



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ITAPÚA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**Maestría en Biotecnología en alimentos**

**Tema de tesis**

Encapsulación de antioxidantes del concentrado de la  
Yerba Mate.

**Autor:** José Osvaldo Herмосilla Vera

**Tutor:** Dr. Miguel E. Schmalko



Año 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por la financiación de la Maestría en Biotecnología en Alimentos.

A la Universidad Nacional de Itapúa- Facultad de Ciencias y Tecnología por la oportunidad de llevar a cabo esta investigación y al plantel docente.

A la Universidad Nacional de Misiones (U.Na.M) por el uso del Laboratorio de yerba mate, equipos e instalaciones

A mi director de tesis Doctor Miguel Eduardo Schmalko por los conocimientos brindados, su dedicación, por su constante apoyo, sin los cuales no hubiese sido posible realizar esta investigación.

A mis familiares y amigos por su constante apoyo, tolerancia y comprensión.

A mi compañera Alicia Mieres por su constante apoyo, motivación y ayuda incondicional.

A los integrantes del laboratorio Santiago Holowaty, Cecilia Marti y Jessica Camacho por su colaboración en los análisis de laboratorio.

## INDICE

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN .....	iii
OBJETIVO GENERAL .....	v
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	v
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Yerba Mate ( <i>ilex paraguariensis</i> St Hilaire) .....	1
1.1.1. Reseña histórica.....	2
1.1.2. Producción industrial de la yerba mate .....	2
1.1.3. Composición química de la yerba mate .....	4
1.1.4. Tipos de yerba mate comercializados .....	10
1.1.5. Formas actuales de consumo de la yerba mate .....	11
1.2. Antioxidantes.....	13
1.2.1. Antioxidantes fenólicos.....	14
1.2.3. Actividad antioxidante de la yerba mate .....	15
1.3. Alimentos funcionales (bioactivos).....	16
1.3.1. Propiedades bioactivas de la yerba mate.....	17
1.4. Encapsulación de compuestos bioactivos.....	19
1.4.1. Material de recubrimiento .....	20
1.4.2. Tipos de microcápsulas .....	22
1.4.3. Métodos de encapsulación .....	23
1.4.4. Método de gelificación iónica.....	24
1.4.5. Propiedades del alginato.....	25
1.5. Secado o proceso de deshidratación .....	26

1.5.1.	Actividad de agua.....	26
1.5.2.	Isotermas de sorción.....	27
1.6.	Color.....	29
2.	CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
2.1.	Material.....	31
2.2.	Preparación de extracto acuoso a partir de yerba mate cocido instantáneo.....	31
2.3.	Preparación de las Cápsulas .....	31
2.4.	Cinética de secado de las cápsulas .....	32
2.5.	Contenido de humedad .....	33
2.6.	Isotermas de adsorción. ....	33
2.7.	Modelado de las isotermas de sorción.....	33
2.8.	Determinación del contenido de polifenoles totales (PT) de las cápsulas.....	34
2.9.	Determinación de la capacidad antioxidante. ....	35
2.10.	Velocidad de rehidratación.....	36
2.11.	Determinación de Calcio .....	36
2.12.	Medición de los parámetros de color.....	37
3.	CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
3.1.	Obtención de cápsulas .....	38
3.2.	Cinética de secado de las cápsulas .....	39
3.3.	Modelado de curvas de secado .....	41
3.4.	Isotermas de absorción .....	42
3.5.	Ajuste al modelo.....	43
3.6.	Gráficos de las isotermas ajustadas al modelo GAB.....	45
3.7.	Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante. ....	46
3.8.	Velocidad de Rehidratación.....	48
3.10.	Determinación del contenido de calcio .....	51

3.11. Color .....	52
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES .....	56
BIBLIOGRAFÍAS. ....	57
ANEXO.....	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planta de Yerba mate .....	1
Figura 2: Estructura química de los polifenoles .....	5
Figura 3: Rutas de síntesis de compuestos fenólicos .....	6
Figura 4: Estructura de las xantinas .....	7
Figura 5: Esquema de producción de mate soluble.....	12
Figura 6: Estructura química del ácido clorogénico y sus isómeros .....	16
Figura 7: Tipos de microencapsulados .....	22
Figura 8: Morfología de los diferentes estilos de microcápsulas tipo matriz.....	23
Figura 9: Estructura de los monosacáridos que conforman al alginato .....	24
Figura 10: Modelo de Caja de huevo .....	25
Figura 11: Zonas de las isotermas de sorción .....	28
Figura 12: Curvas típicas de las isotermas de adsorción y desorción .....	28
Figura 13: Clasificación de las isotermas de sorción .....	29
Figura 14: Escala de color de Hunter Lab .....	30
Figura 15: Encapsulación por gelificación iónica .....	31
Figura 16: A y B: encapsulados de extractos de yerba mate.....	38
Figura 17: Curvas de cinética de secado de las tres condiciones .....	40
Figura 18: isoterma a 60°C ajustado al modelos GAB. ....	45
Figura 19: isoterma a 80°C ajustado al modelos GAB .....	45
Figura 20: isoterma a microonda ajustado al modelos GAB. ....	45
Figura 21: Modelo de Pilosof. Curvas de rehidratación de las cápsulas en las condiciones de secado .....	49
Figura 22: Curvas de pérdida de sólidos solubles en función al tiempo. ....	51
Figura 23: Comparación de los parámetros de color “L*”, “a*” y “b*” entre las cápsulassecada a las distintas condiciones. ....	53
Figura 24: A) Cápsulassecado en microonda      B) Secado convectivo.....	54

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Compuestos identificados en yerba mate y algunas de sus actividades biológicas .....	9
Tabla 2: Principales fuentes dietarias de compuestos antioxidantes.....	15
Tabla 3: materiales utilizados para encapsulamiento .....	22
Tabla 4: Principales métodos de microencapsulación según la naturaleza del proceso.....	23
Tabla 5: Rango de actividades de agua (aw) de las soluciones salinas saturadas a 25°C .....	33
Tabla 6: Ecuaciones utilizadas para el modelado de las isotermas de sorción. ....	34
Tabla 7: Contenidos de humedad (kg agua/kg sólido seco) en función del tiempo (min).....	39
Tabla 8: Valores de los parámetros cinéticos de cada modelo para el material secado.....	41
Tabla 9: Límites de confianza para modelo Page .....	42
Tabla 10: Contenidos de humedad de equilibrio de las cápsulas secadas en microonda, y secado convectivo a 60 y 80°C.....	42
Tabla 11: Parámetros de los modelos matemáticos ajustados para la isoterma de sorción de las cápsulas de alginato.....	43
Tabla 12: Resumen de datos de polifenoles totales, capacidad antioxidante con sus desvíos estándar.....	47
Tabla 13: Valores de ganancia de agua (W) en función al tiempo (min).....	48
Tabla 14: Constantes del modelo de Pilosof para las Cápsulas de antioxidantes secadas las tres condiciones.....	49
Tabla 15: Valores de pérdida de sólidos soluble en función al tiempo.....	50
Tabla 16: Límites de confianza para el valor K .....	50
Tabla 17: Contenido de Calcio en las cápsulas en los diferentes productos .....	51
Tabla 18: Valores medios $\pm$ desvío estándar de los parámetros de color (“L*”, “a*” y “b*”) 53	53

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue desarrollar un ingrediente funcional a partir de concentrado de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) encapsulados en matrices de alginato de calcio para preservar sus características antioxidantes. La obtención del sistema de encapsulación se realizó partiendo de la formulación del concentrado de yerba mate -alginato de sodio al 2% p/v, las que se gotearon sobre una solución de  $\text{CaCl}_2$ . Se obtuvieron las cápsulas conteniendo extracto de yerba mate, las cuales fueron sometidas a tres condiciones de secado. De cada uno de los productos obtenidos se determinaron las isothermas de adsorción, el contenido de polifenoles, capacidad antioxidante, contenido de calcio, color, velocidad de rehidratación para determinar el efecto de las condiciones del proceso sobre las cápsulas. En las tres condiciones de secado las cápsulas presentaron un comportamiento similar con una alta velocidad de secado inicial seguido por una etapa más lenta desde aproximadamente los 50 minutos, para llegar finalmente a un tiempo donde las variaciones del contenido de humedad son muy bajas. En el caso del secado en el horno microonda el contenido de humedad permanece constante a partir de los 100 minutos, para el secado convectivo a  $60^\circ\text{C}$ , a partir de los 135 minutos, mientras que para el secado convectivo a  $80^\circ\text{C}$  a los 80 minutos, presentando las cápsulas secadas en microonda una tonalidad marrón más clara respecto al secado convectivo. Las isothermas de sorción obtenidas fueron del tipo sigmoideal. La ecuación de GAB fue la que mejor explicó el comportamiento de los datos experimentales ( $R^2 \geq 91\%$ ), en un rango de  $0,11 < a_w < 0,85$ , a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . En cuanto a los contenidos de polifenoles totales (CPT) y capacidad antioxidante (CAO) de las cápsulas se determinó que el tipo de secado no influye sobre los mismos, encontrándose valores entre 19.68 y 20.12g EAG/100g ms (masa seca) para CPT y para la CAO entre 19.45 y 20.47g EAA/100g ms. El contenido de calcio no depende del método de secado y de acuerdo al promedio de valores de los tres productos el consumo de 5g de cápsulas aportaría 41% de la ingesta diaria recomendada. La velocidad de rehidratación fue mayor para las cápsulas secadas a microonda, encontrándose una máxima absorción de agua a los 5 min, mientras que para el secado convectivo se dio a los 10 min. En el presente trabajo se obtuvieron cápsulas de extractos de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) en matrices de alginato de Calcio con contenido de polifenoles y capacidad antioxidantes, siendo una alternativa para uso como ingrediente funcional.

**Palabras claves:** Encapsulación, secado, ingrediente funcional



## ABSTRACT

The objective of this work was to develop a functional ingredient from yerba mate concentrate (*Ilex paraguariensis*) encapsulated in calcium alginate matrices to preserve its antioxidant characteristics. The encapsulation system was obtained starting from a formulation of concentrate of yerba mate-sodium alginate at 2% w/v, which was dripped on a CaCl<sub>2</sub> solution. After obtaining the capsules containing yerba mate extract, they were subjected to three drying conditions. The adsorption isotherms, polyphenol content, antioxidant capacity, calcium content, color, rehydration rate were determined for each of the obtained products to determine the effect of the process conditions on the capsules. In the three drying conditions the capsules presented a similar behavior with a high initial drying speed followed by a slower stage after approximately 50 minutes, to finally reach a time where the variations in moisture content were very low. In the case of drying in the microwave oven, the moisture content remains constant after 100 minutes, for convective drying at 60 ° C, after 135 minutes, while for convective drying at 80°C, after 80 minutes, presented the dried capsules in microwave a lighter brown hue with respect to the convective drying. The sorption isotherms obtained were the sigmoidal type. The GAB equation explained the best the behavior of the experimental data ( $R^2 \geq 91\%$ ), in a range of  $0,11 < a_w < 0,85$ , at a temperature of 25 ° C. The type of drying did not influence the contents of total polyphenols (CPT) (19,68 and 20,12g EAG / 100g ms (dry mass)) and antioxidant capacity (CAO) (19,45 and 20,47g EAA / 100g ms) of the capsules. The calcium content did not depend on the drying method and according to the average values of the three products evaluated, the consumption of 5g of capsules would contribute 41% of the recommended daily intake. The rehydration rate was higher for the microwave-dried capsules, with a maximum water absorption at 5 min, while convective drying occurred at 10 min. In this work, capsules of yerba mate extracts (*Ilex paraguariensis*) they were obtained in calcium alginate matrices containing polyphenols and antioxidant capacity, being an alternative for use as a functional ingredient.

**Keywords:** Encapsulation, drying, functional ingredient.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la alimentación humana ha generado cambios en el estilo de vida y hábitos alimentarios. La elección racional de alimentos se basa no sólo en satisfacer el hambre y proporcionar los nutrientes necesarios, sino también en la prevención de enfermedades relacionadas con la nutrición y mejorar el bienestar físico. En respuesta a lo planteado, han aparecido nuevos productos alimenticios con componentes activos, los denominados alimentos funcionales que cada vez tienen mayor aceptación por parte de los consumidores y mayor espacios en los mercados (Fuentes Berrio *et al.*, 2015). Una de las áreas de mayor interés en el desarrollo de estos alimentos, se fundamenta en la posibilidad de modular los sistemas redox y antioxidante del organismo, ya que dichos factores han sido implicados en el desarrollo de numerosas enfermedades crónicas y en el proceso de envejecimiento (Wootton *et al.*, 2011)

La Norma NP 3500193 define a la yerba o yerba mate como “el producto formado por las hojas desecadas y ligeramente tostadas, desmenuzadas de *Ilex paraguariensis* St Hil. (Aquifoliaceae), mezcladas o no con fragmentos de ramas jóvenes, pecíolos, pedúnculos florales y semillas de la misma. La yerba mate (*Ilex paraguariensis*), es considerada una fuente rica de antioxidantes, compuestos que aportan beneficios para la salud, lo que la hace un material ideal para la extracción de compuestos activos y su posterior aplicación como ingrediente funcional. (Deladino *et al.*, 2008; López *et al.*, 2012). Las fuentes principales de estos compuestos en la dieta son las frutas y las verduras., sin embargo, en la mayoría de los países en vía de desarrollo la ingesta de estos productos es muy baja, por lo que se requiere incentivar su consumo y la elaboración de nuevos productos con un alto aporte de compuestos bioactivos es una alternativa utilizando una materia prima disponible en la región

En sistemas alimentarios, el extracto de yerba mate ha demostrado capacidad de prevenir el deterioro oxidativo de productos con alto contenido graso, mostrando un elevado poder antioxidante inclusive a bajas concentraciones (de Campos *et al.*, 2007; Valerga *et al.*, 2012). Sin embargo, su sabor característico limita su incorporación a otros alimentos debido a que puede generar rechazo por parte de los consumidores. Entonces surge la necesidad de buscar tecnologías alternativas para superar este inconveniente y aprovechar las propiedades de la yerba mate. Los compuestos fenólicos son los de mayor influencia en la capacidad antioxidante del extracto de yerba mate. (Butiuk *et al.*, 2016). Las principales clases de ácidos clorogénicos hallados en la naturaleza son los ácidos cafeoilquínicos (CQA), ácidos dicafeoilquínicos (diCQA), y los menos comunes los ácidos feruloilquínicos (FQAs).

El departamento de Itapúa es una zona en la cual se procesa e industrializa la yerba mate siendo esta, fuente importante para la economía del país. En la actualidad, la producción de yerba mate constituye un rubro de gran importancia para la agricultura. El mercado se compone casi en su totalidad de yerba mate nacional, con baja participación de productos importados. El interés en el empleo de yerba mate es aprovechar sus propiedades de antioxidantes para el desarrollo de un ingrediente funcional que pueda dar lugar a distintos efectos fisiológicos beneficiosos para el organismo humano, y dar respuestas a las expectativas de los consumidores. En el presente trabajo se propone encapsular los antioxidantes a partir del extracto de yerba mate, en matrices de alginato de calcio facilitando la manipulación, conservación y adición a otros alimentos y de esta manera poder superar los inconvenientes de inestabilidad, disminuir el gusto desagradable, y la vida útil del compuesto (Fang *et al.*, 2010; Munin *et al.*, 2011). Esto permitirá encontrar nuevos mercados y agregar antioxidantes naturales a los alimentos compatibles para evitar enranciamientos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Encapsular extracto de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) para su aplicación como ingrediente funcional.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar una matriz encapsulante para extracto de yerba mate utilizando la técnica de gelificación iónica.
- Determinar la cinética de secado de las cápsulas, en tres condiciones: microonda, secado convectivo a 60° y a 80°C.
- Determinar las isothermas de adsorción a las cápsulas sometida a las tres condiciones de secado.
- Evaluar las propiedades de contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, velocidad de rehidratación, contenido de calcio y color de las cápsulas.

## CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* St Hilaire)

La Yerba mate, *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire, es un árbol perennifolio dioico de porte erecto y copa redondeada, de la familia Aquifoliaceae, nativa de Sudamérica, que se produce y consume en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (Grigioni *et al.*, 2004). Crece en forma silvestre, fundamentalmente en la zona norte de Misiones, Argentina y la región oriental de Paraguay. El área de distribución natural de la especie es muy restringida, sólo prospera en la zona delimitada por el océano Atlántico al este y por el río Paraguay al oeste, entre los 18 y 30 grados de latitud sur, presenta follaje persistente compuesto por hojas gruesas y coriáceas (Anusic, 2011). En su hábitat natural puede alcanzar un desarrollo de hasta 18 m de altura en estado salvaje, aunque bajo cultivo se realizan podas para que tome un porte arbustivo de 3 a 6 m de altura, facilitando la labor de la cosecha (Figura. 1) (Butiuk, 2016).

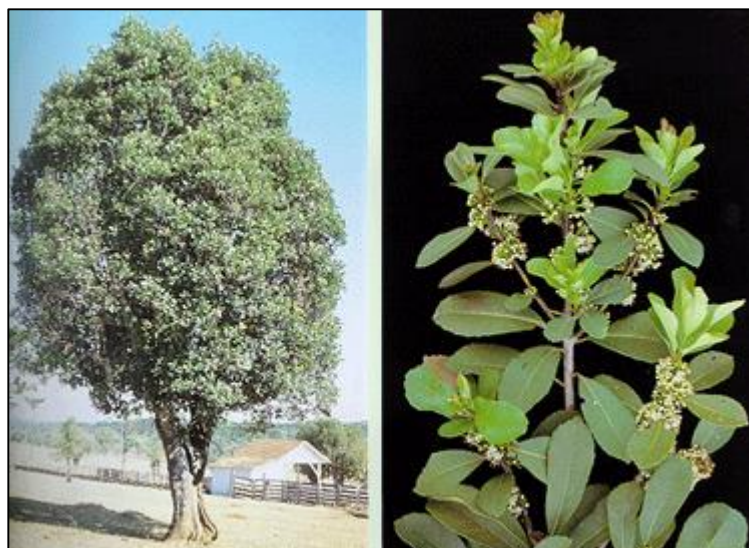


Figura 1: Planta de Yerba mate (tomado de <https://elmundoysusplantas.blogspot.com>)

Es importante reconocer la importancia que hoy tiene la yerba mate, desde formar parte de la balanza alimentaria de los más humildes, hasta de ser componente de distintas infusiones, bebidas espirituosas o complemento alimentario para el tratamiento de enfermedades por sus propiedades benéficas al organismo (Anusic, 2011). El consumo de yerba mate forma parte de la cultura popular, siendo consumida diariamente por la población adulta e infantil en sus variadas formas (Jerke *et al.*, 2009).

### **1.1.1. Reseña histórica**

Antes de la llegada de los europeos a América, la yerba era consumida por los indígenas como una infusión de hojas secas y trituradas, utilizando una bombilla rudimentaria confeccionada de tacuara y fibras vegetales (Dellacassa *et al.*, 2007) . Los españoles, durante la conquista, prestaron atención a esta bebida y la adoptaron rápidamente. Los jesuitas, quienes habían establecido reducciones, fueron viendo a lo largo de ese siglo que los indios que tomaban mate se mantenían más tiempo despiertos y eran más trabajadores. Por ello, durante el siglo XVIII, se comenzó la domesticación de esta planta y las reducciones contaban con sus propios huertos yerberos (Burtnik, 2006). Luego, tras la expulsión de los jesuitas, en el año 1769, se perdieron tanto los cultivos como las técnicas para su desarrollo. Más de cien años después se logró la germinación de nuevas plantas en Paraguay (Del Deposito, 2010).

Hoy en día su uso se ha difundido ampliamente y es utilizada por millones de personas en varios países sudamericanos, Europa y Estados Unidos (Jerke *et al.*, 2009). En Paraguay el consumo de yerba mate forma parte de la cultura popular, siendo consumida diariamente por la población adulta e infantil en sus variadas formas: mate caliente, mate cocido sólo o con leche y mate frío (tereré) (Pérez Paiva *et al.*, 2012).

### **1.1.2. Producción industrial de la yerba mate**

La producción industrial de la yerba mate se realiza mediante sucesivas etapas (Isolabella *et al.*, 2010). El proceso de producción se divide en dos grandes etapas: la primera comprende la cosecha de la hoja verde hasta la obtención de yerba mate canchada y estacionada. En esta instancia, el objetivo principal es reducir los niveles de humedad. La segunda etapa se inicia en el molino y culmina en la elaboración del producto para su comercialización (Rodríguez, 2016).

#### **- Cosecha**

La cosecha comienza durante los meses de abril y mayo extendiéndose hasta octubre, período durante el cual la planta disminuye la circulación de su savia y en que cuenta con un mayor porcentaje de hojas maduras (Butiuk, 2016). Cosechadas las ramas, se procede a la "quiebra", separando las más gruesas de las finas y de las hojas aisladas. Las ramas seleccionadas se acondicionan sobre amplios lienzos de arpillera, o "ponchadas" que con sus cuatro extremos ligados forman un atado que recibe el nombre de "raído". Esto disminuye el volumen del material recogido y facilita un transporte más eficiente (Buduba, 2011).

- Sapecado

Una vez realizada la cosecha, las hojas se trasladan al secadero en donde comienza el proceso de sapecado, el cual consiste en la exposición directa de las hojas al fuego a temperaturas entre los 400-450 °C durante 20-30 segundos. Este proceso se realiza con el fin de inactivar enzimas evitando la oxidación y la pérdida de color de la hoja. Durante el sapecado la yerba mate adquiere su característico aroma y pierde el sabor a hoja verde o tisana (Franco García, 2003).

- Secado

Dentro de las 24 h siguientes al sapecado, el material debe ser sometido a un proceso de secado, esta etapa tiene por objetivo reducir el contenido de humedad de la yerba mate desde el 29-34% (base húmeda) hasta un 3-7% (Känzig *et al.*, 2015)

Se cuenta con tres sistemas de secado:

1)-Secado de tiempos largos (entre 6 y 24 h): Se lleva a cabo en secaderos discontinuos con flujo a través del lecho, denominados “secaderos de catre” o barbacuá.

2) -Secado de tiempos medios (entre 3 y 6 h): Se lleva a cabo en secaderos de flujo cruzado continuos, poniéndose el material sobre una malla, y se denominan “Secaderos de cinta”.

3)-Secado de tiempos cortos (menores a 1 h): Se lleva a cabo en secaderos rotatorios o tubulares y neumáticos.

- Canchado

Una vez terminada la etapa de secado las hojas se someten a un proceso de trituración gruesa denominado canchado, el cual facilita su manipuleo durante el transporte y estacionamiento (Dellacassa *et al.*, 2007). Antiguamente esta operación se realizaba esparciendo la yerba sobre un lugar plano, recubierto de arpilleras, a las que denominaban “canchas”, de allí deriva este término de “canchado” (Buduba, 2011).

- Estacionamiento

Posteriormente, la yerba canchada es depositada en cámaras de estacionamiento para el desarrollo del sabor, aroma y color característicos del mate.

El estacionamiento puede realizarse bajo condiciones de estacionamiento natural o acelerado (Anusic, 2011). El primero se lleva a cabo en depósitos, durante varios meses, en

los cuales no se realiza prácticamente ningún tipo de control de las condiciones ambientales (Wood *et al.*, 2012). En este período la yerba mate adquiere las condiciones de color y sabor deseadas por los consumidores. El tiempo de estacionamiento varía de 6 a 24 meses dependiendo del establecimiento industrial. El estacionamiento acelerado se lleva a cabo en cámaras acondicionadas durante un período de hasta 60 días. En estas cámaras se controla la temperatura (50-60°C) y la humedad relativa (hasta el 60%) (Känzig *et al.*, 2015).

- Molienda

Una vez culminada la etapa de estacionamiento, la yerba mate se somete a la molienda que consiste en una serie de operaciones que comprende la clasificación, trituración y mezclado, mediante las cuales, los establecimientos adecuan el gusto de la yerba mate a los consumidores de diferentes regiones del país o países importadores (Sabbatella *et al.*, 2009).

- Envasado

Una vez finalizada la molienda, clasificación y mezcla, se procede al envasado del producto final. Los envases presentan varias capas de diversos materiales para preservar las características organolépticas de la yerba mate (Anusic, 2011).

La materia prima procedente de diferentes lugares presenta diferentes gustos, tipos de estacionamiento, sistemas de secado, contenidos de humedad, granulometrías y tonalidades variadas. Estas variables son consideradas para obtener la mezcla adecuada de acuerdo al gusto del consumidor (Butiuk, 2016).

### **1.1.3. Composición química de la yerba mate**

La yerba mate contiene una gran variedad de compuestos químicos, principalmente derivados cafeicos, aminoácidos, flavonoides, minerales (K, Ca, Mg, P, Na y Fe) y vitaminas (C, B1 y B2). La mayoría de estos compuestos son de carácter hidrofílico lo que facilita su extracción en medio acuoso (Mejia *et al.*, 2010).

El contenido de metabolitos presentes en *Ilex paraguariensis* difiere según qué material se analice, como hoja fresca o yerba mate elaborada; si contiene o no palos y según el proceso de elaboración, ya que el procesamiento puede alterar a través de oxidaciones o reducciones o reordenamientos, la composición de las moléculas activas (Isolabella *et al.*, 2010).

La composición difiere también según los métodos extractivos y la metodología analítica empleada. No toda la materia prima tiene el mismo origen geográfico, por lo que los



factores agronómicos, climáticos y las prácticas culturales, son variables que deben incorporarse a la dispersión de datos de la literatura. La edad o madurez de la hoja, hace oscilar las concentraciones de los metabolitos, de acuerdo al papel funcional o fisiológico que desempeñen en la planta (Gobbo *et al.*, 2007).

Los principales componentes se describen a continuación:

- Polifenoles

Son un grupo de sustancias vegetales muy importantes, que provienen del metabolismo de los hidratos de carbono. Los fenoles en su estructura poseen un anillo aromático y unido al mismo se encuentra un grupo hidroxilo (o más) (Ugartondo Casadevall, 2009).

Existen varias clases y subclases de polifenoles que se definen en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos (Figura. 2). Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxicinámico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (Quiñones *et al.*, 2012).

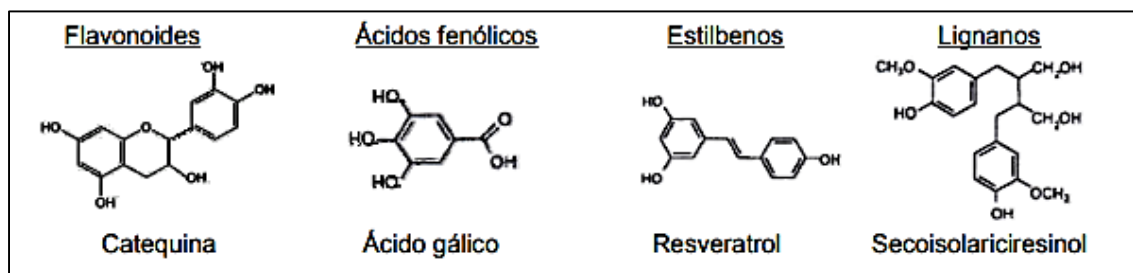


Figura 2: Estructura química de los polifenoles (Ugartondo Casadevall, 2009)

La biosíntesis de los polifenoles como producto del metabolismo secundario de las plantas tiene lugar a través de dos importantes rutas primarias: la ruta del ácido shiquímico y la ruta de los poliacetatos (Figura.3). La ruta del ácido shiquímico proporciona la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina o tirosina), y la síntesis de los ácidos cinámicos y sus derivados (fenoles sencillos, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos y derivados del fenilpropano). La ruta de los poliacetatos proporciona las quinonas y las xantonas.

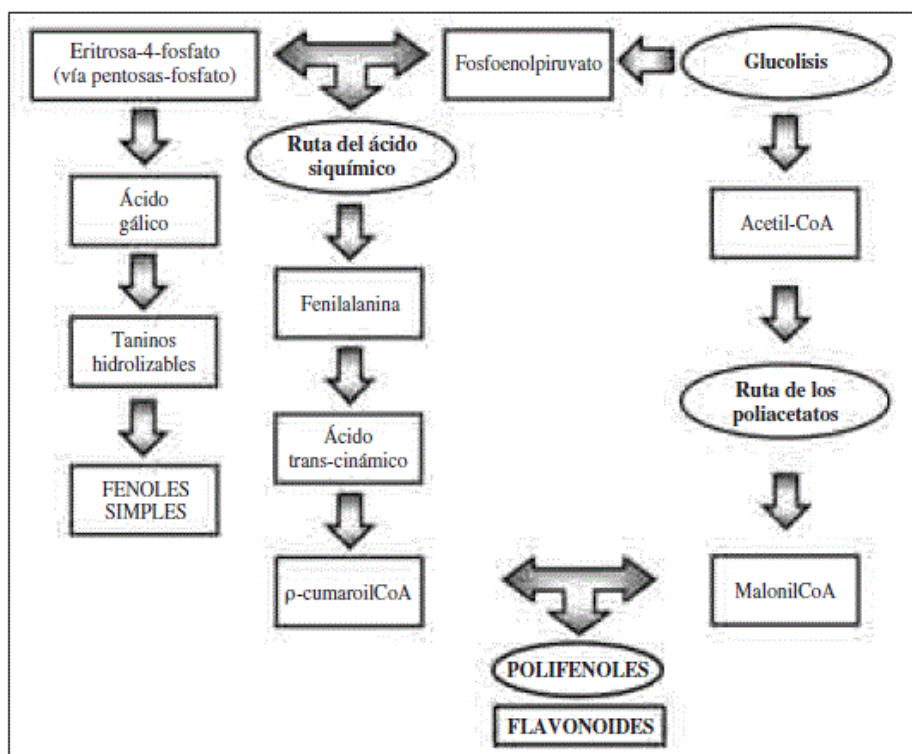


Figura 3: Rutas de síntesis de compuestos fenólicos (tomado de Quiñonez *et al.*, 2012)

Todas las sustancias fenólicas (o polifenoles) tienen un creciente interés farmacológico por sus propiedades: como antioxidantes, hipoglucémicos, antivirales o hepatoprotectores (Farah *et al.*, 2006). Algunas de las propiedades farmacológicas de la Yerba Mate se han atribuido al elevado contenido en los derivados del ácido cafeico (ácidos Clorogénicos) (Filip *et al.*, 2000; Butiuk *et al.*, 2016). Otros compuestos fenólicos hallados en extractos de yerba mate fueron descritos como ácido cafeico libre (Bastos *et al.*, 2006). Ésteres del ácido ferúlico con ácido quínico (3-feruloil y 4-feruloilquínicos); y 5-feruloil (Bravo *et al.*, 2007). Los diésteres 3,5; 4,5 y 3,4-dicafeoilquínicos (Marques *et al.*, 2009). Durante el procesamiento de la yerba se producen cambios en el contenido de los principios activos; para los compuestos fenólicos se encontró un ligero aumento adjudicado a la liberación de cafeoilquínicos de los enlaces con metilxantinas por la elevada temperatura (Isolabella *et al.*, 2010).

#### - Xantinas

Estos son los metabolitos secundarios más característicos y significativos que se han detectado en *Ilex paraguariensis* (Butiuk, 2016). Los tres alcaloides derivados de la purina más comunes son la cafeína, la teobromina y la teofilina (Figura. 4). De ellos, la teobromina (3,7- dimetilxantina) y la cafeína (1,3,7-trimetilxantina) (Athayde *et al.*, 2000) están presentes en grandes cantidades en las hojas de la yerba mate. La cafeína se encuentra en mayor

concentración seguida por la teobromina, estando presentes principalmente en las hojas de la planta y en los tallos leñosos en pequeñas concentraciones que a menudo están presentes en el producto (Anusic, 2011).

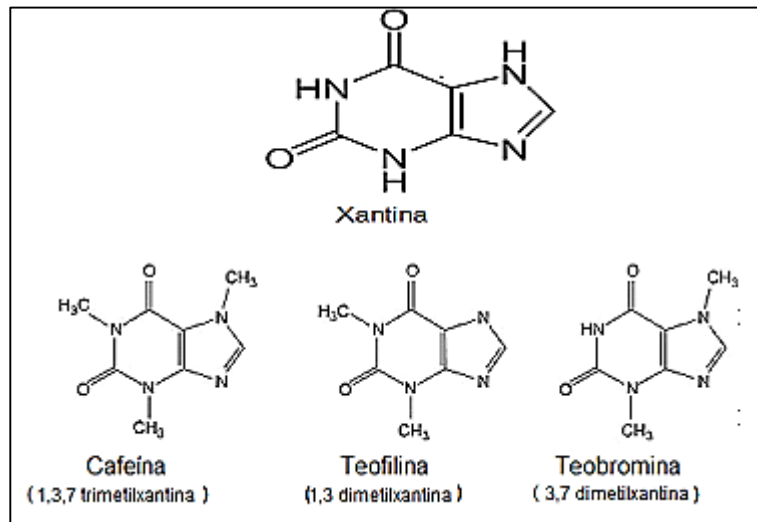


Figura 4: Estructura de las xantinas (tomado de Butiuk, 2016)

La cafeína es un parámetro importante en la calidad del producto, ya que sus propiedades estimulantes son una de las principales razones por las cuales las personas consumen la yerba mate, sin embargo, el proceso de secado puede afectar significativamente su concentración (Schmalko *et al.*, 2001). Otro factor determinante en la concentración de cafeína es el momento de la cosecha, siendo más bajo en los meses de brotación (meses de mayor crecimiento vegetativo, septiembre a diciembre) y aumenta a medida que las hojas maduran (Da Croce, 2002; Escalada *et al.*, 2011). El efecto significativo de la procedencia geográfica brasileña y de las prácticas culturales (cultivos nativos y plantaciones) sobre el contenido de metilxantinas (específicamente cafeína y teobromina) y sobre los ácidos clorogénico y cafeico ha sido reportado en varios estudios (Streit *et al.*, 2007; Cardozo Junior *et al.*, 2010).

Según el Código Alimentario Argentino (armonizado con los demás países del Mercosur respecto del Codex) existen básicamente dos tipos comerciales de yerba mate: la que contiene hasta un 35 % de los tallos (yerba mate elaborada con palo) y otra que sólo puede contener 10 % de los tallos y que deben tener no menos del 0,6 % de cafeína (Butiuk, 2016).

- Saponinas

La yerba mate tiene numerosas saponinas triterpénicas derivadas principalmente del ácido ursólico (metasaponinas) y en menor cantidad saponinas derivadas del ácido oleanólico representando entre el 5 a 10% de la hoja de *Ilex paraguariensis* (Sosa, 2013).

Las saponinas son sustancias glucosídicas con la propiedad de provocar, en soluciones acuosas, la formación de espumas. Debido a la reducción de la tensión superficial, presentan acción detergente y emulsificante. Son responsables por el índice de amargor y de espuma de la yerba mate (Taketa *et al.*, 2004).

Las saponinas son compuestos amargos y muy solubles en agua que se encuentran en muchos tipos de plantas y que se cree que son uno de los factores que contribuyen al distintivo sabor del mate. No solo juegan un papel en el sabor, sino también se le atribuyen propiedades antiinflamatorias e hipocolesterolemiantes (Gnoatto *et al.*, 2005).

- Vitaminas

Entre las vitaminas presentes en la yerba mate tenemos la vitamina C (ácido ascórbico: 104mg/100g de hojas frescas), la vitamina B1 (tiamina), la vitamina B2 (riboflavina), el ácido nicotínico, la vitamina A, vitamina E, el ácido fólico, y también derivados del ácido pantoténico (Sosa, 2013).

- Compuestos volátiles

En la fracción volátil de la yerba mate se detectaron más de 100 componentes, siendo los 10 más importantes identificados como  $\alpha$ -ionona,  $\alpha$ -ionona,  $\alpha$ -terpineol, ácido octanoico, geraniol, 1-octanol, nerolidol, geranilactona y eugenol (Dellacassa *et al.*, 2007), así como diferentes compuestos fenólicos donde se destacan importantes derivados cafeicos y flavonoides como la quercetina, la rutina y el kaempferol (Filip *et al.*, 2001).

- Minerales

La yerba mate contiene altas concentraciones de compuestos inorgánicos. Los minerales aluminio, cromo, cobre, hierro, manganeso, níquel, potasio, y cinc son de particular interés debido a su importancia en el metabolismo y desarrollo humano (Buduba, 2011).

Las sustancias bioactivas más importantes presentes en la yerba mate se ha evaluado y analizado por autores como Heck y González de Mejía (2007), a modo de resumen se presenta en Tabla 1 en la cual se mencionan los principales compuestos identificados y las actividades biológicas asociadas.

Tabla 1: Compuestos identificados en yerba mate y algunas de sus actividades biológicas

<b>Compuestos</b>	<b>Actividad biológica</b>
<b>Cafeína</b>	Anticancerígena, adelgazante, antioxidante, antitumoral, diurético, energizante, vasodilatador, inhibidor de la topoisomerasa I y II,
<b>Ácido clorogénico</b>	Antioxidante, analgésico, anti-aterosclerótico, antibacteriano, antidiabético, colerético
<b>Clorofila</b>	Antibacteriano, anticancerígeno.
<b>Colina</b>	Antidiabéticos, colinérgicos, lipotrópicos.
<b>Acido nicótico</b>	Colerético, hipocolesterolémico (1 a 6 g / día)
<b>Ácido pantoténico</b>	Antialérgico, antiartrítico, antifatiga.
<b>Rutina</b>	Antioxidante, antitumoral, inhibidor de la cAMP-fosfodiesterasa, Inhibidor de la topoisomerasa I y II , Vasodilatador, antiulcerosa.
<b>Tanino</b>	Antioxidante, antitumoral, inhibidor de la lipooxigenasa.
<b>Teobromina</b>	Inhibidor cAMP, inhibidor de la cAMP-fosfodiesterasa, diurética, estimulante y miorelajante
<b>Teofilina</b>	Inhibidor cAMP, inhibidor de la cAMP-fosfodiesterasa, diurética, colerética, estimulante, vasodilatador y miorelajante.
<b>Ácido ursólico</b>	Analgésico, antioxidante, antiperoxidante, inhibidor de proteasa, inhibidor de topoisomerasa II, antiarrítmico, anticancerígeno, antialzheimer,

**Fuente:** (Heck y De Mejia, 2007)

#### 1.1.4. Tipos de yerba mate comercializados

La yerba mate debe cumplir con las normativas obligatorias vigentes dadas por la normativa Paraguaya NP 3500193 los mismos definen los siguientes productos:

a- **Yerba mate canchada:** es la yerba mate sapecada, secada y groseramente triturada.

b- **Yerba mate elaborada:** Es la yerba mate canchada, estacionada o no, que ha sido sometido al proceso de zarandeo y molienda.

c- **Yerba mate elaborada parcialmente despalada:** Es la yerba mate elaborada que contiene no menos de 90 % de hojas desecadas, rotas o pulverizadas, y entre 6 y no más del 10% de palo grosera o finamente triturado, astillas y fibras de palos. El 100 % de la muestra analizada debe pasar por un tamiz cuya abertura sea de 5mm x 70mm. Debe además cumplir ciertos requisitos de tamizado.

d- **Yerba mate elaborada despalada:** Es la yerba mate elaborada que contiene no menos del 94% de hojas desecadas, rotas o pulverizadas, y menos del 6% de palo grosera o finamente triturado, astillas y fibras de palo. El 100 % de la muestra analizada debe pasar por un tamiz cuya abertura sea de 5mm x 70mm. Debe además cumplir ciertos requisitos de tamizado.

e- **Yerba mate en Saquito:** Es la yerba mate elaborada contenida en un envase apropiado para realizar la infusión.

En el año 2002 el INTN, establece la NP 3500201, correspondiente a los requisitos generales para la yerba mate elaborada compuesta, que por definición corresponde a la yerba mate elaborada, que cumple con la NP 3500193 con adición de hasta el 15% de otros productos que se especifican en la norma, con excepción de los subproductos de la yerba mate (palos, puntas negras, semillas). La mencionada Norma, reconoce los siguientes tipos de yerba mate elaborada compuesta:

- **Yerba Mate Elaborada Compuesta con Hierbas:** es la yerba mate compuesta por la adicción de una o varias hierbas de reconocida inocuidad fisiológica.

- **Yerba Mate Elaborada Compuesta enriquecida:** es la yerba mate compuesta por la adicción de minerales y/o vitaminas.

- **Yerba Mate Elaborada Compuesta saborizada o aromatizada:** es la yerba mate compuesta por la adicción de esencias.

-**Yerba Mate Elaborada Compuesta mixta:** es la yerba mate compuesta formada por la mezcla de dos o más tipos de yerbas citadas.

- ✓ Yerba Mate Compuesta con hierbas y saborizada o aromatizada
- ✓ Yerba Mate Compuestas con hierbas y enriquecida
- ✓ Yerba Mate Compuesta saborizada o aromatizada y enriquecida

### **1.1.5. Formas actuales de consumo de la yerba mate**

La yerba mate se consume en un 99 % como infusión. El término infusión abarca cinco formas de consumo: el mate caliente (o simplemente mate), mate frío (o tereré) y en tazas en forma similar al té (mate cocido o en saquitos; y mate soluble) (Hartwig, 2015).

#### - Mate

Es una infusión que se prepara en un recipiente (también denominado “mate”) o si el recipiente es de la variante de boca ancha se le llama “porongo” en donde se vierte agua entre 75 y 82°C que se succiona por medio de una bombilla (Butiuk, 2016).

Los recipientes utilizados varían mucho según la región. El recipiente tradicional es una calabaza; pero también se utilizan vasos de vidrio, tazas de cerámica, metal, etc. El agua caliente es generalmente mantenida en termos durante el consumo del mate. La norma IRAM 20540-1 (1997) normalizó la degustación de yerba mate a ser utilizada en las transacciones comerciales. Esta norma sugiere la utilización de un recipiente de vidrio con 50 g de yerba mate con una bombilla lisa de acero inoxidable y agua a 70 °C.

#### - Tereré

Es similar al mate, pero se prepara con agua bien fría (5-10°C), su consumo es constante sin importar la época o temperatura. En Paraguay es muy común adicionar hierbas (menta, boldo, cedrón, burrito,) y también esencia por considerárselas refrescantes (Arrúa *et al.*, 2011, Butiuk, 2016,) Mientras en Argentina ha aumentado el consumo del terere con jugo y bebidas carbonatadas, principalmente entre la población juvenil. Algunas empresas lanzaron al mercado yerba mate saborizadas con a limón y durazno para el caso del tereré. (Schmalko *et al.*, 2015)

#### - Yerba Mate en saquitos

Se consume en tazas en una forma similar al té. Los saquitos contienen aproximadamente 3 g de la yerba mate y están contenidas en una bolsitas de papel de filtro tissue, ensobrado con papel común colocadas en una caja con envoltura de polietileno. La bebida se prepara con agua caliente a temperatura cercana a la de ebullición.

Las empresas yerbateras están tratando de expandir el mercado de la yerba mate bajo ésta forma de consumo principalmente en el exterior, donde el consumo en forma de mate, compartiendo la bombilla no es aceptado. (Schmalko *et al.*, 2015).

- Mate cocido

“El mate cocido” es preparado en forma similar al caso anterior, pero en este caso la yerba mate es vertida sobre agua caliente, se mantiene en el recipiente hasta ebullición, y después es filtrada. En algunos casos, la infusión es saborizada con cáscara de naranja o azúcar quemada. (Hartwig, 2015)

- Yerba Mate Soluble

Según el código alimentario Argentino se conoce como el producto en polvo resultante de la deshidratación de los extractos acuosos obtenidos exclusivamente de la yerba mate. También es conocida con otras denominaciones como mate instantáneo, extracto de mate en polvo o concentrado de mate. Es un producto en polvo de color marrón- verdoso soluble en agua, se consume por lo general caliente con o sin agregado de leche y/o azúcar.

- Obtención

La tecnología de producción varía en algunos casos el procesos es específico de cada fabricante, sin embargo la tecnología básica es similar, en el Paraguay la mayoría de las empresas yerbateras productoras de yerba mate instantáneo soluble, lo tercerizan con la empresa “NATURAL INSTANT FOODS S.A” cuyo proceso de obtención se muestra en la figura 5.

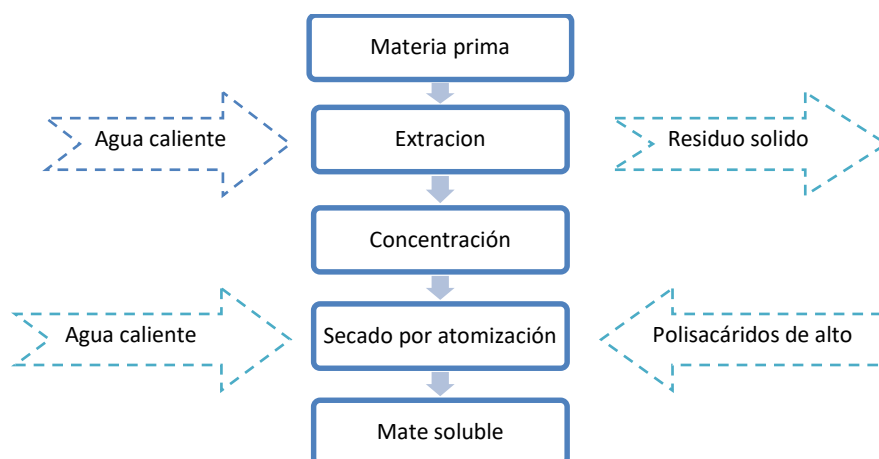


Figura 5: Esquema de producción de mate soluble (Hartwing, 2015).



## 1.2. Antioxidantes

Los radicales libres son átomos o grupos de átomos que tienen un electrón desapareado o libre por lo que son muy reactivos ya que tienden a captar un electrón de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica (Avello *et al.*, 2006). Una vez que el radical libre ha conseguido sustraer el electrón que necesita, la molécula estable que lo cede se convierte a su vez en un nuevo radical libre por quedar con un electrón desapareado, iniciándose así una verdadera reacción en cadena que puede eventualmente destruir las células. La vida media biológica del radical libre es de microsegundos, pero tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que esté a su alrededor provocando un gran daño a moléculas, membranas celulares y tejidos. (Calderón Hernández, 2011)

Un antioxidante es una sustancia capaz de neutralizar la acción oxidante de los radicales libres mediante la liberación de electrones en nuestra sangre, los que son captados por los radicales libres. Estos sistemas incluyen antioxidantes producidos en el cuerpo (endógenos) y otros obtenidos de la dieta (exógenos). Los obtenidos en la dieta tales como: la vitamina E, la vitamina C, el  $\beta$  caroteno, flavonoides y licopenos entre otros, se encuentran en los vegetales (Céspedes *et al.*, 2000).

Los antioxidantes son compuestos que retrasan o previenen el daño provocado por la oxidación. Están presentes en el cuerpo humano y se cree que su efectividad contribuye a evitar el envejecimiento y a la prevención de enfermedades crónicas relacionadas con la edad; así mismo, se ha comprobado que el incremento de antioxidantes naturales en la dieta, puede ayudar a controlar y prevenir enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes y Alzheimer, entre otras (Cuerda *et al.*, 2011).

Según la “Food and Drug Administration” (FDA), se define como antioxidante a las sustancias empleadas para preservar alimentos, a través del retardo del deterioro, rancidez o decoloración debida a la oxidación. Este concepto no se restringe sólo a sustancias que actúan evitando la peroxidación lipídica, si no que incluye además la oxidación de otras moléculas como proteínas, ácido desoxirribonucleico (DNA), entre otras. En el caso de aplicaciones en alimentos, éste a su vez debe ser compatible con el sustrato, no conferir olores ni sabores extraños al producto, ser efectivo durante el período de almacenamiento del mismo y ser fácilmente incorporado en el alimento (Wootton *et al.*, 2011).

### 1.2.1. Antioxidantes fenólicos

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos se atribuye a su facilidad para ceder átomos de hidrógeno de un grupo hidroxilo aromático a un radical libre y a la posibilidad de deslocalización de cargas en el sistema de dobles enlaces del anillo aromático (Duthie *et al.*, 2000). Poseen además una estructura química ideal para captar iones metálicos (principalmente hierro y cobre) y por tanto para inhibir la formación de radicales libres a través de reacciones de Fenton (Hartwig, 2015).

Los compuestos fenólicos constituyen una de las principales clases de metabolitos secundarios de las plantas, en las que desempeñan diversas funciones fisiológicas, tales como el crecimiento y reproducción de la planta y procesos defensivos frente a patógenos, depredadores o radiación solar (Friedman *et al.*, 2000). Sus cantidades y tipos varían en función de la especie vegetal y variedad, parte de la planta considerada (frutos, semillas, hojas, tallos, etc.), horas de exposición solar, grado de madurez, condiciones de cultivo, procesamiento y almacenamiento, etc. (Hartwig, 2015).

Los flavonoides forman parte del denominado sistema de defensa antioxidante del organismo, es decir, aquellas defensas que se adquieren a través de la dieta. Existen tres tipos de mecanismos que pueden explicar la actividad antioxidante de estas defensas (Ugartondo Casadevall, 2009):

- 1- La transferencia de electrones que determina que el antioxidante se transforme en una molécula radical activa.
- 2- La transferencia de electrones que determina la formación de una molécula antioxidante inactiva o estable.
- 3- Pequeñas moléculas que actúan como enzimas antioxidantes.

Las principales fuentes de compuestos fenólicos en la dieta son las frutas y las verduras. Otras fuentes importantes de estos compuestos son los cereales y algunas bebidas como el té, café, vino y cerveza (Tabla 2), sin embargo, en la mayoría de países en vía de desarrollo la ingesta de estos productos es muy baja, por lo que se requiere incentivar su consumo y la elaboración de nuevos productos con un alto aporte de compuestos bioactivos (Saura *et al.*, 2006).

Tabla 2: Principales fuentes dietarias de compuestos antioxidantes

FUENTE	EJEMPLOS	COMPUESTOS ANTIOXIDANTES
Frutas y hortalizas	Manzana, guayaba, pasas de uva, arándanos, brócoli, berenjena.	Ácidos fenólicos, flavonoides, tocoferoles y tocotrienoles, taninos.
Hierbas y especias	Romero, salvia, orégano, tomillo.	Ácido rosmarínico, cárnosol, ácido carnósico, rosmanol, isorosmanol.
Cereales y leguminosas	Arroz, maíz, centeno, sorgo, trigo	Ácidos fenólicos, flavonoides, tocoferoles y tocotrienoles, etc.
Oleaginosas	Oliva, maíz, canola, mostaza, chía, lino, maní.	Carotenos, tocoferoles y tocotrienoles, flavonoides, ácidos fenólicos, taninos
Té	Té verde, té negro y té oolong	Catequinas, teaflavinas, ácidos fenólicos.

Fuente: (López Córdoba, 2014)

### 1.2.3. Actividad antioxidante de la yerba mate.

El interés en el empleo de fuentes de antioxidantes naturales se ha incrementado en los últimos años. Esto se debe a la preferencia de los consumidores por el uso de ingredientes naturales y algunas vinculaciones de efectos tóxicos producidos por el consumo de aditivos sintéticos (Betoret *et al.*, 2011). El extracto de yerba mate (*Ilex Paraguariensis*) (Filip *et al.*, 2000) constituye una fuente importante de compuestos fenólicos con alto poder antioxidante, éstos pueden actuar como donantes de electrones o hidrógeno y/o como quelantes de iones de metales de transición.

Ciertos estudios han demostrado una relación importante entre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de yerba mate (Terpinc *et al.*, 2012).

Se detectaron 28 compuestos fenólicos diferentes en extractos de yerba mate, representados mayoritariamente por compuestos del grupo de los ácidos hidoxicinámicos (Bravo, *et al.*, 2007) mono-ésteres de ácido quínico con ácido cafeico, específicamente isómeros del ácido cafeoilquínico (ácido clorogénico, ácido neoclorogénico y ácido criptoclorogénico); -di-ésteres de ácido quínico con ácido cafeico: específicamente isómeros del ácido dicafeoilquínico representados por los ácidos 3,4 dicafeoilquínico, 3,5 dicafeoilquínico (ácido isoclorogénico) y 4,5 dicafeoilquínico.

La rutina se ha detectado en todas las muestras de *Ilex. paraguariensis* (Filip *et al.*, 2000; Bravo *et al.*, 2007). La quercetina y su aglicón no siempre han sido detectados (Heck, *et al.*, 2008).

Filip *et al.*, (2000) correlacionan la actividad antioxidante de la infusión de mate con el contenido de rutina, quercetina, canferol y derivados cafeoilquínicos, a los cuales se les reconoce una actividad antioxidante en la salud humana (Anusic, 2011).

El ácido clorogénico y sus derivados (Figura. 6) son considerados los compuestos fenólicos con mayor influencia en la capacidad antioxidante del extracto de yerba mate (Heck *et al.*, 2007; Butiuk *et al.*, 2016).

El contenido de estos compuestos en la yerba mate varía aún para el mismo componente, dependiendo de la ubicación y sistema de cultivo empleados en el procesamiento e industrialización (Da Croce, 2002).

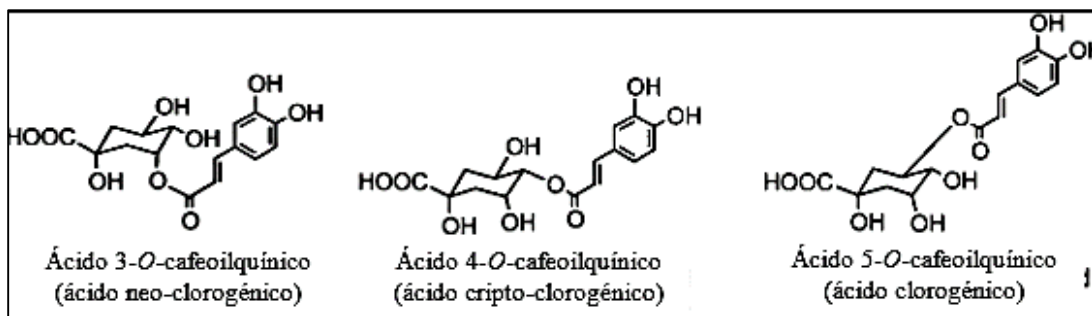


Figura 6 Estructura química del ácido clorogénico y sus isómeros (Butiuk, 2016)

### 1.3. Alimentos funcionales (bioactivos)

En términos generales un alimento es considerado funcional cuando es capaz de producir un efecto beneficioso sobre una o más funciones específicas del organismo, más allá de los efectos nutricionales habituales de mejorar el estado de salud y/o de reducir el riesgo de enfermedad (Carmuega, 2009).

Los alimentos funcionales son alimentos con la característica particular de que algunos de sus componentes afectan funciones del organismo de manera específica y positiva, promoviendo un efecto fisiológico o psicológico más allá de su valor nutritivo tradicional (Araya *et al.*, 2003). Su efecto adicional puede ser su contribución a la mantención de la salud y bienestar o a la disminución del riesgo de enfermar.

Diversos compuestos bioactivos que poseen efectos farmacológicos terapéuticos provienen de alimentos funcionales de origen animal o de plantas, sean estas comestibles o no. Los alimentos funcionales se definen como los productos alimenticios de origen animal o

vegetal, consumidos en la dieta diaria, que además de aportar nutrientes poseen componentes bioactivos (Serrano *et al.*, 2006). Estos compuestos ejercen efectos farmacológicos que modulan funciones terapéuticas en el cuerpo que resultan benéficas para la salud.

Condiciones determinantes de los alimentos funcionales:

- ✓ Alimentos basados en ingredientes naturales
- ✓ Alimentos que deben consumirse como parte de la dieta diaria Alimentos que, al consumirse, cumplen un papel específico en las funciones del cuerpo humano, incluyendo:
  - Mejoramiento de los mecanismos de defensa biológica.
  - Prevención o recuperación de alguna enfermedad específica.
  - Control de las condiciones físicas y mentales.
  - Retardo en el proceso de envejecimiento

### **1.3.1. Propiedades bioactivas de la yerba mate**

Esta planta contiene una gran variedad de compuestos bioactivos capaces de actuar frente a reacciones de estrés oxidativo, implicadas en el desarrollo de diversas enfermedades. (Bracesco *et al.*, 2011).

Como ya se ha expresado anteriormente (Item 1.1.3) la composición de la yerba mate incluye una variedad de polifenoles, xantinas, derivados cafeoílicos, saponinas y minerales que pueden ser responsables de la actividad farmacológica.

Los estudios han sugerido que las hojas de yerba mate pueden tener propiedades antioxidantes, antiobesidad, antidiabéticas, diuréticas, quimiopreventivas, antimicóticas y estimulantes. También puede ayudar en la digestión (Burris *et al.*, 2012). A continuación se detallan algunas de estas propiedades.

#### *- Control de peso y obesidad*

El mate ha demostrado posibles efectos sobre la pérdida de peso como lo demuestran algunas investigaciones. Los hombres y mujeres obesos que consumen mate han mostrado una disminución del cociente respiratorio (CR), lo que indica un aumento de la oxidación de grasa (Butiuk *et al.*, 2016). Si bien se ha citado el efecto del mate en la pérdida de peso, no se conoce directamente el mecanismo de tal efecto. Podría ser debido a su concentración de cafeína, lo que contribuye a la actividad lipolítica, termogénica o la concentración de saponina, interfiriendo con el metabolismo del colesterol y retrasando la absorción intestinal de grasas en la dieta (Dickel *et al.*, 2007).

Un artículo ha demostrado que, los extractos de *Ilex paraguariensis* son capaces de inhibir la actividad de la lipasa pancreática *in vitro* (Bracesco *et al.*, 2011). Además, algunos estudios han demostrado que los ratones alimentados con extractos de *Ilex paraguariensis* y dietas ricas en lípidos ganan menos peso que los controles. Los datos muestran que el extracto de yerba mate tiene una potente actividad antiobesidad *in vivo* en ratones obesos (Arcari *et al.*, 2009).

#### - Acciones antidiabéticas

Se ha demostrado que la yerba mate inhibe la formación de productos finales de glicación avanzados (AGEs) con un efecto comparable al de dos fármacos inhibidores de AGE de grado farmacéutico. Los AGE (advanced glycation end products) son un espectro de compuestos heterogéneos que derivan de proteínas, lípidos y ácidos nucleicos que son glicosados y oxidados en forma no enzimática en un proceso llamado reacción de Maillard (Carvajal, 2015). Los extractos de *Ilex paraguariensis* ricos en polifenoles son capaces de inhibir los AGE en un modelo de proteína *in vitro*, mientras que el té verde no muestra un efecto significativo (Lunceford *et al.*, 2005). La glicación, la formación de aductos no enzimáticos entre los aldehídos de azúcar y las proteínas, es una base molecular clave de las complicaciones diabéticas debidas a la hiperglucemia. Se ha afirmado que los fenólicos, como los ácidos clorogénicos, modulan la actividad de la glucosa-6-fosfatasa involucrada (Méndez, 2003; Marques *et al.*, 2009).

#### - Actividad anticancerígena

Varias investigaciones han reportado la actividad anticancerígena de la yerba mate. La mayoría de ellas han sido experimentos *in vitro* y algunos experimentos *in vivo* o *ex-vivo*, aunque no se han realizado estudios epidemiológicos reales. Estas actividades han sido ampliamente revisadas por Bastos (2007), Heck y González de Mejía (2007) y por Bracesco (2011).

Una de las actividades relacionadas con la biología del cáncer es la angiogénesis, un estudio clave en la inflamación y reparación. Tratamientos realizados con el extracto acuoso de yerba mate y la cafeína en las membranas vasculares del saco vitelino de embriones de pollo revelaron propiedades pro-vasculo-angiogénicas así como la mejora del crecimiento embrionario (Strassmann *et al.*, 2008; Schmalko *et al.*, 2012).

#### - Acciones antifatiga y estimulantes

La yerba mate es un estimulante del SNC. Los efectos metabólicos del mate parecen incluir la capacidad de mantener la descomposición aeróbica de los carbohidratos durante el ejercicio durante largos periodos de tiempo. Como resultado, se queman más calorías, lo que aumenta la eficacia cardíaca y retrasa la acumulación de ácido láctico (Bastos *et al.*, 2007). El mate podría ser útil para tratar una variedad de trastornos tales como "depresión, trastornos de atención y concentración, estado de ánimo y trastornos emocionales, enfermedad de Parkinson, trastornos extrapiramidales, hipertensión, abuso de sustancias, trastornos de la alimentación, síndrome de abstinencia" (Dellacassa *et al.*, 2007).

#### **1.4. Encapsulación de compuestos bioactivos.**

La encapsulación es una de las técnicas más usadas en el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceúticos. Los compuestos bioactivos como vitaminas, antioxidantes, aceites esenciales, enzimas, microorganismos benéficos, etc. pueden ser preservados por distintas técnicas de encapsulación (López *et al.*, 2012). La encapsulación se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa. Esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Fuchs *et al.*, 2006).

Uno de los métodos más utilizados para la conservación de las propiedades fisicoquímicas de las sustancias químicas es la microencapsulación (Castañeda *et al.*, 2011).

Se sabe que muchos alimentos, fácilmente pierden su actividad biológica por oxidación, cuando se exponen al ambiente. Esta situación sugiere la necesidad de aplicar técnicas que impidan esta degradación o reducir los efectos del envejecimiento de las células. La actividad biológica de estos compuestos es de muy corto plazo, debido a la rápida oxidación en condiciones ambientales y a la degradación durante el procesamiento de los alimentos, sucediendo una pérdida total o parcial de los mismos, ocasionando la pérdida de sus propiedades funcionales y limitando su aplicación para productos de consumo humano (Castañeda, *et al.*, 2011). Los procesos de encapsulación se iniciaron por la década de 1930 por la National Cash Register en la que se utilizó gelatina como material encapsulante de un tinte. De ahí en adelante, este método fue ampliamente usado para cubrir y conservar sabores, aromas, sustancias farmacéuticas, etc.; incluso sustancias tóxicas, para evitar su toxicidad y el escape de los mismos.

Según Borgogna la encapsulación se define como la tecnología mediante la cual se logra confinar compuestos activos dentro de una matriz polimérica. Esta técnica crea un microambiente en la cápsula capaz de controlar las interacciones entre el interior y el exterior (Borgogna *et al.*, 2010). Algunos de los propósitos de aplicar una técnica de encapsulación en la industria de alimentos son (Champagne *et al.*, 2007).

- ✓ Proteger el compuesto activo de la degradación producida por el ambiente (calor, aire, luz, humedad, etc.).
- ✓ Liberación controlada del compuesto activo desde la matriz encapsulante bajo condiciones específicas (pH, temperatura, etc.).
- ✓ Modificar las características físicas del material original y hacer más fácil su manipuleo. Por ejemplo, reducir la higroscopicidad, modificar su densidad, distribuir el material uniformemente en una muestra, convertir materiales líquidos en polvo, entre otros.
- ✓ Enmascarar sabores desagradables.
- ✓ Separar componentes con el fin de que éstos no reaccionen.

#### **1.4.1. Material de recubrimiento**

El primer paso para la encapsulación es la elección del material de recubrimiento apropiado. Aunque el método de encapsulación puede afectar el mecanismo de liberación del centro activo, la formulación del recubrimiento por sí mismo es el factor más determinante (Sandoval *et al.*, 2011).

La variedad de materiales que pueden emplearse para la microencapsulación se ha ampliado gradualmente en la medida de que surgen nuevos biomateriales y se perfilan nuevas aplicaciones de esta técnica. De modo general, los materiales capaces de constituirse en micropartículas se clasifican en tres categorías: grasas, proteínas y polímeros (Hernández *et al.*, 2016). Debido a su gran versatilidad, la familia de los polímeros es la más utilizada en la microencapsulación de sustancias. Dentro de ella están los polímeros naturales, los semisintéticos y los sintéticos (Estevinho *et al.*, 2013).

El material protector debe reunir ciertas propiedades que dependen de las características químicas del material encapsulado, aplicación, condiciones de almacenamiento y proceso al cual será expuesto.



Las características de un recubrimiento ideal para encapsular son.

- ✓ Baja viscosidad a altas concentraciones.
- ✓ Baja higroscopicidad para facilitar su manipulación y evitar la aglomeración.
- ✓ Capacidad de emulsificar y estabilizar el material central.
- ✓ Insoluble y no reactivo con el material central. El recubrimiento es soluble en los solventes alimenticios comunes, o en el producto alimenticio final.
- ✓ Proporcionar máxima protección al material central contra condiciones adversas como la luz, el pH, el oxígeno, la humedad y otros ingredientes reactivos.
- ✓ Permitir la liberación completa de solventes y otros materiales usados durante el proceso de encapsulación.
- ✓ Sabor insípido.
- ✓ Poseer bajo costo.

Los materiales de recubrimiento se seleccionan de una amplia variedad de polímeros sintéticos y naturales (Tabla 3). Estos materiales se pueden mezclar entre ellos para obtener propiedades de barrera y mecanismo de liberación específicos; o se puede combinar con modificadores como antioxidantes o surfactantes (Sandoval *et al.*, 2011).

Cada grupo de materiales tiene ciertas ventajas y desventajas. La elección del material de cobertura depende de varios factores mencionados a continuación.

- ✓ Especificaciones del producto que se quiera obtener.
- ✓ Naturaleza del núcleo
- ✓ Proceso de encapsulación que se va a utilizar
- ✓ Costos
- ✓ Si el material de cobertura se encuentra aprobado por la legislación aplicable por alimentos.

Tabla 3: materiales utilizados para encapsulamiento.

<b>Materiales de recubrimiento</b>	<b>Tipos Específicos de Recubrimiento</b>
Goma	Goma arábica, agar, alginato de sodio, carragenina
Carbohidratos	Almidón, Maltodextrinas, sacarosa, jarabe de maíz, ciclodextrinas
Celulosa	Carboximetil celulosa, metil celulosa, etil celulosa, nitrocelulosa, acetilcelulosa.
Lípidos	Cera, parafina, triestarina, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, cera de abejas, aceites, grasas
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, Silicato.
Proteínas	Gluteína, caseína, gelatina, albúmina

Fuente: (Sandoval *et al.*, 2011).

#### 1.4.2. Tipos de microcápsulas

Las microcápsulas pueden clasificarse en tres categorías de acuerdo a su morfología: mononucleares, polinucleares y tipo matriz (Figura.7) (Reyna *et al.*, 2014).

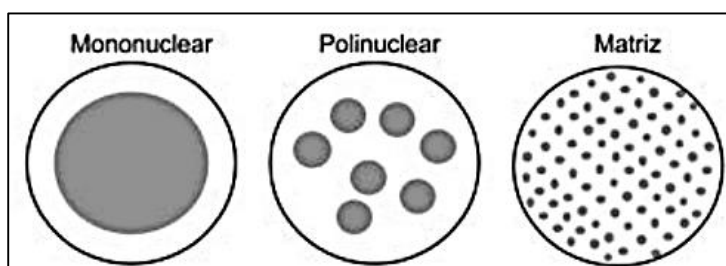


Figura 7: Tipos de microencapsulados (Reyna *et al.*, 2014)

Las microcápsulas mononucleares tienen una cubierta alrededor del núcleo, mientras que las polinucleares tienen varios núcleos dentro de la pared. En la encapsulación tipo matriz, el material del núcleo se distribuye homogéneamente en el material de la pared y puede presentarse en diferentes estructuras (Figura. 8) en forma de espuma, en la cual el material activo se reparte en toda la cápsula y la cubierta (a), en forma de red con una estructura abierta (b) microcápsulas donde el material activo se encuentra disperso en la matriz que actúa como cubierta, tanto en la esfera llena (c) como en la periferia (d) (Vehring, 2008).

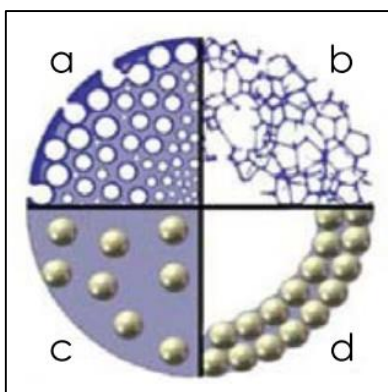


Figura 8: Morfología de los diferentes estilos de microcápsulas tipo matriz. (Vehring, 2008)

### 1.4.3. Métodos de encapsulación

Los procesos de microencapsulación pueden dividirse en físicos, químicos y fisicoquímicos; según la naturaleza del proceso (Tabla 4), lo que da como resultado productos con características específicas y aplicaciones diversas.

Tabla 4: Principales métodos de microencapsulación según la naturaleza del proceso

PROCESOS FÍSICOS	PROCESOS QUÍMICOS	PROCESOS FISICOQUÍMICOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Secado por aspersión</li> <li>✓ Secado por enfriamiento,</li> <li>✓ Extrusión,</li> <li>✓ Liofilización,</li> <li>✓ Co-cristalización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Polimerización interfacial</li> <li>✓ Inclusión molecular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coacervación,</li> <li>✓ Gelificación iónica</li> <li>✓ Atrapamiento con liposomas.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

El secado por aspersión y la extrusión son los procesos más utilizados para microencapsular ingredientes activos, especialmente en la industria alimenticia; debido en gran medida a su bajo costo, buena estabilidad del producto final y eficacia de encapsulación relativamente alta (Favaro-Trindade *et al.*, 2010). El secado por aspersión consiste en pulverizar el material líquido y formar gotas en las que el solvente se evapora al entrar en contacto con una corriente de gas caliente y formar una fina película del recubrimiento utilizado (Gharsallaoui *et al.*, 2007). En la técnica de extrusión, la emulsión del material activo y el de recubrimiento forman gotas al pasar por un dispositivo extrusor a alta presión (Reyna *et al.*, 2014).

Otra metodología comúnmente utilizada para el desarrollo de sistemas de liberación controlada de fármacos, cosméticos e ingredientes alimentarios; es la formación de complejos de inclusión con ciclodextrinas (Astray *et al.*, 2009).

#### 1.4.4. Método de gelificación iónica

En esta técnica la formación de la cubierta de las cápsulas tiene lugar por una reacción de gelificación iónica entre un polisacárido y un ion de carga opuesta. También se conoce como método de goteo con alginato, éste ha sido extensamente utilizado debido a que es un método fácil de reproducir a nivel laboratorio. El proceso se lleva a cabo rápidamente y se puede encapsular cualquier tipo de alimento ya sea hidrofóbico, hidrofílico, termosensible, líquido o sólido (Gouin, 2004). Es un proceso que se desarrolló para inmovilizar células, donde se utiliza principalmente alginato como componente de la membrana y la combinación con iones divalentes como el calcio, para inducir la gelificación (Pedroza Islas, 2002).

El alginato está formado por dos tipos de monosacáridos: el ácido gulurónico y el ácido manurónico (Figura. 9) (Junter *et al.*, 2009).

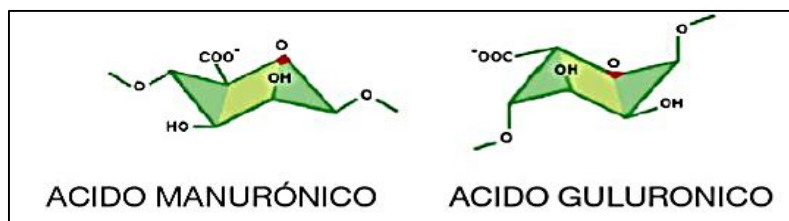


Figura 9: Estructura de los monosacáridos que conforman al alginato (Junter *et al.*, 2009).

Para poder formar un gel, los alginatos deben contener un nivel suficiente de ácido gulurónico (G) que pueda reaccionar con el calcio. La reacción con el calcio y su consecuente capacidad gelificante es una función que depende directamente del promedio de ácido gulurónico contenido (Avendaño *et al.*, 2013). En esta interacción tiene lugar un entrecruzamiento iónico entre los iones de calcio y las unidades de ácido gulurónico del alginato, dando lugar a un gel conocido como “modelo de caja de huevo” (Pedroza Islas, 2002)

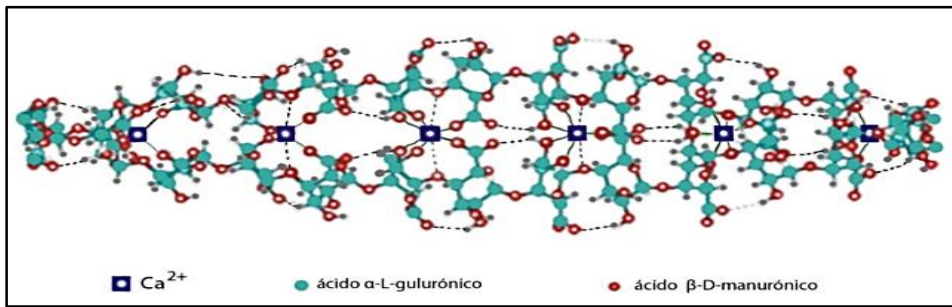
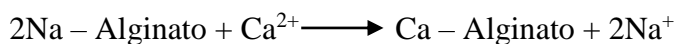


Figura 10: Modelo de Caja de huevo (Avendaño *et al.*, 2009).

El método consiste en suspender el compuesto que se va a encapsular en una solución acuosa de alginato sódico, adicionando la mezcla, mediante goteo, sobre una solución acuosa de  $\text{CaCl}_2$  que se encuentra sometida a una velocidad de agitación adecuada. Al entrar la gota de alginato sódico en contacto con  $\text{Ca}^{2+}$ , se produce la gelificación instantánea de la misma, obteniéndose una membrana o cubierta de alginato cálcico que es insoluble en agua pero permeable.

La reacción que tiene lugar es:



Al entrar en contacto con los iones calcio, el alginato forma un gel instantáneamente. Los iones se siguen difundiendo en el alginato, logrando que el gel se vaya endureciendo con el tiempo. Cabe mencionar que es posible manipular la dureza del gel formado modificando las condiciones de elaboración (temperatura, pH, concentración de iones, concentración de alginato, etc.) (Pedroza Islas, 2002).

#### 1.4.5. Propiedades del alginato

El alginato es un material encapsulante no tóxico utilizado en la encapsulación de sustancias debido a su capacidad de formar geles, esferas, micro y nanopartículas. Es beneficioso, en caso de ingestión como fibra diaria para la reducción de los niveles de azúcar y colesterol en sangre y la capacidad para prolongar la vida útil en productos (Hernández *et al.*, 2016). Es uno de los biopolímeros más versátiles y es ampliamente utilizado en la industria de alimentos y farmacéutica. Sus principales propiedades son: estabilizante, espesante, gelificante y formador de películas (Junter *et al.*, 2009).

Es un polisacárido que se obtiene de algunas “algas marrones”, algas de gran tamaño, entre las que se encuentran fundamentalmente *Laminaria hyperborea*, que prolifera en las costas de Noruega, donde incluso se recoge en forma mecanizada en aguas poco profundas (Valencia Álvarez, 2015).

El alginato, al ser un material polimérico biocompatible, no tóxico y degradable, resulta adecuado para muchas aplicaciones en la industria de alimentos. Diversas investigaciones demuestran que al ser un material natural disponible con múltiples ventajas y de fácil obtención, su aplicación para elaborar diferentes productos alimenticios es amplia y variada. La ventaja principal es que puede mantener sus propiedades funcionales durante el procesamiento y almacenamiento sin alterar el producto (Avendaño *et al.*, 2013).

### **1.5. Secado o proceso de deshidratación**

El secado es el proceso más antiguo utilizado para la preservación de alimentos, siendo uno de los métodos más comunes vigentes de mayor importancia en todos los sectores en la producción de productos sólidos. Las operaciones de deshidratado son importantes en la industria química y de alimentos. Su objetivo principal es remover el agua hasta un nivel en donde el crecimiento microbiológico y el deterioro por reacciones químicas sean minimizadas (Sierra *et al.*, 2011).

El conocimiento de las características de secado de los materiales es importante para obtener información sobre los mecanismos de transferencia de agua durante la deshidratación, pudiendo conducir esto a un diseño o a una selección más eficiente de secaderos así como la optimización de las variables de proceso (May *et al.*, 1999). Determinar las características de secado se vuelve entonces una necesidad preliminar para la selección de un posible tipo de secadero, su diseño y tamaño.

Un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado, se presentan dos subprocesos (Valencia *et al.*, 2015)

- ✓ Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie de éste y su subsecuente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad.
- ✓ Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie.

#### **1.5.1. Actividad de agua**

Las relaciones de equilibrio sólido-agua-aire que se presentan en sólidos higroscópicos influyen en los procesos de intercambio de agua sólido-aire que tiene lugar durante el secado (Paniagua Lurssen, 2006). Cuando un alimento húmedo se pone en contacto con el aire circundante, se establece un equilibrio entre ellos, y el contenido de humedad del alimento bajo estas condiciones se denomina contenido de humedad de equilibrio. Para alcanzar dicho

equilibrio, habrá una transferencia de masa de agua del alimento al entorno o viceversa, dependiendo de sus humedades.

La actividad de agua ( $a_w$ ) se define como la relación entre la presión de vapor de agua de un producto y la presión de vapor del agua pura ( $a_w = p/p_0$ ), a la misma temperatura, por lo tanto, la actividad de agua se usa para caracterizar el estado de equilibrio del agua en una matriz alimenticia que iguala la presión de vapor relativa de equilibrio del agua en la atmósfera circundante (Martínez Gamboa, 2015).

La actividad de agua desempeña un papel importante durante la deshidratación y el almacenamiento de materiales biológicos. Mediante el secado de los alimentos se logra reducir la  $a_w$  logrando obtener un producto más estable ya que se logra inhibir el crecimiento de microorganismos y algunas reacciones de alteración enzimática y químicas (Moreira *et al.*, 2008).

### **1.5.2. Isotermas de sorción.**

Para tener en cuenta el comportamiento de un producto alimenticio en todo el rango de humedades relativas en las cuales puede someterse durante el procesamiento, almacenamiento y distribución, es necesario establecer las isotermas de sorción, preferentemente a las temperaturas correspondientes. La isoterma de sorción muestra, a una temperatura constante, la relación entre el contenido de agua del producto y la humedad relativa del aire circundante (Montes *et al.*, 2009). La presencia de diferentes regiones en la curva de sorción sugiere la existencia de distintos tipos de unión del agua (Figura.11). El agua de la monocapa o agua ligada (región I), la cual es muy estable y se la puede considerar como parte constituyente del alimento, ya que no es congelable a ninguna temperatura. Luego, se tiene el agua de la región II y III de la isoterma, llamadas agua débilmente ligada y agua libre, respectivamente. El agua libre está contenida en los macrosporos del alimento y se encuentra disponible para las reacciones metabólicas y de crecimiento microbiano. Es la primera que se libera en los procesos de secado y congelación. Por otra parte, el agua débilmente ligada se halla unida a componentes como proteínas y carbohidratos y actúa como agente plastificante, promoviendo el hinchamiento de la matriz sólida.

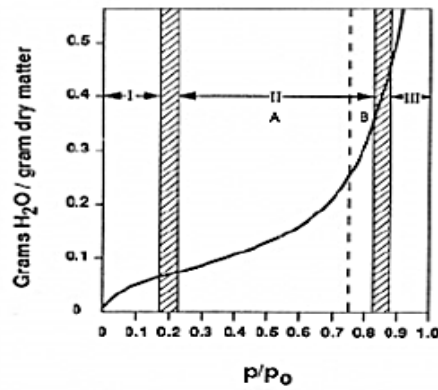


Figura 11: Zonas de las isothermas de sorción (Fennema, 2000)

El contenido de humedad en equilibrio de un material higroscópico generalmente decrece con el aumento de la temperatura y a su vez depende si el camino que sigue para alcanzar el equilibrio es por adsorción (ganancia de agua) o desorción (remoción de agua) (Badui Dergal, 2006).

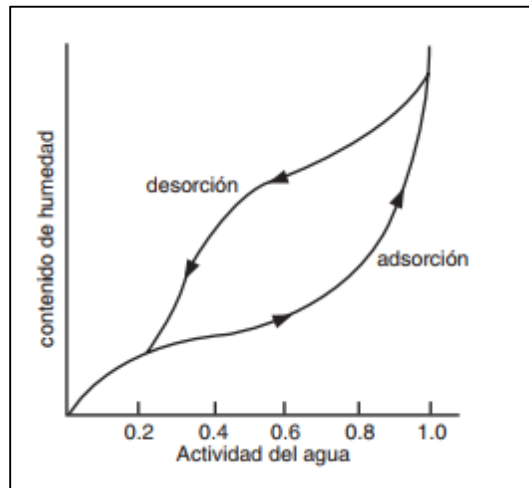


Figura 12: Curvas típicas de las isothermas de adsorción y desorción (Badui Dergal, 2006)

Según Brunauer *et al.*, (1940), las isothermas de sorción se clasifican en 5 tipos generales de acuerdo como se puede observar en la (Figura.13). La isoterma de tipo I es conocida como la de Langmuir (obtenidas suponiendo adsorción monomolecular del gas por la porosidad de los sólidos en un volumen finito de huecos), la isoterma de tipo II es de la forma sigmoideal (obtenida en productos solubles los cuales exhiben tendencia asintótica cuando la  $a_w$  se acerca a 1. La isoterma de tipo III conocida como isoterma de Flory-Higgins representa un solvente plastificante (como el glicerol) por encima de la temperatura de transición vítrea. Los alimentos ricos en componentes solubles tales como azúcares son del tipo III (Hadjikinova *et al.*, 2013). La isoterma de tipo IV describe la adsorción de un sólido hidrofílico maleable que alcanza un máximo de sitios de hidratación. La isoterma de tipo V es la isoterma de adsorción multicapa de BET “Brunauer, Emmett y Teller”. Los tipos I y II



están muy relacionados con los tipos IV y V, excepto que su adsorción máxima ocurre a una presión menor que la presión de vapor del gas.

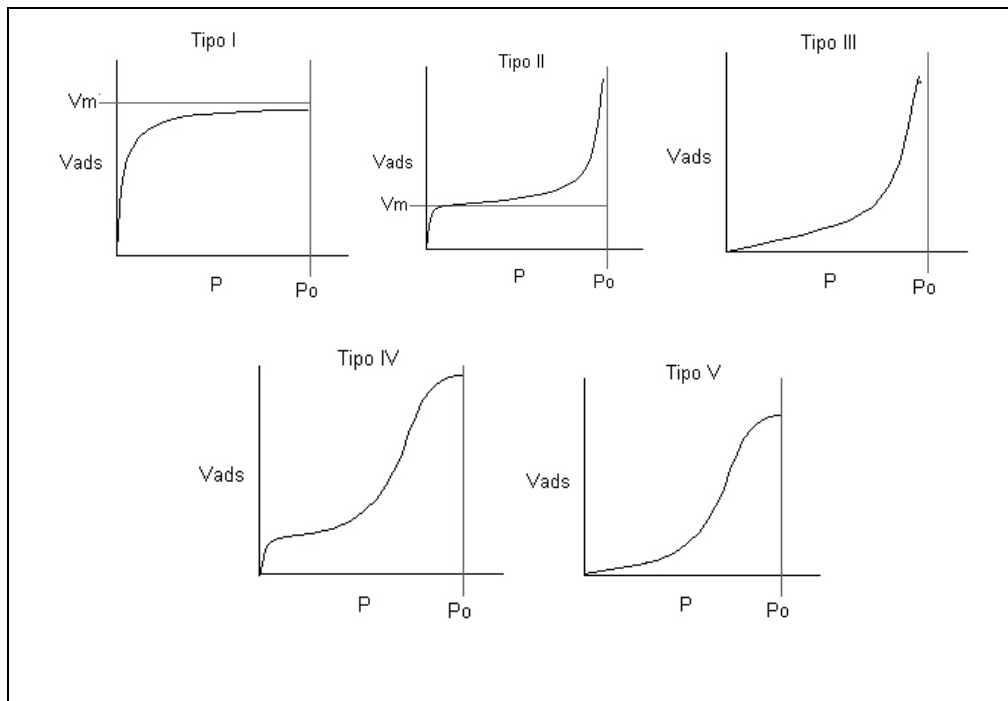


Figura 13: Clasificación de las isothermas de sorción (Brunauer, 1940)

Las isothermas de sorción son importantes por más de una razón. Desde el punto de vista termodinámico, brindan información sobre las entalpías de sorción y desorción, y el tipo de uniones entre el agua y la materia seca. En un nivel estructural, ayudan a comprender el rol del tamaño de la partícula, estado amorfo o área específica en la sorción del vapor de agua. En un aspecto tecnológico, son útiles en la predicción de la vida útil, en el control durante el proceso de secado, en la elección de material de empaque, entre otros (Mathlouthi, 2001). Son una herramienta de gran utilidad para el desarrollo de nuevos ingredientes y alimentos, la estimación de la vida útil y entender la influencia de la humedad en la integridad del producto final.

## 1.6. Color

El color de un alimento está influenciado por la absorción de la luz por las partículas de ese alimento y depende de las circunstancias bajo las cuales se ve el alimento, y la habilidad del alimento de reflejar, disipar, absorber o transmitir la luz visible.

Existen diferentes instrumentos que permiten la medida del color, sin embargo en la actualidad el más utilizado es el colorímetro Hunter. Este cuenta con una fuente luminosa constante, que hace incidir la luz en un ángulo de 45" sobre la muestra y hace pasar la luz

reflejada verticalmente a través de juegos de filtro y fotocélula, para dar los parámetros de L, a y b (Hasbun Chavarría, 2005).

Los parámetros de color, pueden ser medidos por diferentes escalas, como la XYZ, CIE Lab y CIE L\*a\*b\*, que a la vez se relacionan entre sí a través de fórmulas matemáticas.

Sin embargo a nivel industrial se recomienda utilizar la escala CIE L\*a\*b\* pues puede leerse directamente de un colorímetro moderno, es fácil de interpretar; los resultados de una medición permiten caracterizar más fácilmente un color, y por último hay relación matemática directa que permite calcular a partir de una medición los parámetros de tono ( $h^*$ ) y pureza de un color ( $C^*ab$ ) (Hunter Associates Laboratory, 1992).

Las funciones de color son valores que se obtienen por combinación matemática de los valores triestímulo, y que representan los atributos de color, según los distintos espacios cromáticos. Para describir un cambio de color se debe primero seleccionar la función más adecuada para ello, que es la que representa más sensiblemente la respuesta al cambio realizado en el producto (por ejemplo, pérdida o formación de pigmento). Entre ellas se encuentran ángulo de tono o matiz (Hue) el croma (Cr) y la diferencia total de color ( $\Delta E$ ).

El ángulo de tono (Hue) describe el tono (el atributo de que un color es identificado como verde, amarillo, rojo, etc.). El "Croma" (Cr) se define como la coloración (colorfulness) de un objeto en relación con el brillo de un objeto blanco iluminado de manera similar, lo que permite el hecho de que una superficie de una determinada pureza muestra cada vez más "color", con el aumento el nivel de iluminación. Estas funciones de color también son aplicables a la escala Hunter Lab. En la Fig. 14 se observa la representación gráfica de la relación entre el ángulo de tono, el croma y L.

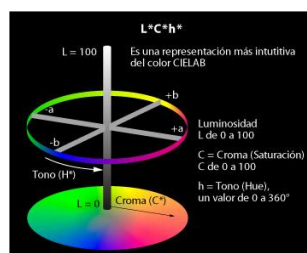


Figura 14: Escala de color de Hunter Lab

El color en los alimentos vegetales está dado por pigmentos tales como antocianinas, carotenoides (rojo a amarillo) y clorofilas (verde). La naturaleza de los pigmentos varía según sus propiedades físicas y químicas. El secado afecta las características superficiales del alimento y por lo tanto la reflectividad y el color.

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Material

En todas las experiencias, se utilizó como material de trabajo yerba mate en forma de cocido tradicional instantáneo adquirida en el mercado local de la ciudad de Encarnación durante el año 2017.

### 2.2. Preparación de extracto acuoso a partir de yerba mate cocido instantáneo.

Se prepararon mezclas con diferentes concentraciones (15, 20 y 25%) p/v de yerba mate en forma de cocido tradicional instantáneo el cual fue completamente disuelto en agua destilada con agitación lenta para evitar la formación de espuma, la concentración del extracto seleccionada para encapsular fue al 15% p/v debido a que resultó menos viscosa en comparación con las otras concentraciones.

### 2.3. Preparación de las Cápsulas

Para la preparación de las cápsulas, se siguió la metodología propuesta por López *et al.*,(2012). Se utilizó como material encapsulante alginato de sodio, a una concentración del 2% p/v, el cual fue disuelto en el extracto acuoso de yerba mate al 15% p/v, obteniéndose así, la solución de partida para la encapsulación. La formación de cápsula se llevó a cabo mediante la gelificación iónica por goteo en una solución de  $\text{CaCl}_2$  al 3% utilizando una bureta. Las cápsulas permanecieron en la solución de cloruro de calcio durante aproximadamente 10 min, luego fueron filtradas y lavadas con agua destilada para posteriormente secarlas.



Figura 15: Encapsulación por gelificación iónica

#### 2.4. Cinética de secado de las cápsulas

Los datos de las curvas experimentales de secado se obtuvieron utilizando dos tipos de secado “convectivo de circulación transversal” y un “horno microondas” en la planta piloto de la FCEQyN. Para el primer sistema de secado se trabajó con dos temperaturas, 60°C y 80°C y en ambos casos la velocidad del aire fue de 1,5 m/s. Para medir la velocidad del aire se utilizó un medidor de velocidad marca Testo, modelo 512 industria alemana y la temperatura fue medida con un termómetro de 751MM mm Hg marca Luft, industria alemana.

Las cápsulas se colocaron en una canasta formando una capa delgada; se pesó la muestra inicial y fue llevada al secadero. Los datos experimentales se obtuvieron durante el transcurso del secado pesando las muestras en una balanza marca SARTORIUS–WELKE GMBH tipo 2257, industria alemana, con una precisión de  $\pm 0,01$  g a intervalos de 10 minutos hasta aproximadamente peso constante. Luego se determinó el contenido de humedad final de las muestras secas  $X_f$  (kg agua/kg sólido seco) y se calculó la masa seca ( $M_s$ ) de la muestra usando la siguiente ecuación:

$$M_s = \frac{M_f}{(1 + X_f)}$$

Donde  $M_f$  es la masa al final de la experiencia de secado. A partir de la variación de peso en función del tiempo y el contenido final de humedad ( $X_f$ ) se pueden obtener datos del contenido de humedad ( $X$ ) a diferentes tiempos usando la siguiente ecuación:

$$X = \frac{(M_t - M_s)}{M_s}$$

Donde  $X$  es el contenido de humedad en kg agua/kg de sólido seco y  $M_t$  es la masa, ambos al tiempo  $t$ . Las experiencias se realizaron por triplicado para cada temperatura de secado.

Para el secado con el horno microondas se trabajó con 15 gramos de cápsulas colocadas en una bandeja de vidrio y fueron secadas a 90 watt, la mismas fueron pesadas cada 5 minutos hasta aproximadamente peso constante.

## 2.5. Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad se utilizó el método de pérdida de masa en estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  hasta pesada constante (aproximadamente 5 horas). Se determinó el peso de las muestras antes y después de ser llevadas a estufa en una balanza analítica (precisión  $\pm 0,0001\text{g}$ ), (Garcia *et al.*, 2010).

## 2.6. Isotermas de adsorción.

Para determinar las isotermas de adsorción de las cápsulas se utilizó el método estático; el cual consiste en exponer las diferentes muestras a atmósferas con diferentes actividades de agua ( $a_w$ ) a una temperatura determinada. Para ello las mismas fueron introducidas, por triplicado, en recipientes cerrados con diferentes soluciones salinas saturadas en equilibrio con el líquido, las cuales generaban atmósferas de una  $a_w$  determinada.

Los recipientes se dispusieron en una estufa a  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , donde permanecieron hasta alcanzar el equilibrio (aproximadamente 15 días). Luego se determinó el contenido de humedad de las muestras. Las sales utilizadas, así como el valor de  $a_w$  utilizadas se presentan en la Tabla 5

Tabla 5: Rango de actividades de agua ( $a_w$ ) de las soluciones salinas saturadas a  $25^{\circ}\text{C}$ .

Sales	Compuestos	$a_w$
LiCl	Cloruro de litio	0,113
MgNO <sub>3</sub>	Nitrato de Magnesio	0,528
CoCl <sub>2</sub>	Cloruro cobaltoso	0,649
NaBr	Bromuro de sodio	0,575
NaNO <sub>3</sub>	Nitrato de sodio	0,742
NaCl	Cloruro de sodio	0,752
KCl	Cloruro de potasio	0,843

Fuente: (Garcia *et al.*, 2010)

## 2.7. Modelado de las isotermas de sorción

Los datos experimentales se ajustaron a las ecuaciones de GAB (Guggenheim, Anderson y de Boer), Halsey y Henderzon (Tabla 6). La calidad del ajuste de los modelos propuestos se evaluó por medio del coeficiente de correlación ( $R^2$ ). Aplicando un procedimiento de regresión no lineal utilizando el programa Statgraphics Centurion XVII.

Tabla 6: Ecuaciones utilizadas para el modelado de las isotermas de sorción.

Modelo	Ecuación	Parámetros
<b>GAB</b>	$X = \frac{X_m C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)}$	<p>X: humedad del producto</p> <p>X<sub>m</sub>: humedad del producto cuando los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua</p> <p>C: constante de Guggenheim relacionada con el calor de sorción de la monocapa</p> <p>K: factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa</p>
<b>Halsey</b>	$X = \left( \frac{A}{\ln\left(\frac{1}{aw}\right)} \right)^{1/B}$	<p>A y B: constantes del modelo.</p> <p>B: caracteriza el tipo de interacción entre el vapor y el sólido</p>
<b>Henderson</b>	$1 - aw = e^{-kX^n}$	<p>Donde k y n son constantes</p>

Fuente (Gálvez *et al.*, 2006).

## 2.8. Determinación del contenido de polifenoles totales (PT) de las cápsulas.

- Extracción de polifenoles de las cápsulas

Las cápsulas fueron trituradas en un molino de acero inox (marca Arcano) luego se tamizó utilizando una malla de 420 micra, se pesaron  $0,2 \pm 0,01$  g de muestras tamizadas que fueron introducidas en tubos cónicos para luego agregar 5 mL de metanol al 70 %, la mezcla se homogeneizó en Vortex unos segundos para luego llevarla a un baño termostático a 70°C durante 5 minutos. Se dejó enfriar y se centrifugó a 2.052 g (3500 rpm) durante 10 minutos. El sobrenadante fue retirado y reservado en un tubo graduado. El proceso de extracción se

realizó nuevamente y el sobrenadante obtenido fue combinado con el ya reservado. El volumen final de los extractos combinados fue llevado a 10 mL con metanol al 70%.

- Contenido de polifenoles totales.

El contenido de polifenoles totales (CPT) fue determinado mediante el método de Folin Ciocalteu. Esta prueba está basada en la oxidación de los grupos fenólicos con los ácidos fosfotúngstico y fosfomolibdico. Como resultado de la reacción se forma un complejo verde azulado. Para el análisis se tomaron 1 mL del extracto y se realizó una dilución (1:100) con agua destilada. Se tomó 1,0 mL y se colocó en un tubo de ensayo. Se agregó 5,0 mL de la solución del reactivo de Folin- Ciocalteu y luego 4,0 mL de la solución de carbonato de sodio. Los tubos se agitaron, se taparon y se dejaron reposar durante 60 minutos a temperatura ambiente antes de realizar las lecturas de absorbancia. Como blanco de reactivos se reemplazó 1,0 mL del extracto diluido por agua destilada.

Las lecturas de absorbancia se realizaron a 765 nm usando una cubeta de cuarzo de 1 cm. La curva de calibración se preparó con ácido gálico entre 0- 50 µg equivalentes/mL. Se realizaron dos determinaciones analíticas por extracto. La concentración de polifenoles totales en el extracto original se expresó como g de polifenoles totales equivalentes a ácido gálico en 100 g de materia seca (g EAG % ms) de acuerdo al método descrito en la norma ISO/FDIS 14502-1(E) (2004). la técnica fue utilizada por los siguientes autores en extracto de yerba y té (Singleton, *et al.*, 1998; Ugartondo Casadevall, 2009; López *et al.*, 2012; Thea, Ana *et al.*, 2012).

## **2.9. Determinación de la capacidad antioxidante.**

La capacidad antioxidante se determinó mediante el ensayo del radical libre DPPH, usando ácido ascórbico como estándar y se expresó como g equivalentes a ácido ascórbico por cada 100 g de la materia seca (g EAA % ms). Para ello, 1 mL de cada extracto de cápsulas de yerba mate obtenido fue diluido (1:25) con agua destilada. Luego, se mezclaron 100 µL de cada extracto de yerba mate diluido con 3 mL de una solución metanólica de DPPH (100 µL/L) en un frasco de color caramelo. Los frascos de reacción se incubaron en estufa a 37 °C durante 2 h. Las lecturas de absorbancia se realizaron a 517 nm usando una cubeta de cuarzo de 1 cm de camino óptico y como blanco se reemplazó los 100 µL de cada extracto diluido por metanol. La curva de calibración preparada con concentraciones de ácido ascórbico entre 0 y 100 µg equivalentes/L resultó  $y = -0,0421 * x + 1,033$  ( $R^2 = 0,9988$ ), siendo x la cantidad del estándar (µg) utilizada en el ensayo

## 2.10. Velocidad de rehidratación

La determinación se llevó a cabo en muestras secadas tanto en horno microonda como en el secado convectivo a las dos temperaturas (60 y 80°C). Para la rehidratación las cápsulas fueron sumergidas en agua contenidas en un tamiz colador, en un baño de agua a temperatura ambiente. Se extrajeron muestras del baño de agua en diferentes períodos de tiempo (5,10, 20, 30 minutos). Luego las mismas fueron secadas con un papel servilleta para retirar los restos de agua excedente y pesar. La velocidad de rehidratación se obtuvo dividiendo la ganancia de agua del material rehidratado por el del material seco. (Krokida *et al.*, 2003). Las mediciones se realizaron por triplicado para cada muestra. La ganancia de agua se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Pmr - Pms}{Pms}$$

Donde W (kg agua/kg sólido) es la ganancia de agua obtenida de los datos experimentales, Pmr es el peso de la muestra rehidratada (kg), Pms es el peso inicial de la muestra seca (kg).

Los valores de ganancia de humedad obtenido fue ajustado al modelo matemático de Pilosof, *et al.*,(1985). Puede utilizarse para ajustar los datos experimentales de ganancia de agua en función del tiempo.

$$w = \frac{(Q \times ts)}{(b + ts)}$$

Donde W (kg agua/kg sólido) es la cantidad de agua absorbida en el tiempo t (minutos), Q es el contenido de agua adsorbida en el equilibrio en las mismas unidades, y b es el tiempo (minutos) requerido para absorber la mitad de la cantidad máxima de agua.

## 2.11. Determinación de Calcio

Para medir la concentración iónica de Ca, (AOAC, 1995) se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (Marca Analyst 200, Perkin Elmer) y se trabajó a una longitud de onda de 422.7 nm. Se realizaron dos mediciones para cada tipo de cápsulas y se informaron los valores medios. Basado en la metodología utilizado en el trabajo de Schmalko *et al* (2012) determinación de minerales



## **2.12. Medición de los parámetros de color**

Para la medición del color se utilizó las cápsulas secadas tanto en microonda y secado convectivo a 60 y 80°C. Se colocó una porción de cada muestra en un platillo de vidrio y se determinaron los parámetros de color: luminosidad ( $L^*$ ), rojo-verde ( $a^*$ ) y amarillo-azul ( $b^*$ ) con un colorímetro modelo EZ4500L Mini Scabde Hunter Lab girando el platillo 3 veces en sentido horario. Para el análisis de los datos se utilizaron los valores medios de tres réplicas por muestra

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Obtención de cápsulas

Se obtuvieron cápsulas de alginato de calcio conteniendo extracto de yerba mate ricos en polifenoles, aplicando la técnica de gelificación iónica. El tamaño de las cápsulas obtenidas y su forma esférica fueron poco uniformes, debido a que hay varios factores que influyen como el efecto de la gravedad, la tensión superficial de la solución que induce la gelificación y el tamaño de la boquilla de la bureta que fueron determinantes para la variación de la forma esférica y el tamaño de las cápsulas obtenidas. En la Figura 16, se pueden observar las cápsulas. Otro factor determinante fue la concentración del cloruro de calcio que determina la firmeza de las cápsulas (Castillo *et al.*, 2017).



Figura 16: A y B: Encapsulados de extractos de yerba mate

Las cápsulas obtenidas con la matriz de alginato presentaron pequeños poros en las superficies.

De acuerdo con otros trabajos realizados, las cápsulas de alginato presentan rango de porosidad comprendida entre 5 a 200 nm, el mismo es un factor importante en la determinación de la liberación del componente bioactivo, a partir del alginato, la porosidad se puede reducir de manera significativa por secado parcial de las cápsulas o deshidratación completa (Fundueanu *et al.*, 1999; George *et al.*, 2006). Según revisiones bibliográficas, la limitante de las cápsulas de alginato, es la pérdida del componente bioactivo durante la preparación de las perlas, por lixiviación a través de los poros de las cápsulas por lo que muchas veces los alginatos son mezclados con otros polímeros (López *et al.*, 2012; López-

Córdoba, 2012). En el presente trabajo las cápsulas fueron secadas al corto tiempo de la formación pudiendo esto reducir las probables pérdidas del componente bioactivo.

## 5.2. Cinética de secado de las cápsulas

En la Tabla 7 se presentan los datos experimentales obtenidos de los valores de humedad  $X_{bs}$ , (kg agua/kg sólido seco) en función del tiempo (min) de las cápsulas secadas en microonda y secado convectivo a 60 y 80 °C.

Tabla 7: Contenidos de humedad (kg agua/kg sólido seco) en función del tiempo (min)

Microonda		Secado a 60°C		Secado a 80°C	
Tiempo	$X_{bs}$ (kg agua/kg ss)	Tiempo	$X_{bs}$ (kg agua/kg ss)	Tiempo	$X_{bs}$ (kg agua/kg ss)
0	6,25	0	7,24	0	7,00
5	5,76	15	3,63	10	4,84
10	5,15	30	1,64	20	2,30
15	4,58	45	0,83	30	1,24
20	4,01	60	0,44	40	0,59
25	3,43	75	0,17	50	0,19
30	2,96	90	0,09	60	0,09
35	2,45	105	0,06	70	0,03
40	2,09	120	0,02	80	0,00
45	1,75	135	0,00	90	0,00
50	1,49	150	0,00	100	0,00
55	1,24	165	0,00		
60	1,04	180	0,00		
65	0,84				
70	0,69				
75	0,56				
80	0,42				
85	0,3				
90	0,21				
95	0,12				
100	0,07				
105	0,07				

En la figura 17 se muestran las curvas de secado en función del tiempo para las tres condiciones de secado utilizadas.

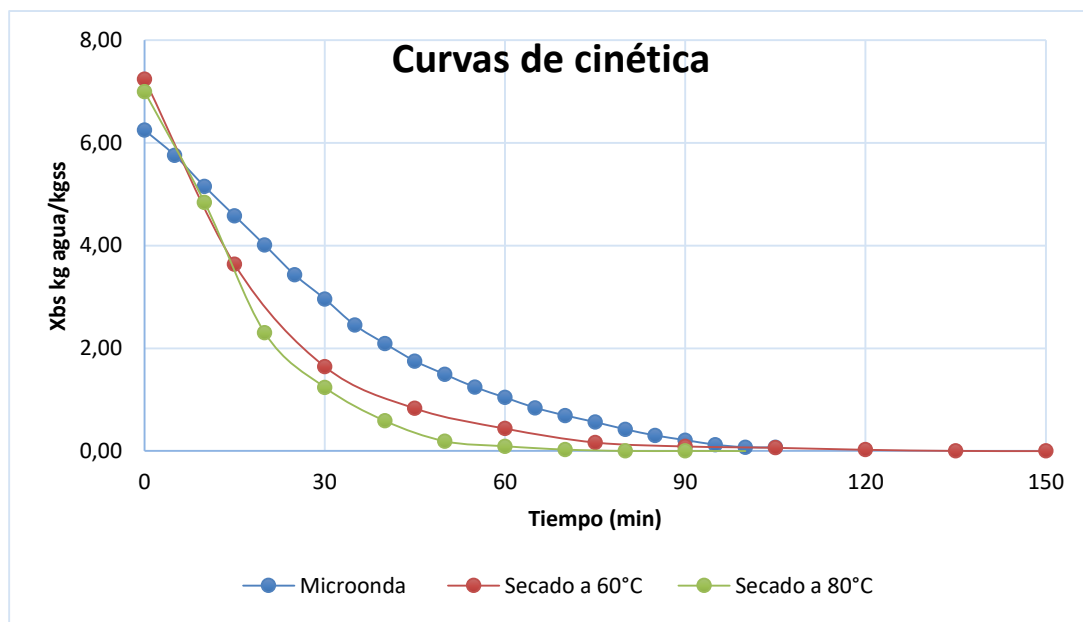


Figura 17: Curvas de cinética de secado de las tres condiciones

Las cápsulas presentan un comportamiento similar, con una alta velocidad de secado inicial seguida por una etapa más lenta desde aproximadamente los 50 minutos, para llegar finalmente a un tiempo donde las variaciones del contenido de humedad son muy bajas. En el caso del secado en el horno microonda la humedad permanece constante a partir de los 100 minutos. Para el secado convectivo a 60°C, a los 135 minutos, mientras que para el secado convectivo a 80°C a los 80 minutos. En el secado convectivo se puede observar que la cinética fue influenciada por la temperatura y que el empleo de temperaturas más elevadas redujo significativamente el tiempo necesario para secar las cápsulas. Sin embargo se observó un mayor encogimiento en el tamaño de las cápsulas en comparación con el secado en microonda.

Doymaz (2005), quien trabajo con ají encontró que el efecto de la temperatura fue el más relevante en la disminución del contenido de humedad. De acuerdo con la teoría de la cinética, el aumento de la energía de las moléculas de agua es mayor con la temperatura del aire, generando un escape del vapor de agua de manera fácil y rápida hacia el medio (Rodríguez, 2014). En cuanto a lo que respecta a la cinética en microonda la temperatura de secado y la potencia son dos de los factores más importantes en el secado por microondas.

Estos dos factores tienen influencia significativa sobre los parámetros de secado como el tiempo de secado (Correa *et al.*, 2012).

### 5.3. Modelado de curvas de secado.

Los datos experimentales obtenidos de la cinética fueron ajustados a tres modelos diferentes: Lewis, Page y Henderson y Pabis. Estos modelos matemáticos fueron utilizados por otros autores para el estudio de la cinética de secado (Montes Montes *et al.*, 2008; Garcia *et al.*, 2010)

En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos en los ajustes de los tres modelos matemáticos a los datos experimentales de cinética de secado realizado en microonda (MO) y secado convectivo (SC) a 60 y 80°C, con sus respectivas constantes y los valores de coeficiente de correlación ( $R^2$ ).

Tabla 8: Valores de los parámetros cinéticos de cada modelo para el material secado.

Modelos	Tratamiento	Ecuación	Coeficiente	Constantes		
			$R^2$	K	A	N
Lewis	MO	$MR = e^{-k*t}$	97,27	0,0351		
	SC60°C		99,89	0,0480		
	SC80°C		98,96	0,0714		
Page	MO	$MR = e^{-k*t^n}$	<b>99,58</b>	<b>0,143</b>		<b>0,607</b>
	SC60°C		<b>99,77</b>	<b>0,094</b>		<b>0,641</b>
	SC80°C		<b>99,66</b>	<b>0,062</b>		<b>0,763</b>
Henderson y Pabis	MO	$MR = a_a * e^{-k*t}$	95,26	0,040	1,485	
	SC60°C		99,63	0,048	0,999	
	SC80°C		98,47	0,078	1,454	

Los modelos de Lewis, Page y Henderson y Pabis describen satisfactoriamente las curvas de secado a las condiciones estudiadas, ya que sus valores de coeficiente de correlación ( $R^2$ ) fueron superiores a 95%. Sin embargo, el modelo de Page fue el que mejor ajustó los datos, debido a que presentó los mejores valores de coeficiente de correlación ( $R^2$ ).

Se ha encontrado buenos ajustes utilizando el modelo Page en la predicción de secado de cereales (Iguaz *et al.*, 2003). Las constantes empíricas de este modelo, k y n, han sido

correlacionados con las diferentes variables del proceso (temperatura y velocidad del aire, contenido de humedad inicial, entre otros) (Simal *et al.*, 2005)

Utilizando el modelo de Page, se determinaron los límites de confianza de las dos constantes para observar si existen diferencias entre las curvas de secado. Para que no existan diferencias entre las curvas, no deben existir diferencias significativas entre las dos constantes del modelo. En la Tabla 9 se presentan los valores medios y límites de confianza para las constantes “K” y “N” del modelo de Page. De acuerdo a los resultados obtenidos, existen diferencias significativas entre los tres valores de “K”; mientras que en el valor de “N”, el valor de SC80°C es diferentes a SC60°C y MO, quienes no difieren entre sí. No obstante, se puede concluir que existen diferencias entre las tres curvas de secado.

Tabla 9: Límites de confianza para modelo Page.

Tratamiento	L.c.k			L.c.n		
MO	0,119	0,143 ± 0,024	0,167	0,568	0,607 ± 0,039	0,646
SC60°C	0,085	0,094±0,0095	0,104	0,618	0,641± 0,023	0,664
SC80°C	0,048	0,062±0,0135	0,077	0,712	0,763± 0,051	0,814

#### 5.4 Isotermas de absorción

Los valores obtenidos de humedad de equilibrio a 25°C de las cápsulas de alginato secada con microonda y secado convectivo a 60 y 80°C se presentan en la Tabla 10. El contenido de humedad para cada  $a_w$  representa el valor medio de tres repeticiones con sus respectivas desviaciones estándar.

Tabla 10: Contenidos de humedad en equilibrio de las cápsulas secadas en microonda, y secado convectivo a 60 y 80°C.

$a_w$	Humedades(kg agua/ kg sólido seco)		
	MO	SC60°C	SC80°C
0,113	4,08 ± 0,127	5,87± 0,111	5,88 ±0,116
0,528	8,13 ± 0,242	8,69± 0,086	8,69 ±0,173
0,649	9,87 ± 0,159	10,41± 0,274	10,03 ±0,103
0,575	13,49 ± 0,275	13,83± 0,086	14,16 ±0,193
0,742	18,49 ± 1,054	17,35± 0,284	17,47 ±0,212
0,752	19,80 ± 0,684	18,86± 0,180	18,90 ±0,433
0,843	24,96 ± 0,429	26,97± 0,221	25,58 ±0,313

#### 5.4. Ajuste al modelo

Los datos experimentales obtenidos para las isothermas de sorción fueron ajustados a tres modelos diferentes: GAB, Halsey y Henderson. En la Tabla 11 se presentan los resultados, con sus respectivas constantes y los valores de coeficiente de correlación ( $R^2$ ). Se encontró que el modelo de GAB mostró el mejor ajuste a los datos experimentales, con mayores coeficientes de correlación para todos los tratamientos analizados, en un rango de  $0,11 < a_w < 0,85$ , a  $25^\circ\text{C}$  aplicando un procedimiento de regresión no lineal, en todos los caso se obtuvo un ajuste con  $R^2 > 91\%$  mientras que para el modelo de Halsey y Henderson se encontraron valores de coeficientes de correlación más bajos.

El modelo GAB es uno de los modelos más aceptados para las isothermas de sorción, ya que no solo brinda el valor de humedad de la monocapa ( $X_m$ ), sino que también se puede conocer las energías de interacción entre la primera capa y las moléculas más lejanas a los sitios individuales de sorción (constantes C y K del modelo). (Rubiano *et al.*, 2015)

Tabla 11: Parámetros de los modelos matemáticos ajustados para la isoterma de sorción de las cápsulas.

<b>Modelo GAB</b>				
Tratamiento	$X_m$	C	K	$R^2$
MO	5,36	14,18	0,94	91,99
SC60°C	4,80	8,94	0,97	94,20
SC 80°C	6,74	5,39	0,89	94,03
<b>Modelo Halsey</b>				
	A	R	$R^2$	
MO	10,71	1,25	92,42	
SC60°C	21	1,48	88,54	
SC80°C	21,29	1,49	86,94	
<b>Modelo Henderson</b>				
	K	N	$R^2$	
MO	0,02	1,34	85,12	
SC60°C	0,01	1,53	75,45	
SC80°C	0,01	1,54	74,81	

$X_m$ , contenido de humedad de la monocapa; c, k, a, r, K, N, son los parámetros de ajuste correspondientes a cada modelo.

Los resultados obtenidos en este trabajo con relación al ajuste del modelo de GAB están de acuerdo con los valores límites de las constantes C y K sugeridos por (Lewicki, 1997), basado en el análisis matemático del modelo. Como forma de garantizar una buena descripción de las isotermas del tipo sigmoideal, este autor establece que las constantes deben asumir valores en un rango entre  $0.24 \leq K \leq 1$  y  $5.67 \leq C \leq \infty$ .

El valor verdadero de la humedad de la monocapa ( $X_m$ ) es de interés particular, ya que este indica la cantidad de agua que está fuertemente adsorbida en sitios específicos de la superficie del alimento y es considerado como el valor óptimo para asegurar su estabilidad. Para las cápsulas con los diferentes tratamientos, los resultados presentan valores de  $X_m$  en el rango entre 4.80 – 6.74 kg de agua/100kg de sólido seco (Tabla 11).

En el trabajo realizado por Hartwig, (2015) se reportan valores de  $X_m$  para isoterma a 20, 30, 40, 50°C y aplicando el modelo de GAB en hoja y palo de yerba mate estacionada comprendido en un rango de 4,11 y 5,39 kg de agua/100 kg de sólido seco para la fracción hoja y entre 5,30 y 5,95 kg de agua/100kg de sólido seco para la fracción de palo. Estos valores se aproximan a los valores encontrados en las cápsulas de alginato considerando que la yerba mate soluble utilizado como materia prima en el trabajo se extrae de la canchada estacionada.



### 5.5. Gráficos de las isotermas ajustadas al modelo GAB.

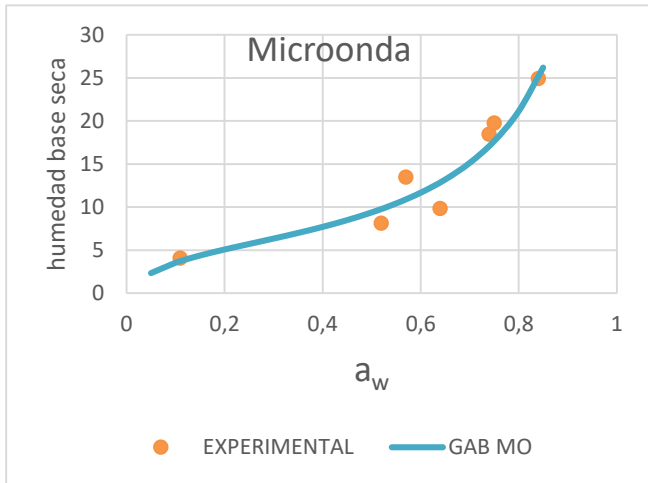


Figura 18: isoterma a microonda ajustado al modelos GAB.

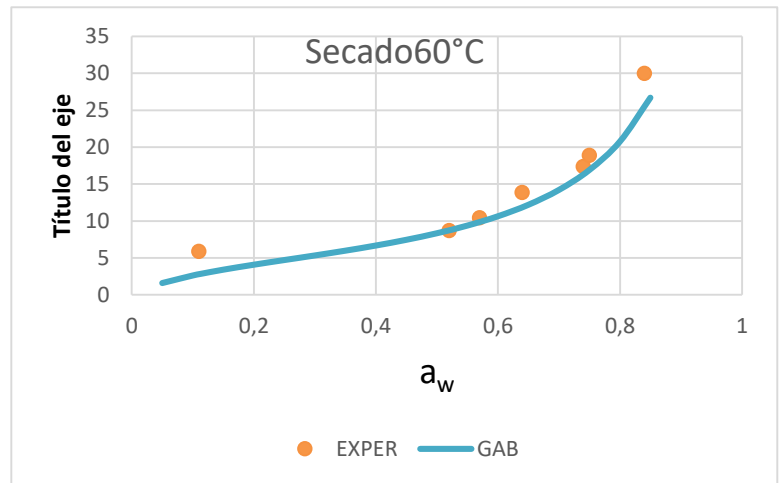


Figura 19: isoterma a 60°C ajustado al modelos GAB.

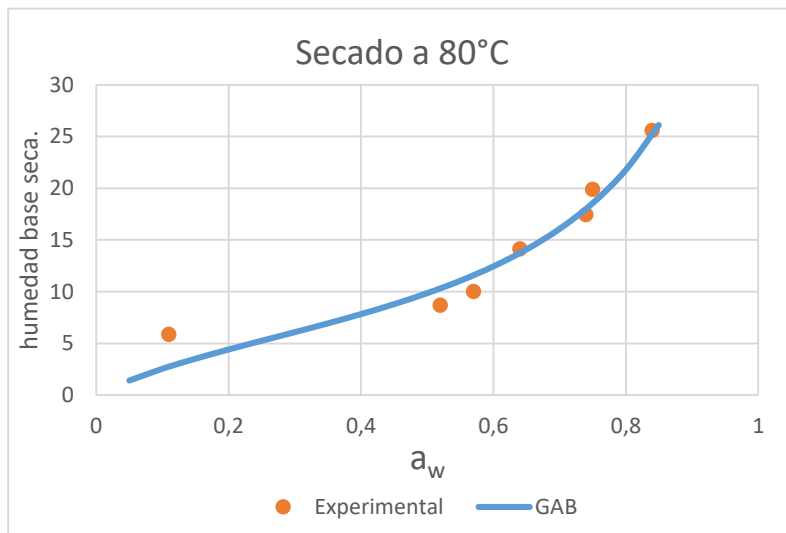


Figura 20: isoterma a 80°C ajustado al modelos GAB

En la Figura 18, 19 y 20, Se observan las formas de las isothermas para las tres condiciones de secado. En todos los casos fueron del tipo II, sigmoideas según lo establecido por la clasificación de Brunauer *et al.*, (1940). Estas Isothermas son características de productos solubles con alto contenido de hidratos de carbono o en los sistemas constituidos por gomas o gelatina y agua. Se puede decir que las cápsulas presentan una tendencia asintótica a medida que aumenta la actividad acuosa característica de materiales con baja absorción de agua o bajas actividades acuosas, que luego incrementan su contenido de humedad (Cerviño *et al.*, 2016).

De los gráficos de las isothermas se obtuvieron los valores de humedades a los que se pueden almacenar las cápsulas de antioxidantes para que sean microbiológicamente estables a partir de la actividad de agua con valor 0,6, encontrándose valores de 11,66 kg agua/kg ss para secado en microonda, 10,36 kg agua/kg ss, para secado convectivo a 60°C y 12,45 kg agua/ kg ss (sólido seco) para secado convectivo a 80°C. En todos los casos el contenido de humedad debe ser inferior a estos valores para almacenar en condiciones seguras. Las cápsulas elaboradas en las tres condiciones presentaron valores de humedad menores a los límites establecidos encontrándose valores de 9,81 kg agua/kg ss para microonda, 10,05 kg agua/kg ss para secado convectivo a 60°C y 7,29 kg agua/kg ss para secado convectivo a 80°C.

#### **5.6. Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante.**

Los resultados de contenidos de polifenoles totales y capacidad antioxidantes de las cápsulas sometidas a los tres procesos de secado se presentan en la Tabla 12. En la misma se muestran los valores medios y las desviaciones estándar. De acuerdo a estos valores, se puede observar que el tipo de secado no ejerce una influencia significativa sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidantes de las cápsulas. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el trabajo realizado por Escalada *et al.*, (2011) donde estudiaron los efectos de la zona de cultivo, tipo de secado y época de cosecha sobre los contenidos de polifenoles totales y sobre la Capacidad Antioxidante en yerba mate llegando a la conclusión que el tipo de secado no influye en los contenidos de polifenoles.

Tabla 12: Valores de polifenoles totales, capacidad antioxidante con sus desvió estándar.

Tratamiento	CPT	CAO
MO	19,68 ± 0,81	19,45 ± 0,80
SC60°C	19,93± 0,19	21,93 ± 0,48
SC80°C	20,12 ± 0,46	20,47 ± 0,67

CPT: Contenido de polifenoles totales (g EAG/100g muestra seca), CAO: Capacidad antioxidante (g EAA/100g muestra seca),

En el trabajo realizado por Rozek *et al.*, (2008) donde estudió el efecto del secado convectivo en la estabilidad de los compuestos fenólicos añadidos a alimentos sólidos mediante deshidratación osmótica, llegaron a la conclusión que el secado convectivo no tiene un efecto significativo en la degradación térmica de los compuestos antioxidantes.

Según Butiuk (2016) el ácido clorogénico y sus derivados son los compuestos fenólicos con mayor influencia en la capacidad antioxidante del extracto de yerba mate. Murakami *et al.*, (2004), analizaron la estabilidad de diferentes polifenoles frente al tratamiento térmico y encontraron que el ácido clorogénico era el más estable dentro de los compuestos analizados. Al tratar térmicamente este compuesto a 100 °C, luego de 6 h, los valores de contenido de polifenoles totales y de actividad antioxidante permanecieron prácticamente constantes a esa temperatura. Al repetir la experiencia térmica a 180° C luego de 15 minutos, la actividad antioxidante disminuyó un 20 % y el contenido de polifenoles totales permaneció cercano al 100 %, a pesar de que el contenido de ácido clorogénico disminuyó (30 %). Esto implicaría que a 180°C parte del ácido clorogénico se descompone, pero sus productos de descomposición siguen siendo reactivos al reactivo de Folin-Ciocalteu y algunos de ellos también poseen actividad antioxidante pudiendo ser esta la explicación del porque el secado no influye significativamente en los compuesto bioactivo de la yerba mate.

En el trabajo realizado por Hartwing (2015), donde se determinó el contenido de polifenoles en extracto de yerba mate comerciales, se encontró una variación entre 8.7 y 10.7 g EAG/100g muestra seca y el contenido de capacidad antioxidante en yerba mate canchada se encontró un valor comprendido entre 21,23 y 31,53 gEAA/100g muestra seca.

La cuantificación de polifenoles en vegetales está influenciado por numerosos factores, tales como su naturaleza química, el método de extracción utilizado (polaridad de la fase extractiva, tamaño de las partículas de las muestras, tiempo y temperatura de extracción, etc.), el tiempo y condiciones de almacenamiento tanto de las muestras como de los extractos,

el método de ensayo empleado, los estándares elegidos, y la presencia de sustancias que interfieren en las determinaciones (Huang *et al.*, 2005; Kuskoski *et al.*, 2005).

Estudios realizados por Floegel *et al.*, (2011); Terpinic *et al.*, (2012) han demostrado una relación importante entre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de yerba mate por lo que las cápsulas de antioxidante obtenidas en este trabajo, pueden ser una alternativa para sustituir a los aditivos sintéticos butil-hidroxi-tolueno (BHT) y butil-hidroxi-anisol (BHA) que son los antioxidantes mayormente empleados por la industria de alimentos, debido a su alto grado de estabilidad, eficacia y ventaja económica. Sin embargo, estudios toxicológicos han vinculado estos compuestos con efectos negativos sobre la salud (López Córdoba, 2014). Por esa razón, el interés por el uso de sustancias de origen natural se ha incrementado en los últimos años y el estudio realizado por Dudonné *et al.*, (2009) posicionan a los extractos acuosos de yerba mate entre los cinco extractos de plantas con mayor capacidad antioxidantes de 30 plantas seleccionados.

### 5.7. Velocidad de Rehidratación

La rehidratación tiene un impacto importante sobre las propiedades nutritivas y sensoriales en los alimentos, en el fenómeno de la rehidratación existen tres procesos simultáneos: a) la absorción de agua dentro del material deshidratado, b) la pérdida de solutos al medio y c) el hinchamiento del material, donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su tamaño y volumen inicial (García *et al.*, 2016). En la tabla 13 se presenta los valores de ganancia de agua W (kg agua/kg sólido) de las cápsulas realizada a 25°C en los tres sistemas de secado.

Tabla 13: Valores de ganancia de agua (W) en función al tiempo (min).

Tiempo	WMO	WSC60°C	WSC80°C
0	0,055	0,103	0,047
5	1,841	0,816	0,800
10	1,918	1,321	1,039
20	1,965	1,451	1,490
30	2,287	1,899	1,624

Los datos experimentales obtenidos de la ganancia de agua fueron ajustados al modelo matemático Pilosof *et al.*, (1985). Cuyas constantes se presentan en la Tabla 14 para las tres condiciones de secados de las cápsulas.

Tabla 14: Constantes del modelo de Pilosof para las Cápsulas de antioxidantes secada las tres condiciones.

Tratamiento	Q	B	R <sup>2</sup>
SMO	2,22	1,21	98,42%
SC60°C	2,35	9,13	97,06%
SC80°C	2,12	9,14	99,32%

Los valores de Q (valor final de W) presentaron valores muy similares en las tres condiciones de secado estudiadas, siendo menores de 2,35 kg de agua /kg de sólido. En tanto que los valores de b (tiempo necesario para absorber la mitad de la cantidad máxima de agua) se puede notar que en el secado convectivo presentan una relación directa entre ellos variando entre 9,13 a 9,14 minutos mientras que el secado en microonda no presenta una relación directa con respecto al secado convectivo encontrándose un valor 1,21 minutos.

En la Figura 21 se pueden observar las curvas de rehidratación a las tres condiciones de secado de las cápsulas. Se puede apreciar que las cápsulas secadas en microonda presentaron mayor ganancia de agua en el tiempo de 5 min, a partir del cual la absorción fue similar en todos los casos. En el caso del secado convectivo la mayor ganancia de agua a las dos temperaturas sometidas fue en el tiempo de 10 min, tiempo a partir del cual la absorción fue similar en todos los casos.

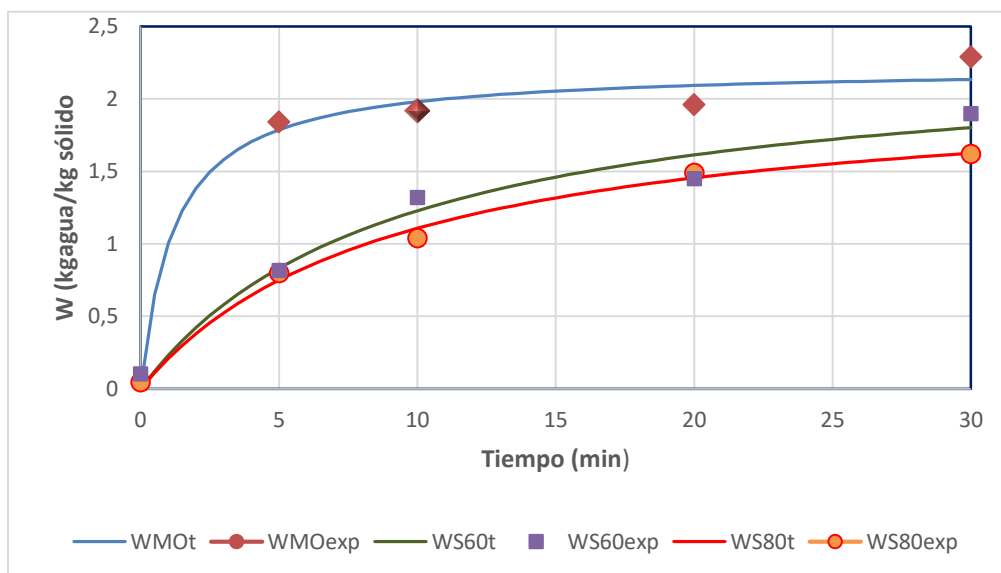


Figura 18: Modelo de Pilosof. Curvas de rehidratación de las cápsulas en las condiciones de secado

La intensidad y el mecanismo de deshidratación sea aire caliente, osmótica, liofilización y microondas afecta la permeabilidad de las membranas celulares, la formación de estructuras

porosas y sumado a una pérdida de sólidos puede ejercer un efecto perjudicial sobre la rehidratación. (García *et al.*, 2016). La pérdida de sólidos solubles de las tres condiciones de las cápsulas se calculó en función al tiempo y los valores se presentan en la tabla 15.

Tabla 15: Valores de pérdida de sólidos solubles en función al tiempo.

Tiempo (min)	CMO (%)	C SC60°C (%)	CSC80°C (%)
0	100	100	100
5	87,78	75,62	78,96
10	76,25	64,14	72,26
20	70,08	56,13	57,62
30	69,51	43,57	53,37

La pérdida de sólidos solubles en función del tiempo se ajustó a un modelo de cinética de primer orden de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -k * t$$

Siendo

C= cantidad de sólidos al tiempo “t”

C<sub>0</sub> = cantidad inicial de sólidos

A partir del ajuste se obtiene los valores de límite de confianza del valor “k” para los tres sistemas de secado que se presenta en la tabla 16.

Tabla 16: Límites de confianza para el valor K.

Tratamiento	LC K		
MO	0,0079	0,0150± 0,0071	0,0221
SC60°C	0,0210	0,0297±0,0087	0,0384
SC80°C	0,0163	0,0241±0,0078	0,0319

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 16) se puede concluir que el modelo de pérdida de solubles de primer orden ajusta bien en los tres productos ensayados, con valores de coeficiente de correlación mayores al 95% (P<0.01).

Al comparar las constantes “k” de los modelos, se puede observar que no existen diferencias significativas entre ellas, ya que existe superposición de los límites de confianza. De acuerdo a esto, la velocidad de pérdida de solubles es similar en los tres productos obtenidos como se muestra en la Figura 22.

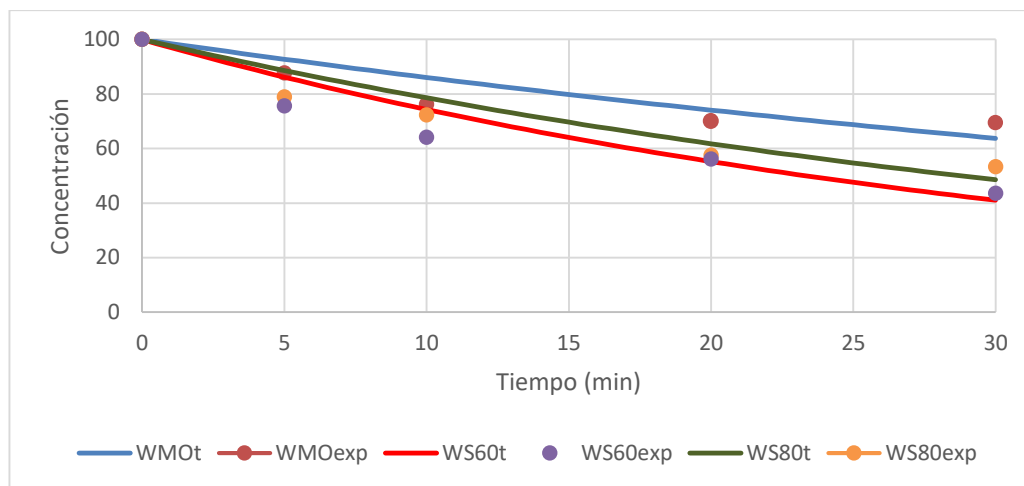


Figura 19: Curvas de pérdida de sólidos solubles en función al tiempo.

### 5.10. Determinación del contenido de calcio

Con el fin de conocer el aporte de calcio en el consumo de las cápsulas, se realizaron determinaciones en los diferentes productos obtenidos. La concentración de este ion depende de la preparación a la que se realiza y no así del método de secado, ya que la misma no se modifica con este procesamiento.

Las determinaciones se realizaron por duplicado en cada producto y los resultados se pueden observar en la Tabla 17. Los análisis tuvieron un límite de detección de 0,5 mg/g y el límite de cuantificación fue de 1mg/g.

Tabla 17: Contenido de Calcio en las cápsulas en los diferentes productos

Tratamiento	Concentración (mg/g sólido seco)	Valor medio	Desviación standard	Límites de confianza al 95%
MO	134	109	19,6	88 – 129
	125			
SC60°C	112			
	108			
SC 80°C	84			
	89			

De acuerdo al valor promedio, el consumo de 5 g por día de estas cápsulas aportaría el 41% de la dosis diaria requerida de este mineral (1300 mg/día). (Cabo Masip, *et al.*, 2008). En el mercado existen otros compuestos de fuentes de calcio con diferentes contenidos de calcio en mg/g de producto utilizados para adicionar calcio en alimentos. El citrato del calcio

contiene un 50% y el carbonato de calcio un 40% de calcio. Debido a que el tamaño de la molécula de citrato es grande, solo el 10,5% de éste es disponible como calcio, mientras que en el carbonato de calcio es disponible el 25%. Los criterios conocidos para considerar un alimento como buena fuente de calcio son: que proporcione al menos 30 mg de calcio absorbible por una porción estándar o que por cada 418 kJ (100 kcal) de alimento, proporcione 30 mg de calcio absorbible (Valencia *et al.*, 2011).

Con el fin de mejorar la ingesta de calcio de manera agradable, la adición de las cápsulas elaboradas en alimentos se convierte en una estrategia útil, para mejorar la calidad nutricional del producto. Si bien el contenido de calcio determinado por métodos químicos no indica la utilización por el organismo. Para ello, es importante tener en cuenta el concepto de biodisponibilidad.

En el trabajo de bioaccesibilidad de minerales en infusiones de yerba mate realizado por Binaghi *et al.*, (2011) encontró que la dializabilidad del calcio no presentó variaciones importantes en las leches fortificadas y sus preparaciones con yerba mate, si bien las infusiones de yerba presentan alto contenido de polifenoles, estas actúan más como inhibidores en la absorción de Fe y Zn.

La disponibilidad del calcio en el organismo disminuye con la presencia de fitatos en cereales, oxalatos en espinaca, Sal, proteínas y la Cafeína que presenta un efecto leve sobre la disponibilidad (Fernández *et al.*, 2011).

### **5.11. Color**

El color es un atributo de suma importancia comercial, ya que el mismo es un parámetro de calidad desde el punto del consumidor. Se midió el color en función a los parámetros L\*, a\*, b\* donde "L\*" mide la luminosidad o claridad y es el atributo que hace corresponder a cada color con respecto a la escala de grises; este parámetro varía de 100 para blanco perfecto a 0 para el negro, aproximadamente como el ojo lo evaluaría. Los ejes "a\*" y "b\*" permiten evaluar la cromaticidad; y se caracterizan por carecer de límites numéricos definidos. Concretamente: "a\*" mide el componente rojo en el eje positivo, gris cuando es 0 y el componente verde en el eje negativo y "b\*" mide el amarillo en el eje positivo, gris cuando es 0 y el azul en el eje negativo (Hunter, 2008). La deshidratación cambia las características de la superficie de los alimentos y por tanto su color. Los cambios químicos experimentados por los pigmentos están producidos por el calor y la oxidación que tienen lugar durante la



deshidratación. Por lo general, cuanto más largo es el proceso de secado y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas de estos pigmentos (Ruiz, 2010).

Los resultados de las mediciones de color de las cápsulas de antioxidantes sometidas a las tres condiciones de secado se presentan en la tabla 18.

Tabla 18: Valores medios  $\pm$  desvío estándar de los parámetros de color (“L\*”, “a\*” y “b\*”)

Tratamiento	“L*”	“a*”	“b*”
MO	31,35 $\pm$ 2,77	1,03 $\pm$ 0,13	0,5 $\pm$ 0,18
SC60°C	36,58 $\pm$ 2,04	0,32 $\pm$ 0,09	0,03 $\pm$ 0,09
SC80°C	36,85 $\pm$ 3,78	0,54 $\pm$ 0,10	0,1 $\pm$ 0,27

En la Figura 22 se muestran las comparaciones de medias e intervalos LSD (nivel de confianza del 95 %) para cada parámetro de color (“L\*”, “a\*” y “b\*”) de las tres condiciones de secado.

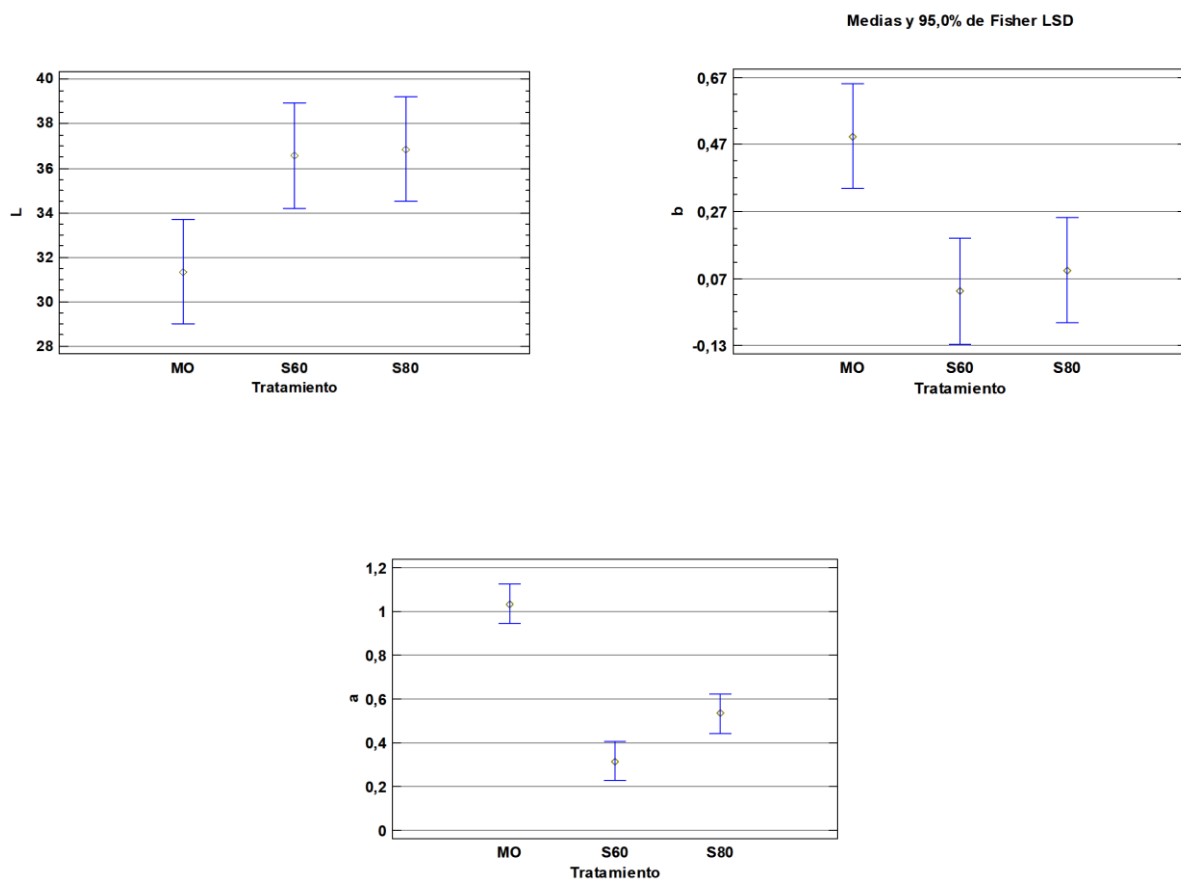


Figura 20: Comparación de los parámetros de color “L\*”, “a\*” y “b\*” entre las cápsulas secada a las distintas condiciones.

Respecto a los parámetros “L\*”, “a\*” y “b\*” se puede mencionar que las muestras secada a 60°C y 80°C no muestran variaciones estadísticamente significativas entre ellas, mientras que en el secado en microonda se observa que las cápsulas muestran valores significativamente mayores en los parámetros a\* y b\*, y un menor valor de L\*. Esto significa que las cápsulas secadas en microonda presentaron una tonalidad marrón más clara respecto al secado convectivo, pudiendo esta diferencia deberse a la elevada velocidad de calentamiento y en que no provoca cambios significativos en la superficie del alimento cuando se trabaja con tiempos y potencias de microondas adecuados (Della Rocca, 2010).

Mientras que con el secado convectivo se ha encontrado que el uso de temperaturas altas acelera la eliminación de agua libre e inicia el proceso de aumento de temperatura, resultando en la coloración oscura de las muestras. En el trabajo realizado por Cervante *et al.*, (2017) donde estudió efecto de las variables del secado convectivo sobre los parámetros de color de rodajas de carambola encontró que temperaturas entre 50 y 60°C incrementó el cambio de calor en la carambola. En lo que respecta a las cápsulas elaboradas y secadas en la figura 24 se puede apreciar que el secado convectivo tuvo mayor influencia en el cambio del color en comparación con el secado microonda.

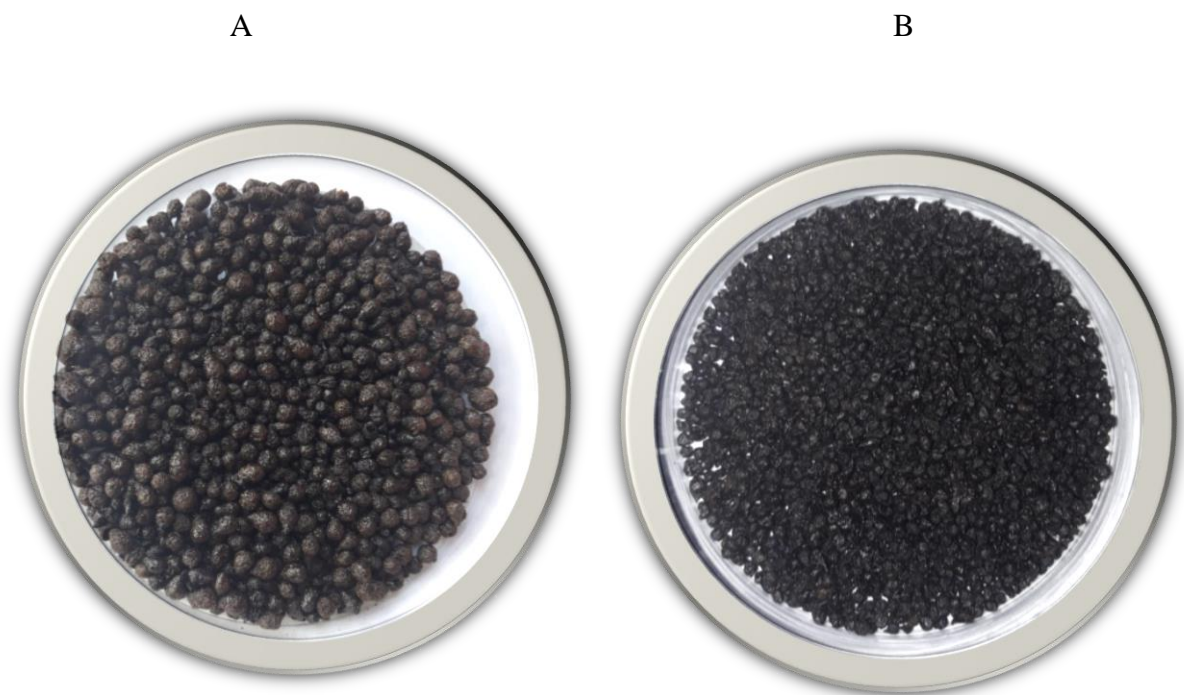


Figura 21: A) cápsulas secado en microonda

B) secado convectivo

## CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

- Se encapsuló el extracto de yerba mate en una matriz de alginato de calcio aplicando la técnica de gelificación iónica, las cápsulas obtenidas presentaron forma esférica irregular y pequeñas porosidades en las superficies.
- Al determinar las cinéticas de secado de las cápsulas se puede concluir que en el secado convectivo influyó la temperatura del aire de secado, el empleo de temperaturas más elevadas redujo significativamente el tiempo necesario para secar las cápsulas. El tiempo utilizado en el secado con microondas fue intermedio al de las dos temperaturas de secado convectivo. El modelo de Page describió satisfactoriamente los datos experimentales de las tres condiciones del proceso de cinética de secado.
- Las isotermas de adsorción de las cápsulas determinadas a 25°C presentaron formas sigmoideas tipo II y el modelo de GAB mostró el mejor ajuste en el modelado de los datos experimentales en las tres condiciones de secado, en el intervalo de actividad de agua, entre 0,11 y 0,85.
- Las cápsulas obtenidas presentaron contenidos de polifenoles totales entre 20.12 y 19.68 g EAG/100g ms (masa seca) y capacidad antioxidante (CAO) entre 20.47 y 19.45 g EAA/100g ms, se encontró que el consumo de 5g de cápsulas aportaría 41% de la ingesta diaria recomendada de calcio, encontrándose que el método de secado no influyen sobre los mismos. Las cápsulas secadas en microonda presentaron un color marrón más clara y mayor velocidad de rehidratación respecto al secado convectivo.
- La presente investigación permitió obtener encapsulados de extracto de yerba mate por gelificación iónica, ofreciendo así una alternativa que podría proporcionar ventajas para la preservación de sustancias susceptibles a la oxidación y contribuir al aporte de compuestos con actividad biológica.

## **RECOMENDACIONES**

Estudiar la biodisponibilidad de calcio y los polifenoles en las cápsulas.

Estudiar la liberación del componente bioactivo de las cápsulas

Estudiar si reduce la rancidez y no modifica el color y sabor del alimento.

## BIBLIOGRAFÍAS.

- Anusic, N. (2011) Identificación y cuantificación de polifenoles en yerba mate y brebajes. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Belgrano.
- Araya, H. y Lutz, M. (2003) 'alimentos funcionales y saludables', *Revista chilena de nutrición*. Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología, 30(1), pp. 8–14.
- Arçari, D. P., Bartchewsky, W., dos Santos, T. W., Oliveira, K. A., Funck, A., Pedrazzoli, J., de Souza, F.F., Saad, M.J., Bastos, D. H.M., Gambero, A., Carvalho, P., y Ribeiro, M. L. (2009) 'Antiobesity effects of yerba maté extract (*Ilex paraguariensis*) in high-fat diet-induced obese mice', *Obesity*. Nature Publishing Group, 17(12), pp. 2127–2133.
- Astray, G., Gonzalez-Barreiro, C., Mejuto, J. C., Rial-Otero, R. Simal-Gándara, J. (2009) 'A review on the use of cyclodextrins in foods', *Food Hydrocolloids*, 23(7), pp. 1631–1640.
- Athayde, L. M., Coelho, G. C. y Schenkel, E. P. (2000) 'Caffeine and theobromine in epicuticular wax of *Ilex paraguariensis* A . St . -Hil .', *Phytochemistry*, 55, pp. 0–4.
- Avello, M. y Suwalsky, M. (2006) 'Radicales Libres, Antioxidantes naturales y Mecanismos de Protección', *Atenea*, (494), pp. 161–172.
- Avendaño-Romero, G. C., López-Malo, A. and Palou, E. (2013) 'Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos', *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 1, pp. 87–96.
- Badui Dergal, S. (2006) *Química de los alimentos*, Ed. Pearson educación.
- Bastos, D. H. M. Fornari, A. C., Queiroz, Y. S. y Torres, E. A.F.S. (2006) 'Bioactive compounds content of chimarrão infusions related to the moisture of yerba maté (*Ilex paraguariensis*) leaves', *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(3), pp. 399–404.
- Bastos, D. H. M., Oliveira, D. M., Matsumoto, R. L. T., Carvalho, P. O. y Ribeiro, M. L. (2007) 'Yerba maté: Pharmacological Properties, Research and Biotechnology', *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 1(1), pp. 37–46.
- Betoret, E., Betoret, N., Vidal, D., Fito, P. (2011) 'Functional foods development: Trends and technologies', *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd, 22(9), pp. 498–508.
- Binaghi, M. J., Pellegrino, N. R. y Valencia, M. E. (2011). Bioaccesibilidad de minerales en infusiones de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St) y en mezclas con leches fortificadas con hierro. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61(1), 81-86.

- Borgogna, M., Bellich, B., Zorzin, L., Lapasin, R., Cesàro, A. (2010) 'Food microencapsulation of bioactive compounds: Rheological and thermal characterisation of non-conventional gelling system', *Food Chemistry*. Elsevier Ltd, 122(2), pp. 416–423.
- Bracesco, N., Sanchez, A. G., Contreras, V., Menini, T. y Gugliucci, A. (2011) 'Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: Minireview, *Journal of Ethnopharmacology*. Elsevier Ireland Ltd, 136(3), pp. 378–384.
- Bravo, L., Goya, L. y Lecumberri, E. (2007) 'LC/MS characterization of phenolic constituents of mate (*Ilex paraguariensis*, *St. Hil.*) and its antioxidant activity compared to commonly consumed beverages', *Food Research International*, 40(3), pp. 393–405.
- Buduba, C. (2011) Mutagénesis y antimutagénesis en extractos acuosos, clorofórmicos y acetónicos de *Ilex paraguariensis* var . *paraguariensis* e *Ilex dumosa* var . *dumosa*. Universidad Nacional de la Plata.
- Burris, K. P. Harte, F. M., Davidson, P.M., Stewart, C. N. (2012) 'composition and bio active properties of yerba mate (*Ilexparaguariensis* A. *St.-Hil.*): a review, 72(June), pp. 268–275.
- Burtnik, O. J. (2006) 'Yerba mate: Manual de producción, INTA, AER Santo Tomé, Corrientes, Argentina. (03756), pp. 1–52.
- Butiuk, A. P. (2016) Extracción y bioconversión del ácido clorogénico de la yerba mate en químicos finos. Tesis para el Doctorado en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata.
- Butiuk, A. P., Martos, M. A., Adachi, O., Hours, R. A. (2016) 'Study of the chlorogenic acid content in yerba mate (*Ilex paraguariensis* *St. Hil.*): Effect of plant fraction, processing step and harvesting season', *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 3(1), pp. 27–33.
- Calderón Hernández, J. A. (2011) caracterización fitoquímica, actividad antibacteriana y antioxidante de extractos de plantas medicinales utilizadas en pereira y santa rosa de cabal (Risaralda). Tesis de grado para optar por el título de Tecnóloga Química. Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira.
- De Campos, R. M. L., Hierro, E., Ordóñez, J. A., Bertol, T. M., Terra, N. N., de la Hoz, L. (2007) 'Fatty acid and volatile compounds from salami manufactured with yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract and pork back fat and meat from pigs fed on diets with partial replacement of maize with rice bran', *Food Chemistry*, 103(4), pp. 1159–1167.

- Cardozo Junior, E. L. Donaduzzi, C. M., Ferrarese-Filho, O. Friedrich, J. C., Gonela, A., Sturion, J. A. (2010) 'Quantitative genetic analysis of methylxanthines and phenolic compounds in mate progenies', *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(2), pp. 171–177.
- Carmuega, E. (2009) Alimentos funcionales: un largo camino desde el siglo V ( AC ) al siglo XXI', *Revista Actualizaciones en Nutrición* Vol. 10, N° 2 pp. 107–114.
- Carvajal, C. C. (2015) 'Revisión bibliográfica productos finales de glicación (ages) y la nefropatía diabética', *Medicina Legal de Costa Rica*, 32(1), pp. 1–7.
- Castañeda, H., Gemio, R., Yapu, W. N. J. (2011) 'Microencapsulacion, Un Metodo Para La Conservacion De Propiedades Fisicoquimicas y Biologicas De Sustancias Quimicas', *Boliviana de Quimica*, 28, pp. 135–140.
- Castillo, S., Alvarado, J.M., Baez, J.G., Macías, E., Ramírez-Baca, P., Gallardo, C.T., Candelas-Cadillo, M.G. (2017) 'Diseño De Microcápsulas De Alginato Con Matriz Prebiótica De Aloe Vera', *Investigacion y Desarrollo en ciencias y tecnologia de los alimentos*, 2, pp. 531–536.
- Cerviño, V. F., Sosa, C. A., Vergara, L. E., Schmalko, M. E., Sgroppo, S. C. (2016) 'Obtención y modelado de isotermas de sorción de caramelos "gummy" de batata.
- Cervantes, C. L., Paniagua-Martínez, I., Morales, F. y Castillo-Zamudio, R. I. (2017). Efecto de las variables de secado convectivo sobre los parámetros de color de rodajas de carambola (*Averrhoa carambola* L.)
- Céspedes, T. y Sánchez, D. (2000) 'Algunos aspectos sobre el estrés oxidativo, el estado antioxidante y la terapia de suplementación', *Revista Cubana De Cardiología Y Cirugía Cardiovascular*, 14(1), p. 55.
- Champagne, C. P. y Fustier, P. (2007) 'Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods', *Current Opinion in Biotechnology*, 18(2), pp. 184–190.
- Correa Cuevas, L. P., Hernández Baltazar, E. (2012) 'El uso de las microondas en la industria farmacéutica', *Revista Mexicana de Ciencias Forestal*, 13(2), p. 112.
- Da Croce, D. M. (2002) 'Características físico-químicas de extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) no estado de Santa Catarina', *Ciência Florestal* ISSN:, 12(12), pp. 107–113.

Cuerda, C., Luengo, L. M., Valero, M. A., Vidal, A., Burgos, R., Calvo, F. L., Martínez, C. (2011) 'Antioxidantes y diabetes mellitus: Revisión de la evidencia', *Nutricion Hospitalaria*, 26(1), pp. 68–78.

Deladino, L., Anbinder, P. S., Navarro, A. S., Martino, M. N. (2008) 'Encapsulation of natural antioxidants extracted from *Ilex paraguariensis*', *Carbohydrate Polymers*, 71(1), pp. 126–134.

Dellacassa, E., Cesio, V., Vázquez, A., Echeverry, S., Soule, S., Menéndez, P., Ferreira, F., Heinzen, H. (2007) 'Yerba mate. Historia, uso y propiedades', *Revista de la Asociación de Química y Farmacia del Uruguay*, 51(January), pp. 16–20.

Del Deposito, L. (2010) Modelado y Simulación mediante Dinámica de Sistemas del Funcionamiento General de un Establecimiento de Elaboración Primaria de Yerba Mate. Tesis de Titulación Ingeniero Civil Industrial, Mención Gestión. Universidad del Bío-Bío. Concepción, VIII Región, Chile.

Dickel, M. L., Rates, S. M. K. y Ritter, M. R. (2007) 'Plants popularly used for losing weight purposes in Porto Alegre, South Brazil', *Journal of Ethnopharmacology*, 109(1), pp. 60–71.

Doymaz, I. (2005) 'Drying characteristics and kinetics of okra', *Journal of Food Engineering*, 69(3), pp. 275–279.

Dudonné, S., Vitrac, X., Coutière, P., Woillez, M., Mérillon, J. M. (2009) 'Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), pp. 1768–1774.

Duthie, G. y Crozier, A. (2000) 'Plant-derived phenolic antioxidants', *Current Opinion in Lipidology*, 11(1), pp. 43–47.

Escalada, G., Brumovsky, L. A. y Hartwig, V. G. (2011) 'Influencia de la zona de cultivo y procesamiento de la yerba mate sobre su contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante', *Ciencia y Tecnología*, pp. 66–74.

Estevinho, B. N., Rocha, F., Santos, L., Alves, A. (2013) 'Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications - A review', *Trends in Food Science and Technology*, 31(2), pp. 138–155.

Falguera, V., Aliguer, N. y Falguera, M. (2012) 'An integrated approach to current trends in



food consumption: Moving toward functional and organic products?, *Food Control*. Elsevier Ltd, 26(2), pp. 274–281.

Fang, Z. y Bhandari, B. (2010) ‘Encapsulation of polyphenols - A review’, *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd, 21(10), pp. 510–523.

Farah, A. y Donangelo, C. M. (2006) ‘Phenolic compounds in coffee’, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), pp. 23–36.

Favaro-Trindade, C. S., Santana, A. S., Monterrey-Quintero, E. S., Trindade, M. A., Netto, F. M. (2010) ‘The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate’, *Food Hydrocolloids*. Elsevier Ltd, 24(4), pp. 336–340.

Fernandez, A., Sosa, P., Setton, D., Desantadina, V., Fabeiro, M., Martinez, I., Piazza, N., Casavella, P., Tonietti, M., y Hernandez, J. (2011). Calcio y Nutrición. Sociedad Argentina de Pediatría, 1– 19.

Fennema, O. R. (2000) *Química de los alimentos*. Editorial Acribia.

Filip, R., Lotito, S. B., Ferraro, G., Fraga, C. G. (2000) ‘Antioxidant activity of *Ilex paraguariensis* and related species’, *Nutrition Research*, 20(10), pp. 1437–1446.

Filip, R., López, P., Giberti, G., Coussio, J., Ferraro, G. (2001) ‘Phenolic compounds in seven South American *Ilex* species’, *Fitoterapia*, 72(7), pp. 774–778.

Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., Chun, O. K. (2011) ‘Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods’, *Journal of Food Composition and Analysis*. Elsevier Inc., 24(7), pp. 1043–1048.

Franco García, N. S. (2003) Citotoxicidad y genotoxicidad de dos extractos naturales. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Buenos Aires. Facultad de ciencias exactas y naturales.

Friedman, M. y Jürgens, H. S. (2000) ‘Effect of pH on the stability of plant phenolic compounds’, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), pp. 2101–2110.

Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M.E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M.N., Dumoulin, E. (2006) ‘Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration’, *Journal of Food Engineering*. Elsevier, 75(1), pp. 27–35.

- Fundueanu, G., Nastruzzi, C., Carpov, A., Desbrieres, J., Rinaudo, M. (1999) 'Physico-chemical characterization of Ca-alginate microparticles produced with different methods', *Biomaterials*, 20(15), pp. 1427–1435.
- Fuentes Berrio, L. Acevedo, D., Gelvez, V.M. (2015) 'Alimentos Funcionales: Impacto Y retos Para El Desarrollo Y Bienestar De La Sociedad Colombiana', *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), p. 140.
- Gálvez, A. V., Aravena, E. L. y Mondaca, R. L. (2006) 'Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.)', *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(4), pp. 821–827.
- García-mogollón, C. y Romero-barragán, A. A. P. (2016) 'Capacidad de Rehidratación y Cambio de Color de Yuca ( *Manihot esculenta crantz* ) Deshidratada en Microondas Rehydration Capacity and Color Change of Cassava ( *Manihot esculenta crantz* ) Dried in Microwave', 27(1), pp. 53–60.
- Garcia, S.V., Shmalko, M. E., Tanzariello, A. (2010) 'Isotermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones', *Revista de investigaciones agropecuarias*, 36, pp. 115–129.
- George, M. y Abraham, T. E. (2006) 'Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: Alginate and chitosan - a review', *Journal of Controlled Release*, 114(1), pp. 1–14.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R. (2007) 'Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview', *Food Research International*, 40(9), pp. 1107–1121.
- Gnoatto, S. C. B., Schenkel, E. P. y Bassani, V. L. (2005) 'HPLC method to assay total saponins in *Ilex paraguariensis* aqueous extract', *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 16(4), pp. 723–726.
- Gobbo-Neto, L. y Lopes, N. P. (2007) 'Lantas Mediciniais: Fatores De Influência No Conteúdo De Metabólitos Secundários', *Química Nova*, 30(2), pp. 374–381.
- Gouin, S. (2004) 'Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends', *Trends in Food Science and Technology*, 15(7–8), pp. 330–347.
- Grigioni, G., Carduza, F., Irurueta, M., Pensel, N. (2004) 'Flavour characteristics of *Ilex paraguariensis* infusion, a typical Argentine product, assessed by sensory evaluation and electronic nose', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(5), pp. 427–432.

Hadjikinova, M., Menkov, N. y Hadjikinov, D. (2013) 'Sorptions Characteristics of Dietary Hard Candy', *Czech J.Food Sci.*, 21(3), pp. 97–99.

Hartwig, G. V. (2015) Obtención de extractos secos de yerba mate con alto contenido de polifenoles y alta capacidad antioxidante. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Hasbun Chavarría, K. (2005) Determinación de las condiciones de temperatura y velocidad del aire para el secado de chile dulce en cubos. Tesis Para la licenciatura en Tecnología de alimentos. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica.

Heck, C. I. y De Mejia, E. G. (2007) 'Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): A comprehensive review on chemistry, health implications, and technological considerations', *Journal of Food Science*, 72(9).

Heck, C. I., Schmalko, M. and De Mejia, E. G. (2008) 'Effect of growing and drying conditions on the phenolic composition of Mate teas (*Ilex paraguariensis*)', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), pp. 8394–8403.

Hernández, C. de J., Ilina, A., Ventura, J., Belmares, R., Contreras, J. C., Álvarez, G., Martínez, J. L. (2016) La microencapsulación de bioactivos para su aplicación en la industria, *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), pp. 12–19.

Huang, D., Boxin, O. U. y Prior, R. L. (2005) 'The chemistry behind antioxidant capacity assays', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), pp. 1841–1856.

Hunter, L. (2008) Hunter L,a,b Color Scare, *Applications Notes*, 8(9), pp. 1–4.

Isolabella, S., Cogoi, L., López, P., Anesini, C., Ferraro, G., Filip, R. (2010) Study of the bioactive compounds variation during yerba mate (*Ilex paraguariensis*) processing, *Food Chemistry*. Elsevier Ltd, 122(3), pp. 695–699.

Iguaz A., San Martin M.B., Mate J.I., Fernandez T., Virseda P. (2003). Modelling effective moisture diffusivity of rough rice at low drying temperatures. *Journal of Food Engineering*; 59: 253–258.

Jerke, G., Horiński, M. A., Salvatierra, K., A. (2009) Evaluación de géneros micotoxigénicos en yerba mate elaborada, *Rev. Cienc. Tecnol.*, (12), pp. 41–45.

Junter, G. A. y Vinet, F. (2009) 'Compressive properties of yeast cell-loaded Ca-alginate hydrogel layers: Comparison with alginate-CaCO<sub>3</sub> microparticle composite gel structures',

*Chemical Engineering Journal*, 145(3), pp. 514–521.

Krokida, M. K. y Marinos-Kouris, D. (2003) ‘Rehydration kinetics of dehydrated products’, *Journal of Food Engineering*, 57(1), pp. 1–7.

Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., Fett, R. (2005) Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4), pp. 726–732.

Lewicki, P. (1997) ‘The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms’, *International journal of food science & technology*, 32(1945), pp. 553–557.

López-Córdoba, A. (2012) Desarrollo De Sistemas De Encapsulación Compuestos Para La Protección De Extractos Antioxidantes De Yerba Mate, Tesis de Maestría. Universidad Nacional de la Plata.

López Córdoba, A. F. (2014) Sistemas de vehiculización de antioxidantes naturales y minerales. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas Universidad Nacional de la Plata.

Lopez, F., Deladino, L., Navarro, A. S., Martino, M. N. (2012) Encapsulación de compuestos bioactivos con alginatos para la industria de alimentos, *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 10(1), pp. 18–27.

Lunceford, N. y Gugliucci, A. (2005) Ilex paraguariensis extracts inhibit AGE formation more efficiently than green tea’, *Fitoterapia*, 76(5), pp. 419–427.

Marques, V. y Farah, A. (2009) ‘Chlorogenic acids and related compounds in medicinal plants and infusions’, *Food Chemistry*. Elsevier Ltd, 113(4), pp. 1370–1376.

Martínez Gamboa, L. E. (2015) Efecto de la Temperatura en isotermas de adsorción de Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) deshidratado. Tesis de grados ingeniería agroindustrial. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Trujillo, Peru.

Mathlouthi, M. (2001) Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs, *Food Control*, 12(7), pp. 409–417.

May, B. K., Sinclair, A.J., Halmos, A.L. y Tran, V.N. (1999) ‘Quantitative Analysis of Drying Behaviour of Fruits and Vegetables’, *Drying Technology*, 17(7–8), pp. 1441–1448.

Mejia, E.G., Songa, Y.S., Hecka, C.I., y Ramírez-Mares, M.V. (2010) ‘Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): Phenolics, antioxidant capacity and in vitro inhibition of colon cancer cell proliferation’, *Journal of Functional Foods*, 2(1), pp. 23–34.

- Méndez, J. D. (2003) 'Productos finales de glicación avanzada y complicaciones crónicas de la diabetes mellitus', *Gaceta Medica de Mexico*, 139(1), pp. 49–55.
- Montes, E., Torres, R., Andrade, R., Pérez, O., Marimon, J. y Meza, I. (2009) 'Modelado de las isotermas de desorción de ñame (*Dioscorea rotundata*)', *Dyna* 157, 157, pp. 145–152.
- Montes Montes, E. J., Torres Gallo, R., Andrade Pizarro, R. D., Pérez Sierra, O. A., Marimon Escobar, J. L. y Meza Herazo, I. I.(2008) 'Modelling the kinetics of thin-layer yam (*dioscorearotundata*) drying', *Ing. Investig.*, 28(2), pp. 45–52.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D. y Vallejo, N. (2008) 'Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits', *Journal of Food Engineering*, 88(4), pp. 514–521.
- Munin, A. y Edwards-Lévy, F. (2011) Encapsulation of natural polyphenolic compounds; a review, *Pharmaceutics*. (3),pp. 793-829.
- Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. y Atoba, T. M. (2004) 'Effects of Thermal Treatment on Radical-scavenging Activity of Single and Mixed Polyphenolic Compounds', *Journal of Food Science*, 69(1), pp. FCT7-FCT10.
- Paniagua Lurssen, L. E. (2006) Modelización Del Mejor Ajuste De Isoterma De Sorción, Para La Miel Y El Caramelo Duro, Elaborado En Industria Procesadora De Guatemala, Sa (Niasa), *Biblioteca.Usac.Edu.Gt*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pedroza Islas, R. (2002) 'Alimentos Microencapsulados : Particularidades de los Procesos para la Microencapsulación de Alimentos para Larvas de Especies Acuícolas', *Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, p. 10.
- Pérez Paiva, J., Piris Morales, L., Ulke Mayans, G., Arias Villalba, M., Mendoza de Arbo, L. y Sánchez Bernal, S. (2012) 'Evaluación del Perfil Micológico de la Yerba Mate durante el proceso productivo y producto final en establecimientos yerbateros. Paraguay 2012', *Rev. Salud Pública Parag* 3(1), pp. 8–13.
- Pilososf, A., Boquet, R. y Bartholoma, G. (1985) 'Kinetics of Water Uptake by Food Powders', *Of Food Science*, 50(7985), pp. 278–279.
- Quiñones, M., Miguel, M. y Aleixandre, A. (2012) 'Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular.', *Nutricion hospitalaria : organo oficial de la Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral*, 27(1), pp. 76–89.

Reyna, E., Alvarez, G., Iliná, A. y Martínez, J. L. (2014) 'Microencapsulación de componentes bioactivos', *Investigacion y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 62, pp. 16.

Della Rocca, P. (2010) Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Tesis de Maestría en Tecnología de alimentos. Facultad Regional de Buenos Aire. Universidad Tecnológica Nacional.

Känzig, R. G., E.Schamalko, M. E. y Núñez, J. C. (2015) *La yerba mate. Tecnología de la producción y propiedades*. Capitulo 4. el procesamiento y la comercialización. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones.

Rodriguez, A. (2014) Ósmosis Directa-Microondas y Secado Convectivo Por Aire Caliente-Microondas) Para La Deshidratación De Frutos Del Bosque. Universidad Nacional de La Plata.

Rodríguez, L. (2016) 'Producción y comercialización cooperativa yerbatera en los márgenes . La provincia argentina de Misiones ( 1991- 2014 ) \*', *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad*, 3 (9), pp. 54–79.

Rozek, A., Achaerandio, A., Guell, C., Lopez, F. y Ferrando, M. (2008) 'Efecto del Secado convectivo en la Estabilidad de Compuestos Fenólicos añadidos a Alimentos Sólidos Mediante Deshidratación Osmótica.pdf', *II Congreso Iberoamericano sobre seguridad alimentaria*.

Rubiano, K., Cárdenas, J. y Ciro Velásquez, H. J. (2015) 'Evaluación de las propiedades termodinámicas y térmicas del d-limoneno encapsulado', *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), pp. 425–434.

Cajamarca Ruiz, E. E. (2010) Evaluación nutricional de la oca (oxalis tuberosa sara-oca) fresca, endulzada y deshidrata en secador de bandejas.Tesis de grado para obtener el titulo de Bioquimico Farmaceuticos. Facultad de Ciencias. Escuela de Bioquímica y Farmacia, Ecuador.

Sabbatella, O. P., Pokolenko, J. J. y Schmalko, M. E. (2009) 'Influencia de la Composición en la Extracción de los Solubles de la Yerba Mate', *Revista de Ciencia y Tecnología*, (11), pp. 42–47.

Sandoval Aldana, A., Rodríguez Sandoval, E. y Ayala Aponte, A. (2011) 'Encapsulación de Aditivos para la Industria de Alimentos', *Ingeniería y Competitividad*, 5(2), p. 73.

Saura-Calixto, F. y Goñi, I. (2006) 'Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet', *Food Chemistry*, 94(3), pp. 442–447.

Schmalko., M. E., Prat Krikum, S. D. y Känzi, R.G. (2015) *La Yerba Mate. Tecnologia de la produccion y propiedades*. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones.

Schmalko, M. E., Acuña, M. G. y Scipioni, G. P. (2012) 'The Use of Maltodextrin Matrices to Control the Release of Minerals from Fortified Mate', *International Journal of Food Studies* 1(March), pp. 17–25.

Schmalko, M. E. y Alzamora, S. M. (2001) 'Color, Chlorophyll, Caffeine, and Water Content Variation During Yerba Maté Processing', *Drying Technology*, 19(3–4), pp. 599–610.

Serrano, M. E. D., López, M. L. y Espuñes, T. D. R. S. (2006) 'Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal', *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 37(4), pp. 58–68.

Sierra Peñuela, J. S. y Jiménez Bello, S. T. (2011) Plan De Negocios Para La Creación De Una Empresa Productora y Comercializadora De Fruta Deshidratada. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas Carrera de Administración de Empresas. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Singleton, V. L., Orthofer, R. y Lamuela-Raventos, R. M. (1998) 'Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent', *Methods in Enzymology*, 299(1974), pp. 152–178.

Simal S., Femenia A., Garau M.C., Rossell C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66: 323–328

Sosa, V. (2013) Análisis de posibles efectos protectores de la yerba mate y sus componentes frente a agentes genotóxicos. Tesis de grado licenciatura en Bioquímica Facultad de Ciencias. Universidad de La República Uruguay.

Stephen Brunauer, L. S. y Deming, W. E. D. A. E. T. (1940) 'On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases', 62(6), p. 1723.

Strassmann, B. B., Viera, A. R., Pedrotti, E. L., Morais, I. N. F., Dias, P. F. y Maraschin, M. (2008) 'Quantitation of methylxanthinic alkaloids and phenolic compounds in mate (*Ilex paraguariensis*) and their effects on blood vessel formation in chick embryos', *Agricultural and Food Chemistry*, 56, pp. 8348–8353.

- Streit, N. M., Hecktheuer, L. H., do Canto, M. W., Mallmann, C. A., Streck, L., Parodi, T. V. y Canterle, L. P. (2007) 'Relation among taste-related compounds (phenolics and caffeine) and sensory profile of erva-mate (*Ilex paraguariensis*)', *Food Chemistry*, 102(3), pp. 560–564.
- Taketa, A. T. C., Gnoatto, S. C. B., Gosmann, G., Pires, V. S., Schenkel, E. P. yGuillaume, D. (2004) 'Triterpenoids from Brazilian *Ilex* species and their in vitro antitrypanosomal activity', *Journal of Natural Products*, 67(10), pp. 1697–1700.
- Terpinc, P., Ceh, B., Ulrih, N. P. y Abramovic, H. (2012) 'Studies of the correlation between antioxidant properties and the total phenolic content of different oil cake extracts', *Industrial Crops and Products*, 39(1), pp. 210–217.
- Thea, A. E., Bohaczenko, E. A. y Schmalko, M. E. (2012) 'Variación del contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de la yerba mate según diferentes tipos de estacionamiento', XIV Congreso CYTAL, pp. 1–6.
- Ugartondo Casadevall, V. (2009) 'Caracterización de derivados polifenólicos obtenidos de fuentes naturales. Citotoxicidad y capacidad antioxidante frente a estrés oxidativo en modelos celulares.', Tesis Doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.
- Valencia Álvarez, A. C. (2015) " Estudio de pre -factibilidad técnica de remoción y elución de cobre con esferas de alginato". Tesis de grado. Facultad de ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Valencia, L. ySarco Burgod, J. M. (2015) "Implementacion de control adaptivo y evaluacion del secadorde lecho fijo con recirculación de aire. Tesis de grado. Facultad Ciencias Agrarias. Universidad nacional del altiplano, Peru.
- Valerga, J., Reta, M. y Cecilia, M. (2012) 'LWT - Food Science and Technology Polyphenol input to the antioxidant activity of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extracts', *LWT - Food Science and Technology*. Elsevier Ltd, 45(1), pp. 28–35.
- Valencia, F. E., Cardona, D. y Román, M. (2011) El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. En: *Revista Lasallista de Investigación*. Vol. 8, N°1, p. 123-134.
- Vehring, R. (2008) 'Pharmaceutical particle engineering via spray drying', *Pharmaceutical Research*, 25(5), pp. 999–1022.
- Wood, W. y González, C. E. (2012) 'Estudio de la ganancia de humedad de la yerba mate durante el estacionamiento', *Rev. Cienc. Tecnol.*, 17, pp. 25–29.



Wootton-Beard, P. C. y Ryan, L. (2011) 'Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages', *Food Research International*. Elsevier Ltd, 44(10), pp. 3135–3148.

## ANEXO

### 1-PREPARACIÓN DE LAS CÁPSULAS



## 2-RESULTADOS DE MODELOS CINÉTICOS ANALIZADOS CON EL PROGRAMA STATGRAFHP CENTURIÓN XVII.

a)-LEWIS:

### 1-Microonda

Modelo Lineal:  $Y = b \cdot X$

	Estimado de	Error	Estadístico	
Parámetro	Mínimos Cuadrados	Estándar	T	Valor-P
Pendiente	-0,0351955	0,0013182	-26,6996	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	88,8786	1	88,8786	712,87	0,0000
Residuo	2,49355	20	0,124677		
Total	91,3722	21			

Coefficiente de correlación = -0,986261

R-Cuadrada = 97,271 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 97,271 por ciento

### 2-Secado convectivo 60°C

Modelo Lineal:  $Y = b \cdot X$

	Estimado de	Error	Estadístico	
Parámetro	Mínimos Cuadrados	Estándar	T	Valor-P
Pendiente	-0,0480811	0,000559132	-85,9924	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	106,111	1	106,111	7394,69	0,0000
Residuo	0,114797	8	0,0143497		
Total	106,226	9			

Coefficiente de correlación = -0,99946

R-Cuadrada = 99,8919 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,8919 por ciento

### 3-Secado convectivo 80°C

Modelo Lineal:  $Y = b \cdot X$

	Estimado de	Error	Estadístico	
Parámetro	Mínimos Cuadrados	Estándar	T	Valor-P
Pendiente	-0,0714323	0,0027597	-25,8841	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	71,436	1	71,436	669,99	0,0000
Residuo	0,746361	7	0,106623		
Total	72,1823	8			

Coefficiente de correlación = -0,994817

R-Cuadrada = 98,966 porciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,966 porciento

### b)-PAGE

#### 1-Microonda

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	-4,67857	0,075107	-62,292	0,0000
Pendiente	1,30029	0,0197158	65,9517	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	21,2182	1	21,2182	4349,62	0,0000
Residuo	0,0878069	18	0,00487816		
Total (Corr.)	21,306	19			

Coeficiente de Correlación = 0,997937

R-cuadrada = 99,5879 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,565 por ciento

K=0,143 +/-0,024

N=0,607 +/- 0,039

## 2-Secado convectivo a 60°C

### Coeficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	-1,97168	0,0591409	-33,3388	0,0000
Pendiente	1,01118	0,0196621	51,428	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	3,54124	1	3,54124	2644,84	0,0000
Residuo	0,00803356	6	0,00133893		
Total (Corr.)	3,54927	7			

Coeficiente de Correlación = 0,998868

R-cuadrada = 99,7737 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,7359 por ciento

**K= 0,0945 +/-0,0095**

**N= 0,641 +/-0,023**

## 3-Secado convectivo a 80°C

### Coeficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	-3,12839	0,102685	-30,4658	0,0000
Pendiente	1,35984	0,0354389	38,3715	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	5,20329	1	5,20329	1472,37	0,0000
Residuo	0,0176698	5	0,00353396		
Total (Corr.)	5,22096	6			

Coefficiente de Correlación = 0,998306

R-cuadrada = 99,6616 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,5939 porciento

K= 0,0622+/-0,0135

N=0,763+/-0,051

### C)- HENDERSON Y PABIS

#### 1-Microonda

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0,395971	0,122643	3,22866	0,0044
Pendiente	-0,0409902	0,00209817	-19,5362	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	32,3439	1	32,3439	381,66	0,0000
Residuo	1,61015	19	0,0847446		
Total (Corr.)	33,954	20			

Coefficiente de Correlación = -0,976001

R-cuadrada = 95,2579 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 95,0083 porciento

## 2-Secado convectivo a 60°C

### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	-0,000715147	0,0787105	-0,00908579	0,9930
Pendiente	-0,0480727	0,00110217	-43,6165	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	31,1983	1	31,1983	1902,40	0,0000
Residuo	0,114796	7	0,0163994		
Total (Corr.)	31,3131	8			

Coefficiente de Correlación = -0,998165

R-cuadrada = 99,6334 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,581 por ciento

## 3-Secado Convectivo a 80°C

### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0,375722	0,168234	2,23333	0,0670
Pendiente	-0,0789467	0,00402157	-19,6308	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	26,1769	1	26,1769	385,37	0,0000
Residuo	0,40756	6	0,0679267		
Total (Corr.)	26,5844	7			

Coeficiente de Correlación = -0,992305

R-cuadrada = 98,4669 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,2114 porciento

### 3-VALORES DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS CÁPSULAS SECAS

Tratamientos	%HumedadDesvió estándar
Microonda	9,81± 0,4425
Secado 60	10,05± 0,2885
Secado 80	7,29± 0,1950

### 4 – AJUSTE DE LOS DATOS EXPERIMENTALES A LAS ECUACIONES DE GAB (GUGGENHEIM, ANDERSON Y DE BOER), HALSEY Y HENDERZON.

#### 1)-Modelo de GAB

##### 1.1-Microondas

**Resultados de la Estimación:**  $X_m * c * k * a_w / ((1 - k * a_w) * (1 - k * a_w + c * k * a_w))$

			Intervalo Confianza a	95,0%
		Error Estándar	Asintótico	
Parámetro	Estimado	Asintótico	Inferior	Superior
Xm	5,36407	1,35764	1,59464	9,13351
C	14,1878	30,7705	-71,2451	99,6208
K	0,942361	0,0650762	0,76168	1,12304

R-Cuadrada = 91,9957 porciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 87,9936 porciento

Error estándar del est. = 2,54629



## 1.2-Secado convectivo a 60°C

### Resultados de la Estimación

			Intervalo Confianza a	95,0%
		Error Estándar	Asintótico	
Parámetro	Estimado	Asintótico	Inferior	Superior
Xm	4,79987	0,240666	4,13167	5,46807
C	8,94325E12	1,16455E-13	8,94325E12	8,94325E12
K	0,974821	129,904	-359,696	361,646

**R-Cuadrada = 94,2089 por ciento**

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 91,3133 por ciento

Error estándar del est. = 2,11171

## 1.3-Secado convectivo a 80°C

### Resultados de la Estimación

			Intervalo Confianza a	95,0%
		Error Estándar	Asintótico	
Parámetro	Estimado	Asintótico	Inferior	Superior
Xm	6,74595	2,88156	-1,25456	14,7465
C	5,39941	7,41693	-15,1933	25,9922
K	0,891818	0,102351	0,607647	1,17599

**R-Cuadrada = 94,039 por ciento**

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 91,0585 por ciento

## 2) Modelo de Halsey

### 2.1-Microondas

Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	2,37081	0,411953	5,75504	0,0022
Pendiente	-1,25285	0,160429	-7,80935	0,0006

Coefficiente de Correlación = -0,961367

R-cuadrada = 92,4226 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 90,9071 porciento

A=10,71 r=1,253

### 2.2-Secado convectivo 60°C

Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	3,04429	0,623032	4,88626	0,0045
Pendiente	-1,48195	0,23837	-6,21703	0,0016

Coefficiente de Correlación = -0,940987

**R-cuadrada = 88,5456 porciento**

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 86,2548 porciento

A= 21,00r=1,482

### 2.3-Secado convectivo a 80°C

Coefficientes

	<b>Mínimos Cuadrados</b>	<b>Estándar</b>	<b>Estadístico</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error</b>	<b>T</b>	<b>Valor-P</b>
Intercepto	3,05831	0,673302	4,54226	0,0062
Pendiente	-1,49204	0,258514	-5,77159	0,0022

Coefficiente de Correlación = -0,932465

**R-cuadrada = 86,949 por ciento**

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 84,3388 por ciento

A= 21,29r= 1,492

### 3) MODELO DE HENDERSON

#### 3.1-Microondas

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	-3,54269	0,645433	-5,48886	0,0027
Pendiente	1,34433	0,251355	5,34835	0,0031

#### Análisis de Varianza

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Modelo	4,22769	1	4,22769	28,60	0,0031
Residuo	0,738982	5	0,147796		
Total (Corr.)	4,96667	6			

Coefficiente de Correlación = 0,922611

**R-cuadrada = 85,1212 por ciento**

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82,1454 por ciento

K= 0,0289 n=1,344

### 3.2-Secado convectivoa 60°C

#### Coeficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	-4,10965	1,01976	-4,03002	0,0100
Pendiente	1,52957	0,390156	3,92041	0,0112

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	3,74753	1	3,74753	15,37	0,0112
Residuo	1,21914	5	0,243828		
Total (Corr.)	4,96667	6			

Coeficiente de Correlación = 0,86864

**R-cuadrada = 75,4536 por ciento**

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 70,5444 por ciento

K= 0,0164 n=1,530

### 3.3-Secado convectivoa 80°C

#### Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	-4,14329	1,04578	-3,96192	0,0107
Pendiente	1,54746	0,401526	3,85395	0,0120

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3,71581	1	3,71581	14,85	0,0120
Residuo	1,25086	5	0,250173		
Total (Corr.)	4,96667	6			

Coeficiente de Correlación = 0,864956

**R-cuadrada = 74,8148 por ciento**

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 69,7778 por ciento

K= 0,0159n=1,548

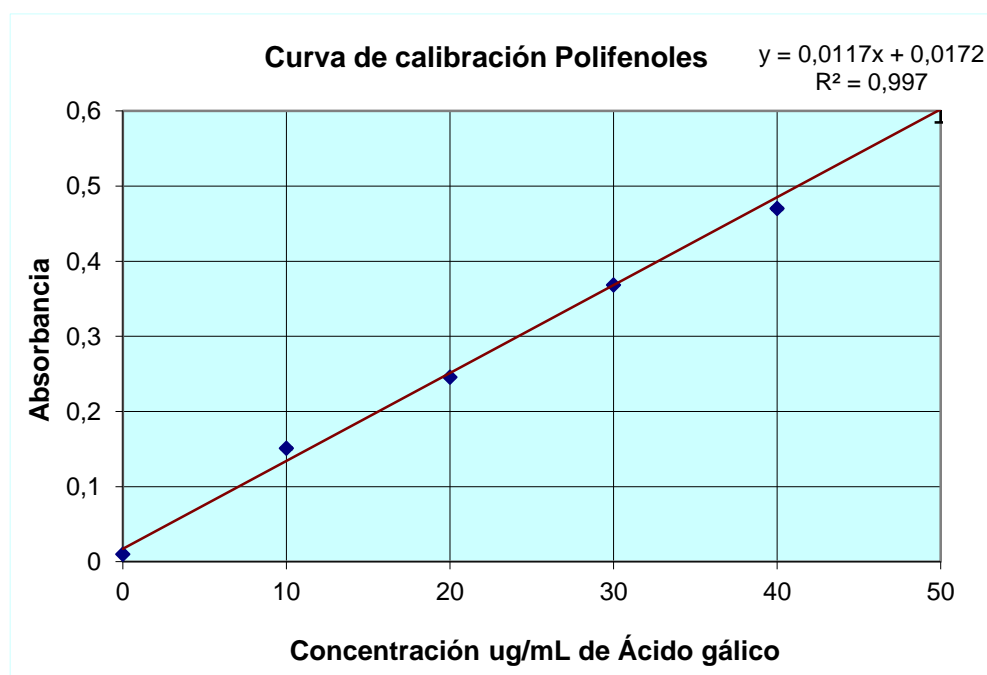
**4-VALORES DEL AJUSTE EXPERIMENTAL DE LAS ISOTERMAS AJUSTADO  
AL MODELO GAB**

a <sub>w</sub> GAB	a <sub>w</sub> exp	Humedades					
		MO expe	MOGAB	S60exp	S60 GAB	S80expe	S80GAB
0,05	0,11	4,08	2,32	5,87	1,58	5,88	1,42
0,1	0,52	8,13	3,52	8,69	2,60	8,69	2,55
0,113	0,57	13,49	3,76	10,41	2,82	10,03	2,82
0,15	0,64	9,87	4,37	13,83	3,39	14,16	3,53
0,2	0,74	18,49	5,06	17,35	4,07	17,46	4,42
0,25	0,75	19,8	5,70	18,86	4,70	19,9	5,26
0,3	0,84	24,96	6,33	29,97	5,32	25,58	6,09
0,35			6,98		5,97		6,94
0,4			7,69		6,67		7,84
0,45			8,47		7,44		8,80
0,5			9,37		8,33		9,86
0,55			10,41		9,37		11,06
0,6			11,66		10,63		12,45
0,65			13,19		12,19		14,09
0,7			15,12		14,20		16,07
0,75			17,65		16,91		18,56
0,8			21,12		20,76		21,77
0,85			26,20		26,71		26,12

## 5 - RESULTADOS DE CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES

Mat Seca (g %)	Pendiente	Dintercept	WT	Prom Gral	DS Gral	CV % Gral
90,9	0,0117	0,0172	19,046	19,68	0,811	4,12
90,9	0,0117	0,0172	18,953			
90,9	0,0117	0,0172	20,111			
90,9	0,0117	0,0172	20,606			
92,1	0,0117	0,0172	19,791	20,12	0,459	2,28
92,1	0,0117	0,0172	19,657			
92,1	0,0117	0,0172	20,535			
92,1	0,0117	0,0172	20,490			
89,5	0,0117	0,0172	19,702	19,93	0,192	0,96
89,5	0,0117	0,0172	19,839			
89,5	0,0117	0,0172	20,063			
89,5	0,0117	0,0172	20,110			

## 6 - CURVA DE CALIBRACIÓN PARA POLIFENOLES



## 7-CURVA DE CALIBRACIÓN PARA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

