from the Dairy Industry. *Food Industry*. <https://doi.org/10.5772/53159>
- Monente, C., Ludwig, I. A., Irigoyen, A., De Peña, M. P., & Cid, C. (2015). Assessment of total (Free and Bound) phenolic compounds in spent coffee extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(17), 4327–4334. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01619>
- Morales, F. J. (2008). Thermal Treatment: Hydroxymethylfurfural (HMF) and Related Compounds. *Process-Induced Food Toxicants: Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks*, 135–174. <https://doi.org/10.1002/9780470430101.ch2e>
- Moreno, M. G., Almendárez, B. G., Regalado, C., Dipa, G., De, F., Querétaro, U. A. De, & N, C. D. C. S. (1997). *Uso del suero lácteo oen la producción de Bacteriocinas por Lactococcus Lactis UQ2*. Querétaro.
- Muehlhoff, E., Bennett, A., & McMahon, D. (2013). *Milk and dairy products in human nutrition*. Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO).
- Muñi, A., Páez, G., Faría, J., Ferrer, J., & Ramones, E. (2005). Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero. *Revista Científica*, XV(4), 361–367. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95915410>
- Murthy, P. S., & Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. *Resources, Conservation and Recycling*,

- 66, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Murthy, P. S., & Naidu, M. M. (2012). Recovery of Phenolic Antioxidants and Functional Compounds from Coffee Industry By-Products. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 897–903. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0363-z>
- Murugesan, R., & Orsat, V. (2012). Spray Drying for the Production of Nutraceutical Ingredients-A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 3–14. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0638-z>
- Mussatto, S. I., Carneiro, L. M., Silva, J. P. A., Roberto, I. C., & Teixeira, J. A. (2011). A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.063>
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 661–672. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
- Naczki, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(5), 1523–1542. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.002>
- Nagy, K., Courtet-Compondu, M. C., Williamson, G., Rezzi, S., Kussmann, M., & Rytz, A. (2012). Non-covalent binding of proteins to polyphenols correlates with their amino acid sequence. *Food Chemistry*, 132(3), 1333–1339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.113>
- Nayak, A., & Bhushan, B. (2019). An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food wastes. *Journal of Environmental Management*, 233, 352–370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.041>
- Nishanthi, M., Chandrapala, J., & Vasiljevic, T. (2017a). Compositional and structural properties of whey proteins of sweet, acid and salty whey concentrates and their respective spray dried powders. *International Dairy Journal*, 74, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.01.002>
- Nishanthi, M., Chandrapala, J., & Vasiljevic, T. (2017b). Properties of whey protein concentrate powders obtained by spray drying of sweet, salty and acid whey under varying storage conditions. *Journal of Food Engineering*, 214, 137–146.

- <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.032>
- Normung, D. I. für. DIN 10767:Analysis of coffee and coffee products; determination of chlorogenic acids content; HPLC method (1992).
- NOVARTIS. (2004). *Tabla de composición de los alimentos* (1st ed.). (A. J. Cruz, P. C. Ral, & M. B. Gascón, Eds.). Barcelona, España: NOVARTIS Medical Nutrition.
- NTC-5098. (2002). Norma Técnica Colombiana .Productos lácteos. Suero en polvo.
- Oancea, A. M., Turturică, M., Bahrim, G., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2017). Phytochemicals and antioxidant activity degradation kinetics during thermal treatments of sour cherry extract. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.026>
- OECD, & FAO. (2016). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*. Organisation for Economic Co-operation and Development, and Food and Agriculture Organization of the United Nations. [https://doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2016-en](https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en)
- Oliveira, B. E., Junior, P. C. G., Cilli, L. P., Contini, L. R. F., Venturini, A. C., Yoshida, C. M. P., & Braga, M. B. (2018). Spray-drying of grape skin-whey protein concentrate mixture. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3693–3702. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3299-3>
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599–618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Onwulata, C. I., Isobe, S., Tomasula, P. M., & Cooke, P. H. (2006). Properties of Whey Protein Isolates Extruded under Acidic and Alkaline Conditions. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 71–81. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72070-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72070-7)
- Osorio, J., Monjes, J., Pinto, M., Ramírez, C., Simpson, R., & Vega, O. (2014). Effects of spray drying conditions and the addition of surfactants on the foaming properties of a whey protein concentrate. *LWT - Food Science and Technology*, 58(1), 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.016>
- Östergren, K., Jenny Gustavsson, Bos-Brouwers, H., Timmermans, T., Hansen, J., Møller, H., ... Redlingshöfer, B. (2014). *FUSIONS definitional framework for food waste*. <https://doi.org/10.3390/su8080783>



- Pacioni, T. R., Soares, D., Domenico, M. Di, Rosa, M. F., Moreira, R. de F. P. M., & José, H. J. (2016). Bio-syngas production from agro-industrial biomass residues by steam gasification. *Waste Management*, *58*, 221–229.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.021>
- Panusa, A., Zuorro, A., Lavecchia, R., Marrosu, G., & Petrucci, R. (2013). Recovery of Natural Antioxidants from Spent Coffee Grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*, 4162–4168. <https://doi.org/10.1021/jf4005719>
- Pap, N., Pongrácz, E., Myllykoski, L., & Keiski, R. (2014). Waste Minimization and Utilization in the Food Industry. In *Introduction to Advanced Food Process Engineering* (Jatindra K, pp. 595–630). Taylor & Francis Group.  
<https://doi.org/10.1201/b16696-23>
- Papargyropoulou, E., Lozano, R., K. Steinberger, J., Wright, N., & Ujang, Z. Bin. (2014). The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*, *76*, 106–115.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.020>
- Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *365*(1554), 3065–3081.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>
- Patrignani, M., Juan, G., Ángel, J., & Elena, C. (2019). Antioxidant capacity of Maillard reaction products in the digestive tract: An in vitro and in vivo study, *276*(July 2018), 443–450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.055>
- Perrone, D., Donangelo, C. M., & Farah, A. (2008). Fast simultaneous analysis of caffeine, trigonelline, nicotinic acid and sucrose in coffee by liquid chromatography-mass spectrometry. *Food Chemistry*, *110*(4), 1030–1035.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.012>
- Peshev, D., Mitev, D., Peeva, L., & Peev, G. (2018). Valorization of spent coffee grounds – A new approach. *Separation and Purification Technology*, *192*(August 2017), 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.10.021>
- Pfaltzgraff, L. A., De Bruyn, M., Cooper, E. C., Budarin, V., & Clark, J. H. (2013). Food waste biomass: A resource for high-value chemicals. *Green Chemistry*, *15*(2), 307–

314. <https://doi.org/10.1039/c2gc36978h>
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management*, *110*, 48–68.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.018>
- Puerta, G. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Cenicafé*, *352*, 1–8. Retrieved from  
<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/418/1/avt0352.pdf>
- Puvanenthiran, Williams, & Augustin. (2002). Structure and visco-elastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *Int Dairy J* *1*, *2*, 383–391.
- Rajapakse, N., Mendis, E., Jung, W. K., Je, J. Y., & Kim, S. K. (2005). Purification of a radical scavenging peptide from fermented mussel sauce and its antioxidant properties. *Food Research International*, *38*(2), 175–182.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.002>
- Ramalakshmi, K., Rao, L. J. M., Takano-Ishikawa, Y., & Goto, M. (2009). Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. *Food Chemistry*, *115*(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.063>
- Ramírez, C., Astorga, V., Nuñez, H., Jaques, A., & Simpson, R. (2017). Anomalous diffusion based on fractional calculus approach applied to drying analysis of apple slices : The effects of relative humidity and temperature. *Food Process Engineering*, (e12549), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.12549>
- Ranheim, T., & Halvorsen, B. (2005). Coffee consumption and human health - Beneficial or detrimental? - Mechanisms for effects of coffee consumption on different risk factors for cardiovascular disease and type 2 diabetes mellitus. *Molecular Nutrition and Food Research*, *49*(3), 274–284. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400109>
- Ratti, C. (2013). *Freeze drying for food powder production. Handbook of Food Powders: Processes and Properties*. Woodhead Publishing Limited.  
<https://doi.org/10.1533/9780857098672.1.57>
- Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2016). Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends in Biotechnology*, *34*(1), 58–69.  
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.008>
- Remeuf, F., Mohammed, Sodini, & Tissier. (2003). Preliminary observations on the effects

- of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yogurt. *Int Dairy J*, 3, 773–782.
- Robert, P., Gorená, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J., & Saenz, C. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(7), 1386–1394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02270.x>
- Rodrigues, L. M., Januário, J. G. B., Santos, S. S. dos, Bergamasco, R., & Madrona, G. S. (2018). Microcapsules of ‘jaboticaba’ byproduct: Storage stability and application in gelatin. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(6), 424–429. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p424-429>
- Rodriguez, G., Garcia, H., Roa Diaz, Z., & Santacoloma, P. (2004). *Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina*. AGSF (Servicio de Gestión, Comercialización y Finanzas Agrícolas). Rome: FAO. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2006427023>
- Rojas, M. L., & Augusto, P. E. D. (2018). Microstructure elements affect the mass transfer in foods: The case of convective drying and rehydration of pumpkin. *Lwt*, 93(March), 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.031>
- Rufián-Henares, J. A., García-Villanova, B., & Guerra-Hernández, E. (2004). Generation of furosine and color in infant/enteral formula-resembling systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(17), 5354–5358. <https://doi.org/10.1021/jf040088q>
- Rufián-Henares, J. A., & Pastoriza, S. (2014). *Melanoidins in Coffee*. *Coffee in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00020-6>
- Russ, W., & Meyer-Pittroff, R. (2004). Utilizing Waste Products from the Food Production and Processing Industries. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(1), 57–62. <https://doi.org/10.1080/10408690490263783>
- Saavedra-Leos, M. Z., Alvarez-Salas, C., Esneider-Alcala, M. A., Toxqui-Terán, A., Pérez-García, S. A., & Ruiz-Cabrera, M. A. (2012). Towards an improved calorimetric methodology for glass transition temperature determination in amorphous sugars

- trica mejorada para la determinación de temperaturas de transición vítrea en Metodología calorimétrica amorfos azú. *Journal of Food*, 10(4), 258–267.
- Saavedra, J., Córdova, A., Navarro, R., Díaz-Calderón, P., Fuentealba, C., Astudillo-Castro, C., ... Galvez, L. (2017). Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. *Journal of Food Engineering*, 198, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.018>
- Sabarez, H. (2016). *Drying of Food Materials. Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03416-8>
- Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016). Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 978–986. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.027>
- Samoticha, J., Wojdyło, A., & Lech, K. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 484–489. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.073>
- Sánchez-Oliver, A. J., Contreras-Calderón, J., Puya-Braza, J. M., & Guerra-Hernández, E. (2018). Quality analysis of commercial protein powder supplements and relation to characteristics declared by manufacturer. *Lwt*, 97(February), 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.047>
- Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., & Vernon-Carter, E. J. (2004). Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal*, 14(2), 151–159. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00166-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00166-3)
- Şanlıdere Aloğlu, H., & Öner, Z. (2011). Determination of antioxidant activity of bioactive peptide fractions obtained from yogurt. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5305–5314. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4285>
- Santiago-Adame, R., Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J. A., Calderas, F., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., ... Bernad-Bernad, M. J. (2015). Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.020>

- Schmitz-Schug, I., Kulozik, U., & Foerst, P. (2016). Modeling spray drying of dairy products - Impact of drying kinetics, reaction kinetics and spray drying conditions on lysine loss. *Chemical Engineering Science*, *141*, 315–329.  
<https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.11.008>
- Seo, Y. H., Sung, M., & Han, J. I. (2016). Lactulose production from cheese whey using recyclable catalyst ammonium carbonate. *Food Chemistry*, *197*, 664–669.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.078>
- Shang, Y. F., Xu, J. L., Lee, W. J., & Um, B. H. (2017). Antioxidative polyphenolics obtained from spent coffee grounds by pressurized liquid extraction. *South African Journal of Botany*, *109*, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.12.011>
- Shen, L., & Chen, Z. (2007). Critical review of the impact of tortuosity on diffusion. *Chemical Engineering Science*, *62*(14), 3748–3755.  
<https://doi.org/10.1016/j.ces.2007.03.041>
- Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, *65*, 49–67.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>
- Simpson, R., Jaques, A., Nun, H., Ramirez, C., & Almonacid, A. (2013). Fractional Calculus as a Mathematical Tool to Improve the Modeling of Mass Transfer Phenomena in Food Processing. *Food Eng Rev*, *5*, 45–55.  
<https://doi.org/10.1007/s12393-012-9059-7>
- Slade, L., Levine, H., & Reid, D. S. (1991). Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Food Science and Nutrition Publication*, *30*(2–3), 115–360.  
<https://doi.org/10.1080/10408399109527543>
- Sodini, I., Montella, J., & Tong, P. S. (2005). Physical properties of yogurt fortified with various commercial whey protein concentrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(5), 853–859. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2037>
- Souza, A. L. De, Garcia, R., Ferreira, R., Valadares, D., Lúcia, M., Pereira, A., ... Filho, V. (2010). Coffee hull in the diet of dairy heifers: nitrogen balance and microbial protein synthesis. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *39*(5), 1141–1145.  
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000500027>

- Sunarharum, W. B., Williams, D. J., & Smyth, H. E. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*, *62*, 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>
- Tan, S., Zhong, C., & Langrish, T. (2019). Microencapsulation of pepsin in the spray-dried WPI (whey protein isolates) matrices for controlled release. *Journal of Food Engineering*, *263*(June), 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.005>
- Tan, S., Zhong, C., & Langrish, T. (2020). Pre-gelation assisted spray drying of whey protein isolates (WPI) for microencapsulation and controlled release. *Lwt*, *117*(July 2019), 108625. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108625>
- Tang, J. E., Moore, D. R., Kujbida, G. W., Tarnopolsky, M. A., & Phillips, S. M. (2009). Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *Journal of Applied Physiology*, *107*(3), 987–992. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00076.2009>
- Teba, C. da S., Silva, E. M. M. da, Chávez, D. W. H., Carvalho, C. W. P. de, & Ascheri, J. L. R. (2017). Effects of whey protein concentrate, feed moisture and temperature on the physicochemical characteristics of a rice-based extruded flour. *Food Chemistry*, *228*, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.145>
- Thyberg, K. L., Tonjes, D. J., & Gurevitch, J. (2015). Quantification of Food Waste Disposal in the United States: A Meta-Analysis. *Environmental Science and Technology*, *49*(24), 13946–13953. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03880>
- Tiwari, U., & Cummins, E. (2011). *Functional and Physicochemical Properties of Legume Fibers. Pulse Foods* (1st ed.). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382018-1.00005-8>
- Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science and Technology*, *63*, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.009>
- Trevitt, J., Kawa, K., Jalali, A., & Larsen, C. (2009). Differential effects of adenosine antagonists in two models of parkinsonian tremor. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *94*(1), 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2009.07.001>
- USDA, & HHS. (2015). *2015-2020 Dietary Guidelines for Americans*. Retrieved from

- <http://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines/>.
- Valencia, E., & Ramírez, M. L. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Elementos*, 73, 27–31. Retrieved from <http://www.elementos.buap.mx/num73/pdf/27.pdf>
- Vanga, S. K., Singh, A., & Raghavan, V. (2017). Review of conventional and novel food processing methods on food allergens. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(10), 2077–2094. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1045965>
- Vega-Castro, O. (2016). *Extracción y caracterización estructural de un PHA, obtenido de residuos de cáscaras de yuca y piña mediante procesos de fermentación; y su aplicación en la fabricación de fibras por electrospinning*. Universidad de Antioquia.
- Vega-Castro, O., Contreras-Calderon, J., León, E., Segura, A., Arias, M., Pérez, L., & Sobral, P. J. A. (2016). Characterization of a polyhydroxyalkanoate obtained from pineapple peel waste using *Ralstonia eutropha*. *Journal of Biotechnology*, 231, 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.06.018>
- Vignoli, J. A., Bassoli, D. G., & Benassi, M. T. (2011). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 124(3), 863–868. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.008>
- Vignoli, J. A., Viegas, M. C., Bassoli, D. G., & Benassi, M. de T. (2014). Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. *Food Research International*, 61, 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.006>
- Virtanen, T., Pihlanto, A., Akkanen, S., & Korhonen, H. (2007). Development of antioxidant activity in milk whey during fermentation with lactic acid bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 102(1), 106–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.03072.x>
- Wang, B., Adhikari, B., & Barrow, C. J. (2019). Highly stable spray dried tuna oil powders encapsulated in double shells of whey protein isolate-agar gum and gellan gum complex coacervates. *Powder Technology*, 358, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.084>
- Wang, H., Guo, X., Hu, X., Li, T., Fu, X., & Liu, R. H. (2017). Comparison of

- phytochemical profiles, antioxidant and cellular antioxidant activities of different varieties of blueberry (*Vaccinium* spp.). *Food Chemistry*, 217, 773–781.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.002>
- Wang, W., & Gonzalez, E. (2005). A new frontier in soy bioactive peptides that may prevent age-related chronic diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 4(4), 63–78. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2005.tb00075.x>
- Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., & Oszmiański, J. (2014). Effect of Convective and Vacuum-Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of Sour Cherries. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), 829–841. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1130-8>
- Woo, M. W., & Bhandari, B. (2013). Spray drying for food powder production. In Bhesh Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, & P. Schuck (Eds.), *Handbook of Food Powders* (pp. 29–56). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.1.29>
- Xu, H., Wang, W., Liu, X., Yuan, F., & Gao, Y. (2015). Antioxidative phenolics obtained from spent coffee grounds (*Coffea arabica* L.) by subcritical water extraction. *Industrial Crops and Products*, 76, 946–954.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.054>
- Yuksel, Z., Avci, E., & Erdem, Y. K. (2010). Characterization of binding interactions between green tea flavanoids and milk proteins. *Food Chemistry*, 121(2), 450–456.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.064>
- Zapata, S., Piedrahita, A. M., & Rojano, B. (2014). Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. *Perspectivas En Nutrición Humana*, 16(1), 25–36. Retrieved from  
<http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/nutricion/article/view/20310>
- Zhang, H., & Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science*, 8, 33–42.  
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.02.002>
- Zhang, L., Mou, D., & Du, Y. (2007). Procyanidins: Extraction and micro-encapsulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2192–2197.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa>
- Zhang, Z., Arrighi, V., Campbell, L., Lonchamp, J., & Euston, S. R. (2016). Properties of



partially denatured whey protein products 2: Solution flow properties. *Food Hydrocolloids*, 56, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.012>

Zogzas, N. ., & Maroulis, Z. B. (2007). Moisture diffusivity data compilation in foodstuff. *Drying Technology*, (May 2013), 37–41. <https://doi.org/10.1080/07373930701438592>

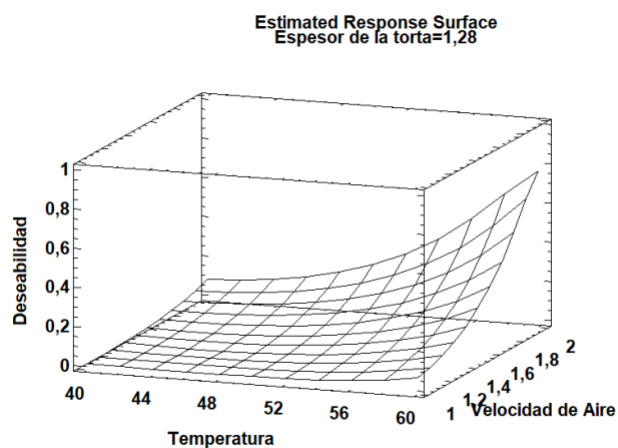
Zotarelli, M. F., da Silva, V. M., Durigon, A., Hubinger, M. D., & Laurindo, J. B. (2017). Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technology*, 305, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027>

Anexo 1. Tabla ANOVA diseño de experimentos secado convectivo

Variable	%Humedad	aw	Cafeína	Cap Retención de aceite	Cap Retención de agua	ABTS	tamaño promedio de particula	Deff
A:Temperatura	0,050	0,009	0,720	0,382	0,999	0,457	0,646	0.372
B:Velocidad de Aire	0,017	0,006	0,384	0,347	0,736	0,806	0,987	0.888
C:Espesor de la torta	0,084	0,030	0,294	0,772	0,737	0,578	0,149	0.011
AA	0,370	0,025	0,528	0,434	0,373	0,229	0,933	0.757
AB	0,924	0,032	0,926	0,566	1,000	0,055	0,797	0.736
AC	0,265	0,039	0,087	0,882	0,373	0,129	0,378	0.744
BB	0,567	0,166	0,033	0,530	0,637	0,361	0,852	0.892
BC	0,251	0,146	0,133	0,279	0,637	0,357	0,827	0.226
CC	0,126	0,121	0,571	0,513	0,215	0,623	0,699	0.528
Falta de ajuste	0,376	0,078	0,255	0,302	0,733	0,085	0,578	1.000
R <sub>2</sub>	86,99	87,38	74,07	42,29	55,55	47,92	50,40	100.0

Valores P (<0,05) indican diferencia significativa

Anexo 2. Gráficos de Metodología Superficie de Respuesta y Soluciones encontradas para la función Deseabilidad en cada punto del diseño de experimentos de secado



Row	Cap Antioxidante	% hUMEDAD	aw	Predicted Desirability	Observed Desirability
1	107,999	12,14	0,7266	0,230688	0,137353
2	22,558	26,19	0,9777	0,00295322	0,0
3	128,62	10,28	0,7185	0,0843989	0,172372
4	319,078	24,63	0,9863	0,0119118	0,0
5	68,235	22,99	0,9714	0,0	0,0014567
6	80,216	18,35	0,9406	0,0268446	0,01183
7	108,494	4,38	0,1818	0,69861	0,66177
8	106,028	12,9	0,8156	0,0268446	0,0847362
9	158,47	19,74	0,969	0,0218877	0,00490334
10	154,526	20,8	0,9614	0,0268446	0,00583998
11	122,314	7,75	0,4673	0,225298	0,379351
12	138,593	21,69	0,9631	0,0	0,00435208
13	43,091	19,42	0,9451	0,039683	0,00652785
14	118,697	24,78	0,9821	0,0	0,000231865
15	60,895	17,88	0,8897	0,0268446	0,023134
16	194,655	21,3	0,9385	0,0195873	0,0111121

**Optimizar Deseabilidad**

Valor óptimo = 0,774271

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	40,0	60,0	60,0
Velocidad de Aire	1,0	2,0	2,0
Espesor de la torta	1,0	2,0	1,28495

Respuesta	Óptimo
Cap Antioxidante	160,195
% hUMEDAD	2,48304
aw	0,181801

Anexo 3. Tablas ANOVA y Pruebas de Múltiples Rangos para Densidad, cafeína, Aw, %Humedad, formación de espuma, estabilidad de espuma, Índice de pardeamiento, CPT, ACGs, ABTS, HMF, Furfural y Lisina disponible; de las muestras obtenidas por secado por atomización

Densidad.

**ANOVA Table for Densidad by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	3722,1	2	1861,05	0,65	0,5556
Within groups	17201,0	6	2866,84		
Total (Corr.)	20923,1	8			

**Multiple Range Tests for Densidad by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
10	3	480,7	X
16	3	482,333	X
4	3	524,633	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		43,9333	106,973
4 - 16		42,3	106,973
10 - 16		-1,63333	106,973

\* denotes a statistically significant difference.

Cafeína

**ANOVA Table for Cafeína by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,00129489	2	0,000647444	0,94	0,4420
Within groups	0,00414	6	0,00069		
Total (Corr.)	0,00543489	8			

**Multiple Range Tests for Cafeína by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	0,0643333	X
10	3	0,0873333	X
16	3	0,0916667	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-0,023	0,0524805
4 - 16		-0,0273333	0,0524805
10 - 16		-0,00433333	0,0524805

\* denotes a statistically significant difference.

Aw

**ANOVA Table for Aw by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,00310783	2	0,00155391	0,87	0,4644
Within groups	0,0106691	6	0,00177818		
Total (Corr.)	0,0137769	8			

**Multiple Range Tests for Aw by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
10	3	0,226933	X
16	3	0,2593	X
4	3	0,270833	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		0,0439	0,0842483
4 - 16		0,0115333	0,0842483
10 - 16		-0,0323667	0,0842483

\* denotes a statistically significant difference.

## % Humedad

**ANOVA Table for % Humedad by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,00261973	2	0,00130986	0,01	0,9926
Within groups	1,05455	6	0,175759		
Total (Corr.)	1,05717	8			

**Multiple Range Tests for % Humedad by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
16	3	3,2352	X
4	3	3,24333	X
10	3	3,27477	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-0,0314333	0,837592
4 - 16		0,00813333	0,837592
10 - 16		0,0395667	0,837592

\* denotes a statistically significant difference.

## Formación de Espuma

**ANOVA Table for Formación espuma by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1,40519	2	0,702595	0,79	0,4972
Within groups	5,35839	6	0,893065		
Total (Corr.)	6,76358	8			

---

**Multiple Range Tests for Formación espuma by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	4,01667	X
16	3	4,4	X
10	3	4,978	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-0,961333	1,88806
4 - 16		-0,383333	1,88806
10 - 16		0,578	1,88806

\* denotes a statistically significant difference.

**Estabilidad de Espuma****ANOVA Table for Estabilidad espuma by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	2,59567	2	1,29783	0,64	0,5609
Within groups	12,212	6	2,03534		
Total (Corr.)	14,8077	8			

---

**Multiple Range Tests for Estabilidad espuma by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	2,91433	X
16	3	3,19933	X
10	3	4,169	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-1,25467	2,85031
4 - 16		-0,285	2,85031
10 - 16		0,969667	2,85031

\* denotes a statistically significant difference.

**Índice de pardeamiento****ANOVA Table for Abs 420 by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,0495742	2	0,0247871	0,53	0,6112
Within groups	0,277988	6	0,0463313		
Total (Corr.)	0,327562	8			

---

**Multiple Range Tests for Abs 420 by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	0,525333	X
10	3	0,648667	X
16	3	0,702667	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-0,123333	0,430042
4 - 16		-0,177333	0,430042
10 - 16		-0,054	0,430042

\* denotes a statistically significant difference.

## Contenido de polifenoles totales

---

**ANOVA Table for Polifenoles Totales by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	96,1464	2	48,0732	2,59	0,1549
Within groups	111,533	6	18,5889		
Total (Corr.)	207,68	8			

---

**Multiple Range Tests for Polifenoles Totales by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	28,42	X
10	3	35,26	X
16	3	35,4433	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-6,84	8,61391
4 - 16		-7,02333	8,61391
10 - 16		-0,183333	8,61391

\* denotes a statistically significant difference.

## Ácidos Clorogénicos

---

**ANOVA Table for ACGs by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	110,443	2	55,2217	2,60	0,1537
Within groups	127,434	6	21,239		
Total (Corr.)	237,877	8			

---

**Multiple Range Tests for ACGs by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	3,36	X
10	3	8,40667	X
16	3	11,8933	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-5,04667	9,20747
4 - 16		-8,53333	9,20747
10 - 16		-3,48667	9,20747

\* denotes a statistically significant difference.

**Capacidad Antioxidante**

---

**ANOVA Table for Cap AOX ABTS by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	3,15447	2	1,57723	0,05	0,9540
Within groups	199,528	6	33,2546		
Total (Corr.)	202,682	8			

---

**Multiple Range Tests for Cap AOX ABTS by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	16,54	X
16	3	16,8033	X
10	3	17,9067	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-1,36667	11,5213
4 - 16		-0,263333	11,5213
10 - 16		1,10333	11,5213

\* denotes a statistically significant difference.

**HMF**

---

**ANOVA Table for HMF by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,00287211	2	0,00143605	1,76	0,2500
Within groups	0,00488877	6	0,000814794		
Total (Corr.)	0,00776088	8			



---

**Multiple Range Tests for HMF by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	0,0317	X
10	3	0,0328	X
16	3	0,0701333	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-0,0011	0,0570293
4 - 16		-0,0384333	0,0570293
10 - 16		-0,0373333	0,0570293

\* denotes a statistically significant difference.

**Furfural**

---

**ANOVA Table for Furfural by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1,28593	2	0,642963	1,17	0,3717
Within groups	3,29051	6	0,548418		
Total (Corr.)	4,57644	8			

---

**Multiple Range Tests for Furfural by Concentración de la Solución**

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	3	0,564367	X
10	3	0,935933	X
16	3	1,4846	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
4 - 10		-0,371567	1,47955
4 - 16		-0,920233	1,47955
10 - 16		-0,548667	1,47955

\* denotes a statistically significant difference.

**Lisina Disponible**

---

**ANOVA Table for lisina by Concentración de la Solución**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	3,12548	2	1,56274	1,68	0,2632
Within groups	5,5765	6	0,929416		
Total (Corr.)	8,70197	8			

---

**Multiple Range Tests for lisina by Concentración de la Solución**

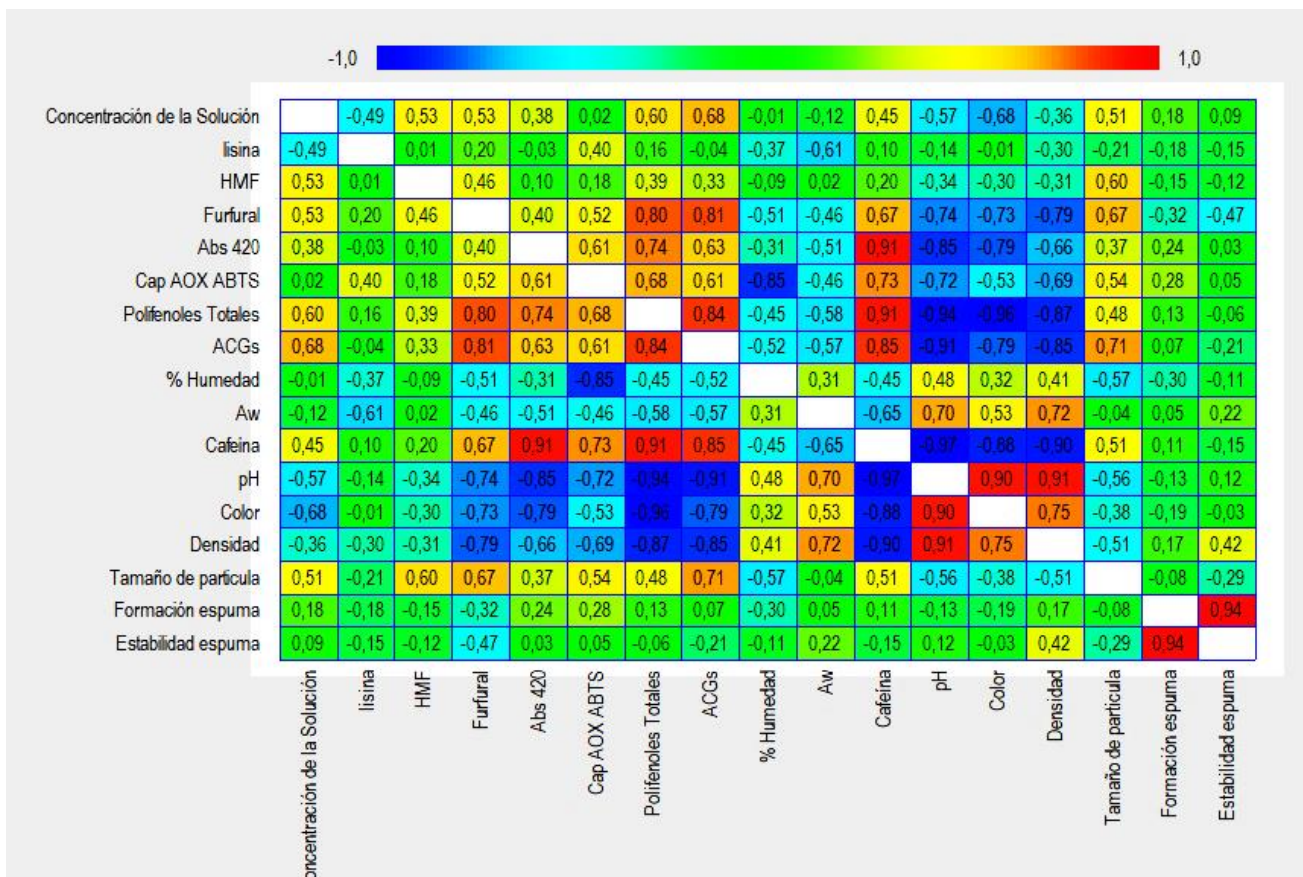
Method: 95,0 percent LSD

<i>Level</i>	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
16	3	5,4287	X
4	3	6,59707	X
10	3	6,747	X

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
4 - 10		-0,149933	1,9261
4 - 16		1,16837	1,9261
10 - 16		1,3183	1,9261

\* denotes a statistically significant difference.

Anexo 4. Tabla y cuadro de correlaciones de Pearson para el diseño de experimentos de secado por atomización



Correlations

	Concentración de la Solución	lisina	HMF	Furfural	Abs 420
Concentración de la Solución		-0,4851	0,5343	0,5268	0,3795
		(9)	(9)	(9)	(9)
		0,1856	0,1384	0,1450	0,3138
lisina	-0,4851		0,0106	0,1972	-0,0295
	(9)		(9)	(9)	(9)
	0,1856		0,9783	0,6111	0,9400
HMF	0,5343	0,0106		0,4599	0,1028
	(9)	(9)		(9)	(9)
	0,1384	0,9783		0,2129	0,7925
Furfural	0,5268	0,1972	0,4599		0,4049
	(9)	(9)	(9)		(9)
	0,1450	0,6111	0,2129		0,2796
Abs 420	0,3795	-0,0295	0,1028	0,4049	
	(9)	(9)	(9)	(9)	
	0,3138	0,9400	0,7925	0,2796	
Cap AOX ABTS	0,0227	0,4010	0,1766	0,5221	0,6087
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,9539	0,2847	0,6494	0,1493	0,0819
Polifenoles Totales	0,5969	0,1550	0,3942	0,7976	0,7428
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0897	0,6905	0,2938	0,0100	0,0218
ACGs	0,6776	-0,0446	0,3281	0,8076	0,6335

	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0449	0,9092	0,3888	0,0085	0,0670
% Humedad	-0,0097	-0,3722	-0,0851	-0,5055	-0,3098
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,9803	0,3239	0,8277	0,1651	0,4171
Aw	-0,1203	-0,6114	0,0151	-0,4626	-0,5142
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,7578	0,0802	0,9693	0,2099	0,1567
Cafeína	0,4541	0,0956	0,1960	0,6740	0,9142
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,2195	0,8067	0,6134	0,0465	0,0006
pH	-0,5663	-0,1425	-0,3446	-0,7371	-0,8470
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,1119	0,7146	0,3638	0,0235	0,0040
Color	-0,6832	-0,0140	-0,2996	-0,7255	-0,7905
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0425	0,9716	0,4335	0,0269	0,0112
Densidad	-0,3582	-0,2982	-0,3102	-0,7884	-0,6633
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,3439	0,4357	0,4166	0,0116	0,0515
Tamaño de partícula	0,5068	-0,2076	0,6042	0,6679	0,3655
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,1638	0,5919	0,0848	0,0493	0,3334
Formación espuma	0,1805	-0,1822	-0,1485	-0,3204	0,2401
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,6421	0,6390	0,7029	0,4007	0,5337
Estabilidad espuma	0,0907	-0,1540	-0,1181	-0,4739	0,0291
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,8165	0,6925	0,7621	0,1975	0,9407

	Cap AOX ABTS	Polifenoles Totales	ACGs	% Humedad	Aw	Cafeína
Concentración de la Solución	0,0227	0,5969	0,6776	-0,0097	-0,1203	0,4541
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,9539	0,0897	0,0449	0,9803	0,7578	0,2195
lisina	0,4010	0,1550	-0,0446	-0,3722	-0,6114	0,0956
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,2847	0,6905	0,9092	0,3239	0,0802	0,8067
HMF	0,1766	0,3942	0,3281	-0,0851	0,0151	0,1960
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,6494	0,2938	0,3888	0,8277	0,9693	0,6134
Furfural	0,5221	0,7976	0,8076	-0,5055	-0,4626	0,6740
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,1493	0,0100	0,0085	0,1651	0,2099	0,0465
Abs 420	0,6087	0,7428	0,6335	-0,3098	-0,5142	0,9142
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0819	0,0218	0,0670	0,4171	0,1567	0,0006
Cap AOX ABTS		0,6834	0,6137	-0,8523	-0,4568	0,7318
		(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
		0,0424	0,0788	0,0035	0,2164	0,0250
Polifenoles Totales	0,6834		0,8421	-0,4478	-0,5834	0,9054
	(9)		(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0424		0,0044	0,2267	0,0991	0,0008
ACGs	0,6137	0,8421		-0,5222	-0,5715	0,8506
	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)
	0,0788	0,0044		0,1492	0,1080	0,0037
% Humedad	-0,8523	-0,4478	-0,5222		0,3098	-0,4505
	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)
	0,0035	0,2267	0,1492		0,4172	0,2237

Aw	-0,4568	-0,5834	-0,5715	0,3098		-0,6531
	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)
	0,2164	0,0991	0,1080	0,4172		0,0565
Cafeína	0,7318	0,9054	0,8506	-0,4505	-0,6531	
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	
	0,0250	0,0008	0,0037	0,2237		0,0565
pH	-0,7176	-0,9433	-0,9051	0,4782	0,6982	-0,9726
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0295	0,0001	0,0008	0,1928	0,0365	0,0000
Color	-0,5276	-0,9579	-0,7853	0,3242	0,5347	-0,8761
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,1443	0,0000	0,0121	0,3947	0,1380	0,0019
Densidad	-0,6939	-0,8741	-0,8456	0,4079	0,7218	-0,8953
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0381	0,0021	0,0041	0,2758	0,0281	0,0011
Tamaño de partícula	0,5398	0,4829	0,7140	-0,5688	-0,0373	0,5070
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,1336	0,1879	0,0307	0,1100	0,9242	0,1636
Formación espuma	0,2835	0,1333	0,0735	-0,3031	0,0488	0,1102
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,4597	0,7323	0,8510	0,4279	0,9007	0,7777
Estabilidad espuma	0,0481	-0,0558	-0,2112	-0,1112	0,2195	-0,1531
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,9022	0,8866	0,5854	0,7757	0,5705	0,6941

	pH	Color	Densidad	Tamaño de partícula	Formación espuma
Concentración de la Solución	-0,5663	-0,6832	-0,3582	0,5068	0,1805
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,1119	0,0425	0,3439	0,1638	0,6421
lisina	-0,1425	-0,0140	-0,2982	-0,2076	-0,1822
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,7146	0,9716	0,4357	0,5919	0,6390
HMF	-0,3446	-0,2996	-0,3102	0,6042	-0,1485
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,3638	0,4335	0,4166	0,0848	0,7029
Furfural	-0,7371	-0,7255	-0,7884	0,6679	-0,3204
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0235	0,0269	0,0116	0,0493	0,4007
Abs 420	-0,8470	-0,7905	-0,6633	0,3655	0,2401
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0040	0,0112	0,0515	0,3334	0,5337
Cap AOX ABTS	-0,7176	-0,5276	-0,6939	0,5398	0,2835
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0295	0,1443	0,0381	0,1336	0,4597
Polifenoles Totales	-0,9433	-0,9579	-0,8741	0,4829	0,1333
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0001	0,0000	0,0021	0,1879	0,7323
ACGs	-0,9051	-0,7853	-0,8456	0,7140	0,0735
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0008	0,0121	0,0041	0,0307	0,8510
% Humedad	0,4782	0,3242	0,4079	-0,5688	-0,3031
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,1928	0,3947	0,2758	0,1100	0,4279
Aw	0,6982	0,5347	0,7218	-0,0373	0,0488
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,0365	0,1380	0,0281	0,9242	0,9007
Cafeína	-0,9726	-0,8761	-0,8953	0,5070	0,1102
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)

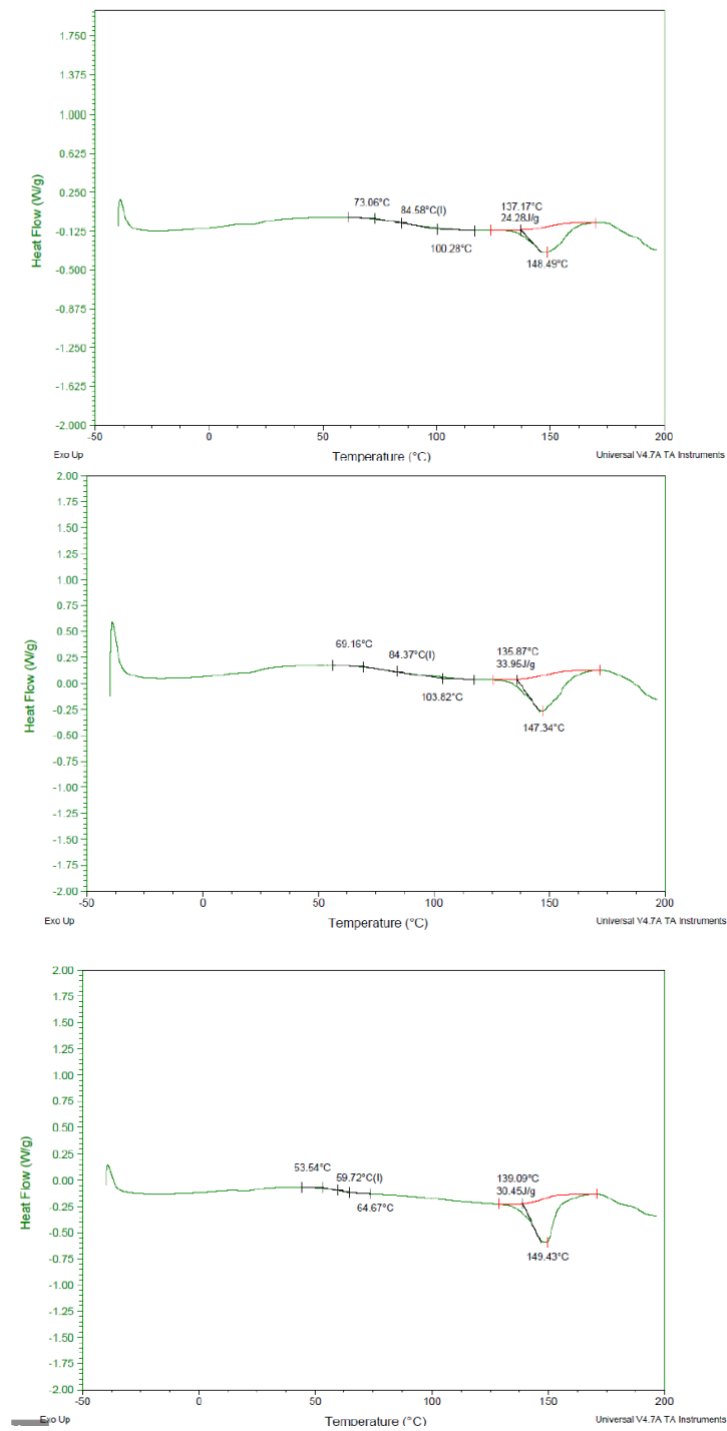
	0,0000	0,0019	0,0011	0,1636	0,7777
pH		0,9003	0,9075	-0,5575	-0,1339
		(9)	(9)	(9)	(9)
		0,0009	0,0007	0,1188	0,7313
Color	0,9003		0,7530	-0,3800	-0,1850
	(9)		(9)	(9)	(9)
	0,0009		0,0192	0,3131	0,6336
Densidad	0,9075	0,7530		-0,5077	0,1698
	(9)	(9)		(9)	(9)
	0,0007	0,0192		0,1630	0,6623
Tamaño de partícula	-0,5575	-0,3800	-0,5077		-0,0844
	(9)	(9)	(9)		(9)
	0,1188	0,3131	0,1630		0,8290
Formación espuma	-0,1339	-0,1850	0,1698	-0,0844	
	(9)	(9)	(9)	(9)	
	0,7313	0,6336	0,6623	0,8290	
Estabilidad espuma	0,1153	-0,0279	0,4171	-0,2874	0,9375
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0,7677	0,9432	0,2641	0,4533	0,0002

	Estabilidad espuma
Concentración de la Solución	0,0907
	(9)
	0,8165
lisina	-0,1540
	(9)
	0,6925
HMF	-0,1181
	(9)
	0,7621
Furfural	-0,4739
	(9)
	0,1975
Abs 420	0,0291
	(9)
	0,9407
Cap AOX ABTS	0,0481
	(9)
	0,9022
Polifenoles Totales	-0,0558
	(9)
	0,8866
ACGs	-0,2112
	(9)
	0,5854
% Humedad	-0,1112
	(9)
	0,7757
Aw	0,2195
	(9)
	0,5705
Cafeína	-0,1531
	(9)
	0,6941
pH	0,1153
	(9)
	0,7677
Color	-0,0279

	(9)
	0,9432
Densidad	0,4171
	(9)
	0,2641
Tamaño de particula	-0,2874
	(9)
	0,4533
Formación espuma	0,9375
	(9)
	0,0002
Estabilidad espuma	

Correlation  
(Sample Size)  
P-Value

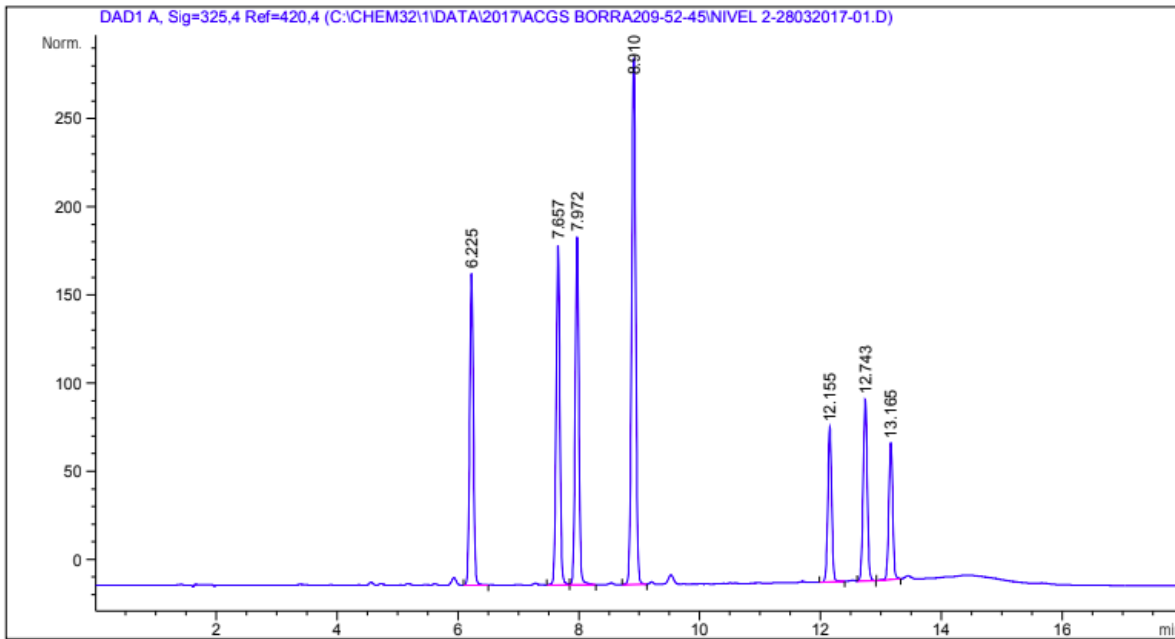
Anexo 5. DSC de diferentes muestras de polvo obtenido por secado por atomización





Anexo 6. Cromatograma de ácidos clorogénicos y Cafeína

ACGs



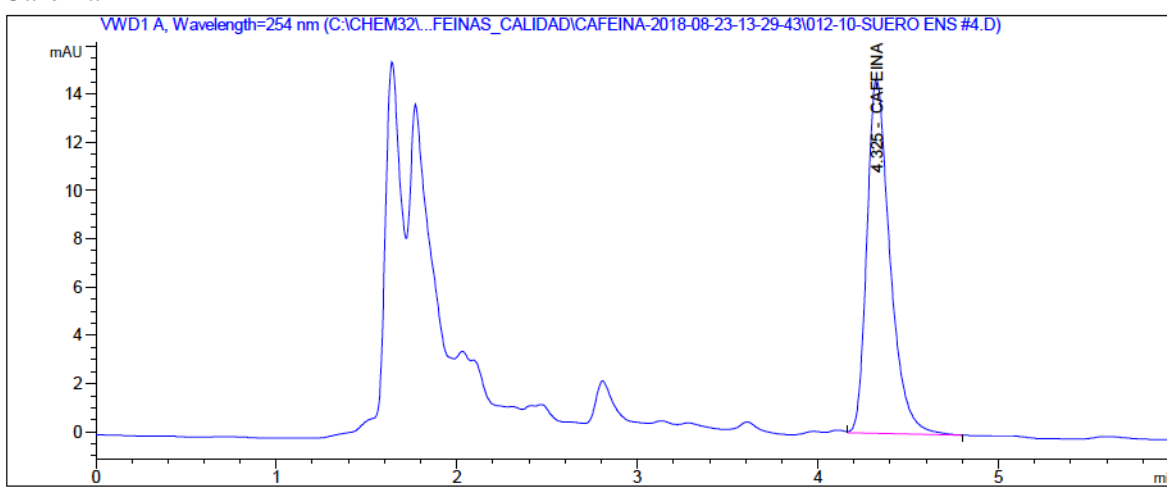
External Standard Report

Sorted By : Signal  
 Calib. Data Modified : 10/9/2017 2:19:07 PM  
 Multiplier : 1.0000  
 Dilution : 1.0000  
 Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

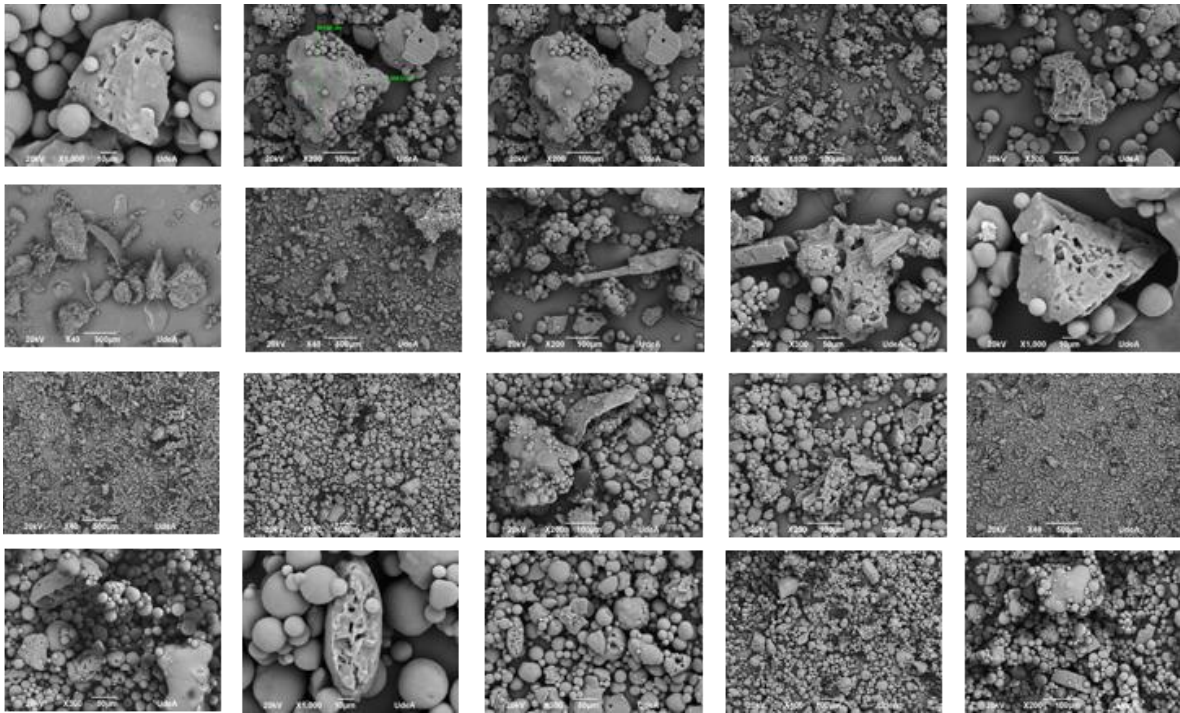
Signal 2: DAD1 A, Sig=325,4 Ref=off not found

RetTime [min]	Type	Area [mAU*s]	Amt/Area	Amount [mg/L]	Grp	Name
6.215	-	-	-	-	-	5CQA
7.660	-	-	-	-	-	3CQA
7.770	-	-	-	-	-	4CQA
8.750	-	-	-	-	-	CA
12.150	-	-	-	-	-	3,4diCQA
12.750	-	-	-	-	-	3,5diCQA
13.170	-	-	-	-	-	4,5diCQA

# Cafeína

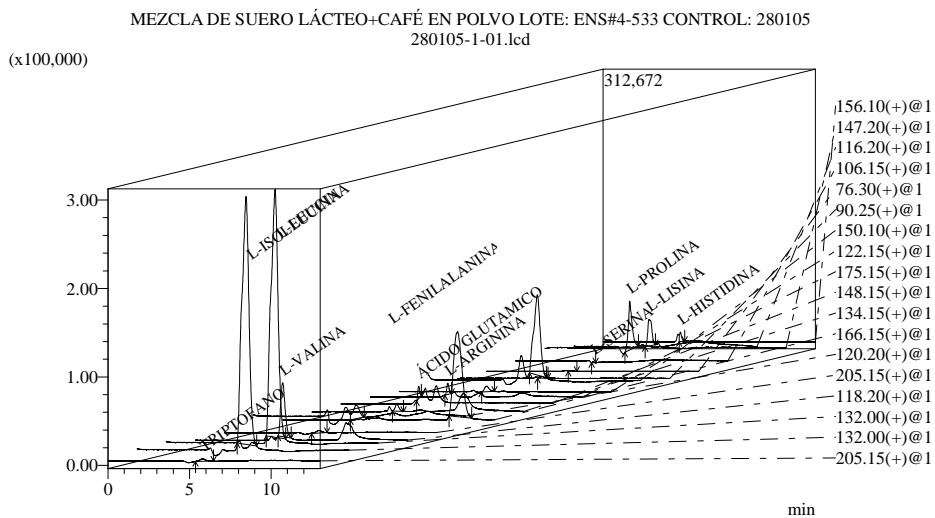


*Anexo 7. Fotografías de las diferentes muestras en polvo de la relación suero lácteo concentrado / borra de café deshidratada*



## Anexo 8. Perfil de aminoácidos.

MEZCLA DE SUERO LÁCTEO+CAFÉ EN POLVO LOTE: ENS#4-533 CONTROL: 280105  
 Date Acquired : 2018-09-25 11:23:11 PM  
 Sample Name : Unknown Sample  
 Sample ID : UNK-0001  
 Data File : 280105-1-01.lcd  
 Method File : Aminoacidos - LCMS - SIM.lcm  
 Month-Day Acquired : 2018-09-25



### *Anexo 9. Ficha técnica Whey-SCG.*

Whey-SCG, es el producto obtenido a partir del desarrollo de una tesis doctoral en el grupo de investigación BIOALI, de la facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias, bajo la línea de investigación de aprovechamiento de residuos y subproductos agroindustriales. Whey-SCG, es un producto en polvo, de apariencia homogénea y color café claro. El producto fue obtenido a partir del aprovechamiento de subproductos de la industria alimentaria, por medio de técnicas de secado spray, bajo condiciones de proceso controladas. De acuerdo con los resultados obtenidos, el producto en polvo posee características nutricionales y tecnológicas, que lo hacen susceptible de aprovechamiento en la industria alimentaria, como ingrediente en diferentes tipos de productos.

Entre las posibles aplicaciones que puede tener el producto desarrollado está el desarrollo o uso en la formulación de alimentos lácteos como yogur y helados, en la formulación suplementos alimentarios, podría tener potencial uso en el sector de galletería y panadería. La importancia del presente desarrollo para la industria alimentaria radica en el aprovechamiento de subproductos, lo cual apunta al mejoramiento de sostenibilidad de una empresa del sector alimentario, en este caso empresas queseras y aquellas dedicadas a la industrialización del café. El nivel de madurez tecnológica del producto, de acuerdo con la clasificación de Colciencias, el desarrollo del material se podría clasificar como TRL4, ya que el trabajo investigativo se ha realizado en un entorno de laboratorio bajo condiciones controladas.

#### Características fisicoquímicas

Parámetro	WC-SCG.	Unidades
% Humedad	3,5497	
Aw	0,2457	
pH	6,51	
Color	62,38	L*
Densidad	539,5	g/ml
MV	71,87	micras

#### Características tecnológicas de WC-SCG

Parámetro	WC-SCG.	Unidades
Formación de Espuma	6,1667	militros
Estabilidad de espuma	2,3433	minutos

Capacidad de retención de aceite (CRO)	2,2264	mL aceite/ g muestra
Temperatura de transición Vítrea T <sub>g</sub>	74,14	°C
Temperatura de fusión T <sub>f</sub>	151,9	°C
Entalpía	66,41	

Características proximales.

Análisis	WC-SCG. (g/100g)	% VDR	Commercial powder with nutritional value	Commercial Protein supplements (KIDS)	Food supplements	Meritene Batido
Cenizas	4,91	-	-	-	-	-
Grasa	0,73	1%	-	-	-	1,3
Proteína	10,69	21%	8,8	11		31
Carbohidratos	78,65	26%	81,3	54	71,2	54
Calorías KJ/mol	354,93	18%	371	440	378	355
fibra cruda	1,23	-	-	-	-	-
fibra dietaria	1,02	4%	3,6	0	0	1,3

Características Nutricionales (Aminoácidos)

Aminoácido	WC-SCG.	FAO OMS UNU					Millward Adultos
		FNB/ Adultos	Reeds 1 a 4 años	Reeds 10 a 14 años	Reeds 14 a 18 años		
(mg AA/ g proteína)							
Histidina	0,69	-	18	-	-	-	-
Isoleucina	57,35	29	25	36	32	30	30
Lisina	6,45	45	55	63	58	53	31
Leucina	37,99	59	47	52	47	42	33
Met + Cys	<5,0	20	25	32	28	26	27
Phen + Tyr	12,72	59	47	52	47	42	33
Treonina	<5,0	23	27	43	36	34	26
Triptófano	4,33	8	7	11	9	8	6
Valina	15,29	38	32	40	36	32	23

Características de la capacidad antioxidante de WC-SCG

Parámetro	WC-SCG.	Unidades
Melanoidinas	0,555	Abs 420
ABTS+	1812,3	μMol ETrolox / g SS
PT	159,7	mg EAG/g SS
ACGs	151,2	mg ACGs/g SS
Cafeína	0,0313	mg Cafeína/g SS
ORAC	2791,1	μMol ETrolox / g SS

Características de inocuidad del producto.

Parámetro	WC-SCG.	Unidades
HMF	0,0007	g/100g
Furfural	0,0006	Proteína
Recuento de Aerobios Mesófilos	150	UFC/g

NMP de Coliformes Totales ISO 4831:2006 Max. 11 (Resolución	<3	NMP/g
NMP de Coliformes Fecales ISO 4831:2006 <3 (Resolución 2310/86) SI	<3	NMP/g
Recuento de Mohos y Levaduras 10 UFC/g AOAC 997.02 Max. 1000 (Resolución	10	UFC/g
Recuento de Esporas Clostridium Sulfito Reductor	<10	UFC/g

\*El recuento microbiológico cumple con la normatividad colombiana.

Anexo 10. Tabla ANOVA diseño de experimentos aplicación del ingrediente en una matriz láctea tipo yogur.

Sample (%Whey-SCG)	Suero (%)	Trabajo (N.mm)	Adhesividad (N.mm)	Firmeza (N)	Retención de agua %	Storage Modulus (Pa)	Loss Modulus (Pa)	Loss Factor	Complex Modulus	Complex viscosity	1. [1/s]	13 [1/s]	100 [1/s]	K. (Pa.s <sup>n</sup> )	Protein (g/100g)	Lysine (mg/100g)	CPT (mg of GAEs/g)	ABTS (μMol Trolox/100g)
ANOVA	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050	P<0.050
0vs100	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
0vs75	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Do not test	Yes
0vs25	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Do not test	Do not test	Yes	Yes	Do not test	Yes	Yes	Yes	Do not test	No
25vs100	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Do not test	Do not test	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	Do not test	Yes
25vs75	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Do not test	Do not test	Do not test	Yes	Yes	Do not test	Yes	Yes	No	Do not test	No
75vs100	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Do not test	Do not test	Yes	Yes	Yes	Do not test	No	Yes	No	Do not test	No

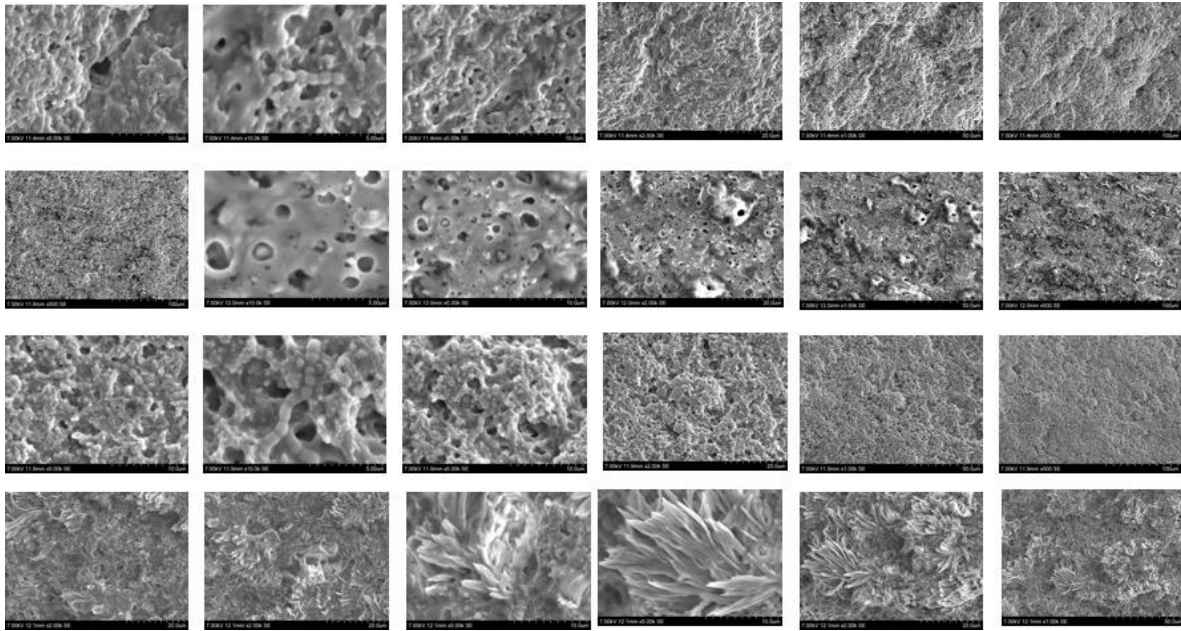


Anexo 11. Correlaciones de Pearson, muestras de yogur fortificado con el ingrediente alimentario.

	WHEY (%)	Hardness (N.sec)	Adhesiveness (N.sec)	Firmness (N)	WHC %	Storage Modulus (Pa)	Loss Modulus (Pa)	Loss Factor	1. [1/s]	13. [1/s]	100. [1/s]	Protein (g/100g)	TPC (mg GAE/g)	Available Lysine	ABTS
Sample (%Whey-SCG)	0.94 < 0.05 12.00	-0.96 < 0.05 12.00	0.96 < 0.05 12.00	-0.97 < 0.05 12.00	-0.58 0.05 12.00	-0.98 < 0.05 12.00	-0.98 < 0.05 12.00	0.78 < 0.05 12.00	-0.98 < 0.05 12.00	-0.97 < 0.05 12.00	-0.99 < 0.05 12.00	-0.95 < 0.05 12.00	0.73 < 0.05 12.00	0.02 0.96 12.00	0.90 < 0.05 12.00
WHEY (%)		-0.95 < 0.05 12.00	0.96 < 0.05 12.00	-0.95 < 0.05 12.00	-0.71 < 0.05 12.00	-0.95 < 0.05 12.00	-0.95 < 0.05 12.00	0.69 < 0.05 12.00	-0.93 < 0.05 12.00	-0.95 < 0.05 12.00	-0.95 < 0.05 12.00	0.96 < 0.05 12.00	0.62 < 0.05 12.00	0.11 0.74 12.00	0.80 < 0.05 12.00
Hardness (N.sec)			-0.97 < 0.05 12.00	1.00 < 0.05 12.00	0.75 < 0.05 12.00	0.97 < 0.05 12.00	0.97 < 0.05 12.00	-0.61 < 0.05 12.00	0.95 < 0.05 12.00	0.97 < 0.05 12.00	0.98 < 0.05 12.00	0.98 < 0.05 12.00	-0.62 < 0.05 12.00	0.00 1.00 12.00	-0.85 < 0.05 12.00
Adhesiveness (N.sec)				-0.97 < 0.05 12.00	-0.70 < 0.05 12.00	-0.97 < 0.05 12.00	-0.97 < 0.05 12.00	0.66 < 0.05 12.00	-0.94 < 0.05 12.00	-0.97 < 0.05 12.00	-0.97 < 0.05 12.00	-0.96 < 0.05 12.00	0.64 < 0.05 12.00	0.00 0.99 12.00	0.86 < 0.05 12.00
Firmness (N)					0.74 < 0.05 12.00	0.97 < 0.05 12.00	0.98 < 0.05 12.00	-0.62 < 0.05 12.00	0.96 < 0.05 12.00	0.98 < 0.05 12.00	0.98 < 0.05 12.00	0.98 < 0.05 12.00	-0.63 < 0.05 12.00	-0.01 0.97 12.00	-0.86 < 0.05 12.00
WHC %						0.62 < 0.05 12.00	0.63 < 0.05 12.00	-0.09 0.60 0.78 12.00	0.60 < 0.05 12.00	0.67 < 0.05 12.00	0.64 < 0.05 12.00	0.68 < 0.05 12.00	0.01 0.966 12.00	-0.06 0.86 12.00	-0.47 0.13 12.00
Storage Modulus (Pa)							1.00 < 0.05 12.00	-0.76 < 0.05 12.00	0.98 < 0.05 12.00	0.99 < 0.05 12.00	0.99 < 0.05 12.00	0.99 < 0.05 12.00	-0.75 < 0.05 12.00	-0.08 0.81 12.00	-0.89 < 0.05 12.00
Loss Modulus (Pa)								-0.74 < 0.05 12.00	0.97 < 0.05 12.00	0.99 < 0.05 12.00	0.99 < 0.05 12.00	0.99 < 0.05 12.00	-0.75 < 0.05 12.00	-0.08 0.81 12.00	-0.88 < 0.05 12.00
Loss Factor									-0.76 < 0.05 12.00	-0.71 < 0.05 12.00	-0.75 < 0.05 12.00	-0.67 < 0.05 12.00	0.78 < 0.05 12.00	0.13 0.68 12.00	0.75 < 0.05 12.00
1. [1/s]										0.98 < 0.05 12.00	0.98 < 0.05 12.00	0.97 < 0.05 12.00	-0.73 < 0.05 12.00	-0.10 0.75 12.00	-0.77 < 0.05 12.00
13. [1/s]											0.99 < 0.05 12.00	0.99 < 0.05 12.00	-0.67 < 0.05 12.00	-0.13 0.68 12.00	-0.57 < 0.05 12.00
100. [1/s]												0.97 < 0.05 12.00	-0.71 < 0.05 12.00	-0.07 0.84 12.00	-0.89 < 0.05 12.00
Protein (g/100g)													-0.71 < 0.05 12.00	-0.13 0.69 12.00	-0.85 < 0.05 12.00
TPC														0.06 0.86 12.00	0.72 < 0.05 12.00
Available Lysine															-0.09 0.78 12.00
ABTS															

Correlation Coefficient > 0.96  
P Value < 0.05 significant relationship  
Number of Samples

*Anexo 12. Fotografías de las diferentes muestras de yogur fortificado con el ingrediente desarrollado.*



Cada fila corresponde a un porcentaje diferente de fortificación, siendo la primera fila 0% y la última 100%.

Anexo 13. Productos académicos del trabajo de investigación



El Instituto Chileno de Ingeniería para Alimentos A.G. (IChIA, A.G.) en conjunto con el Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Técnica Federico Santa María

Otorga el presente certificado al trabajo:

**EVALUACION DE DIFERENTES CONDICIONES DE SECADO, SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES TECNOLOGICAS Y FUNCIONALES DEL BORRA DE CAFÉ.**

Presentado en formato

**Póster**

De los autores

**Osorio, J.; Largo, E.; Escobar, V.; Contreras, J.; Vega, O.**

*En el “XI Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos (CIBIA 2017)”, que tuvo lugar en Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso Chile del 22 al 25 de Octubre*

  
Sergio Almonacid Merino  
Presidente  
CIBIA2017

  
Cristóbal Ramírez Bustos  
Presidente Comité Científico  
CIBIA2017



Alimentos procesados para la salud  
y el bienestar del siglo XXI:  
Un pilar fundamental para el desarrollo  
del nuevo concepto *Ergonomics*



<https://socfoodeng.org>

Email: [societyoffoodengineering@gmail.com](mailto:societyoffoodengineering@gmail.com)

September 18, 2018

To whom it may concern:

SoFE and the scientific committee of CoFE 18, certify that Osorio, J and Vega-Castro, O, presented the work "Use of different drying technics in the production of raw powder materials from two by-products of the food industry, with high nutritional and functional value" in an oral presentation, between September 10 to 12, 2018 in the city of Minneapolis, Minnesota, United States.

Sincerely,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Sudhir Sastry", is written over a light blue horizontal line.

Sudhir Sastry  
President  
Society of Food Engineering



### CERTIFICATE

We hereby certificate that Oscar Vega Castro attended the XII Iberoamerican Congress of Food Engineering – CIBIA 2019 that was held from July 1 to 4 at Universidade do Algarve, *Campus of Gambelas, Faro, Portugal*, with a/an POSTER communication entitled:

*“Desarrollo de una materia prima emergente a partir de dos subproductos de la industria alimentaria, con alto valor nutricional y funcional.”* co-authored by Juan Camilo Osorio Arias and Jose Contreras Calderón.



## Certificate of Attendance

*Awarded to*

Juan Camilo Osorio Aris

2019 ADSA Annual Meeting  
Cincinnati, Ohio June 23-26, 2019


ADSA® President

El suscrito Director de Publicaciones de la  
Corporación Universitaria Americana sede Medellín

### CERTIFICA

Que, fueron revisados los soportes del libro titulado "*Estudios interdisciplinarios de investigación en Ingeniería*" (111 páginas), registrado con ISBN 978-958-5512-02-3, publicado en el mes de agosto del año 2018, a través del Sello Editorial Coruniamericana de la Corporación Universitaria Americana. Del texto hace parte el capítulo de libro resultado de investigación "*Reacción de maillard en productos lácteos*" (páginas 91-111) de autoría de José Contreras Calderón, Fáver Gómez Narváez, Oscar Vega Castro, Juan Osorio Árias y Camilo Agudelo Cuartas, el cual cumplió con los requisitos establecidos en la Guía de verificación Libros y Capítulos en Libros Resultado de Investigación<sup>1</sup>, por lo que se valida el texto como tal.

Dado en Medellín, a los 20 días del mes de febrero de 2019.



**JOVANY ARLEY SEPÚLVEDA AGUIRRE**  
Director de Publicaciones  
Corporación Universitaria Americana  
Sede Medellín



<sup>1</sup> Modelo de Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y de Reconocimiento de Investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación año 2017.

El suscrito Director de Publicaciones de la  
Corporación Universitaria Americana sede Medellín

### CERTIFICA

Que, fueron revisados los soportes del libro titulado *"Estudios interdisciplinarios de investigación en Ingeniería"* (111 páginas), registrado con ISBN 978-958-5512-02-3, publicado en el mes de agosto del año 2018, a través del Sello Editorial Coruniamericana de la Corporación Universitaria Americana. Del texto hace parte el capítulo de libro resultado de investigación *"Residuos agroindustriales: aplicaciones de la ingeniería para la generación de valores agregados"* (páginas 47-70) de autoría de Oscar Alfonso Vega Castro, Edwin Alberto Arcila, Juan Camilo Osorio Arias, Yudy Stella Duarte Correa y Faber Alexander Gómez Narváez, el cual cumplió con los requisitos establecidos en la Guía de verificación Libros y Capítulos en Libros Resultado de Investigación<sup>1</sup>, por lo que se valida el texto como tal.

Dado en Medellín, a los 20 días del mes de febrero de 2019.



**JOVANY ARLEY SEPÚLVEDA AGUIRRE**  
Director de Publicaciones  
Corporación Universitaria Americana  
Sede Medellín



<sup>1</sup> Modelo de Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y de Reconocimiento de Investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación año 2017.

## Evaluation of the antioxidant and physical properties of an exfoliating cream developed from coffee grounds


Stefany Delgado-Arias<sup>1</sup> | Stephany Zapata-Valencia<sup>1</sup> | Yuliana Cano-Agudelo<sup>1</sup> |  
Juan Osorio-Arias<sup>1</sup> | Oscar Vega-Castro<sup>1,2</sup> 

Waste and Biomass Valorization  
<https://doi.org/10.1007/s12649-019-00793-9>

ORIGINAL PAPER



## Sustainable Management and Valorization of Spent Coffee Grounds Through the Optimization of Thin Layer Hot Air-Drying Process

J. Osorio-Arias<sup>1</sup> · S. Delgado-Arias<sup>1</sup> · L. Cano<sup>1</sup> · S. Zapata<sup>1</sup> · M. Quintero<sup>2</sup> · H. Nuñez<sup>3</sup> · C. Ramírez<sup>3,4</sup> · R. Simpson<sup>3,4</sup> ·  
O. Vega-Castro<sup>1,5</sup> 

Received: 10 March 2019 / Accepted: 6 August 2019  
© Springer Nature B.V. 2019

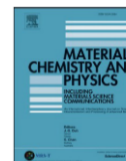
Materials Chemistry and Physics 240 (2020) 122171



Contents lists available at ScienceDirect

Materials Chemistry and Physics

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/matchemphys](http://www.elsevier.com/locate/matchemphys)



## New powder material obtained from spent coffee ground and whey protein; Thermal and morphological analysis



J. Osorio-Arias<sup>a</sup>, S. Delgado-Arias<sup>a</sup>, Y. Duarte-Correa<sup>a</sup>, E. Largo-Ávila<sup>b</sup>, D. Montaña<sup>c</sup>,  
Ricardo Simpson<sup>d</sup>, O. Vega-Castro<sup>a,c,\*</sup>

<sup>a</sup> BIOALI Research Group, Food Department, Faculty of Pharmaceutical and Food Sciences, Universidad de Antioquia, Street 67 No. 53 - 108, Medellín, Colombia

<sup>b</sup> Profesor Universidad Del Valle, Career 14 No 4 - 48, Caicedonia, Colombia

<sup>c</sup> Profesor Corporación Universitaria Americana, Career. 42 No. 52 - 06 (Av. La Playa), Medellín, Colombia

<sup>d</sup> Department of Chemistry and Environmental Engineering, Universidad Técnica Federico Santa María, P.O. Box 110-V, Valparaíso, Chile