

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Ingeniería

**DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

Microencapsulación de hierro por medio de coacervación  
para la adición en alimentos evitando el resabio

**TESIS**

Que como parte de los requisitos que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN DISEÑO E INNOVACIÓN**

**P R E S E N T A:**

**Lic. CRISTIAN JOSUÉ MENDOZA MENESES**

**DIRIGIDA POR:**

**DRA. MARCELA GAYTÁN MARTÍNEZ**

**CO-DIRIGIDA POR:**

**DR. EDUARDO MORALES SÁNCHEZ**

Santiago de Querétaro, Diciembre 2018



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Diseño e Innovación

Microencapsulación de hierro por medio de coacervación para la adición en alimentos evitando el resabio

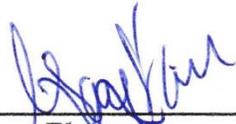
Opción de titulación  
**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestría en Diseño e Innovación

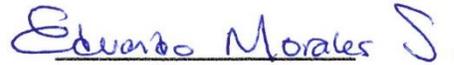
**Presenta:**  
Cristian Josué Mendoza Meneses

**Dirigido por:**  
Dra. Marcela Gaytán Martínez  
**Co-dirigido por:**  
Dr. Eduardo Morales Sánchez

Dra. Marcela Gaytán Martínez  
Presidente

  
Firma

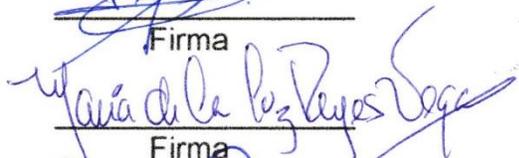
Dr. Eduardo Morales Sánchez  
Secretario

  
Firma

Dra. Margarita Contreras Padilla  
Vocal

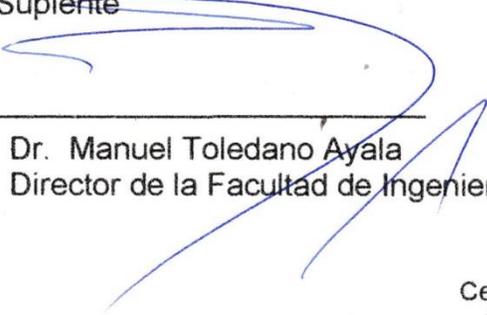
  
Firma

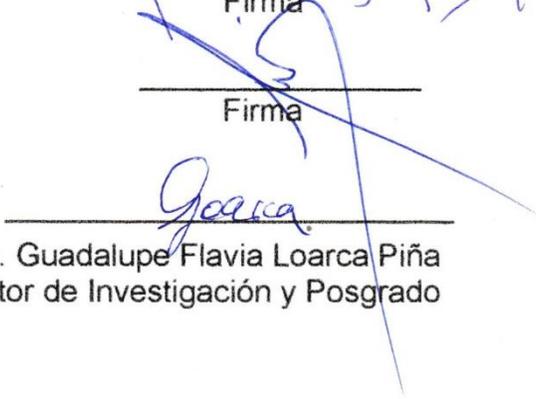
Dra. María de la Luz Reyes Vega  
Suplente

  
Firma

Dra. Ma. Sandra Hernández López  
Suplente

  
Firma

  
Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad de Ingeniería

  
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Director de Investigación y Posgrado

## Resumen

La deficiencia de hierro es uno de los problemas más comunes en la población mexicana. Sin embargo, la adición de hierro en forma de sales ferrosas (que es la forma más común de enriquecimiento) puede comprometer las características sensoriales del alimento. Una técnica que ha permitido desarrollar materiales micro y nanométricos es la electroestática. La combinación de coacervación con la electroestática puede mejorar la eficiencia del encapsulamiento. Las ventajas de la microencapsulación abarcan desde protección del compuesto bioactivo como núcleo a condiciones del medio ambiente o al entorno donde se pretende ser liberado. Por lo que el objetivo del trabajo fue realizar un proceso de microencapsulación de hierro por electroestática y coacervación que proteja al micronutriente de condiciones de pH bajo y de efectos térmicos, para adicionarlas en alimentos sin modificar el sabor. Para ello se evaluaron las condiciones del proceso de electroestática para las suspensiones de alginato de sodio con sulfato ferroso, en flujo de alimentación (mL/min) y aplicación de alto voltaje (kw). Los resultados mostraron que las mejores condiciones fueron la suspensión al 16% de sulfato ferroso con un flujo de alimentación de 0.12 mL/min y una aplicación de voltaje de 8kv. Obteniendo mayor contenido de hierro y eficiencia de encapsulamiento en tamaños de 600µm. Este tratamiento presentó una estabilidad del compuesto a temperaturas hasta 120°C, así mismo, este tratamiento presentó un perfil de liberación del compuesto resistente a pH ácidos. El análisis de costos del proyecto determinó que existe viabilidad financiera para el desarrollo del producto, ya que se obtuvieron valores de las leyes financieras que avalan la rentabilidad del proyecto. La combinación de los procesos de microencapsulación permitió obtener tamaños de partícula no antes reportados, que esto a su vez tiene la ventaja de que el compuesto de hierro no cambia la percepción del sabor de los alimentos receptores. Por lo que se considera una innovación incremental, ya que mejora la calidad nutrimental del alimento receptor con una fortificación mayor a otros productos en el mercado.

Palabras clave: Microencapsulación, electroestática, sulfato ferroso.

## Abstract

Iron deficiency is one of the most common problems in the Mexican population. However, the addition of iron in the form of ferrous salts (which is the most common form of enrichment) can compromise the sensory characteristics of the food. One technique that has allowed the development of micro and nanometric materials is electrostatic. The combination of coacervation with electrostatic can improve the efficiency of encapsulation. The advantages of microencapsulation range from protection of the bioactive compound as a core to environmental conditions or the environment where it is intended to be released. So the objective of the work was to perform a process of microencapsulation of iron by electrostatics and coacervation that protects the micronutrient from low pH conditions and thermal effects, to add them to foods without changing the flavor. For this, the conditions of the electrostatic process for the suspensions of sodium alginate with ferrous sulphate, in feed flow (mL / min) and high voltage application (kv) were evaluated. The results showed that the best conditions were the 16% suspension of ferrous sulphate with a feed flow of 0.12 mL / min and a voltage application of 8kv. Obtaining higher iron content and encapsulation efficiency in 600 $\mu$ m sizes. This treatment showed a stability of the compound at temperatures up to 120 ° C, likewise, this treatment presented a release profile of the compound resistant to acidic pH. The cost analysis of the project determined that there is financial viability for the development of the product, since values were obtained from the financial laws that guarantee the profitability of the project. The combination of the microencapsulation processes allowed obtaining particle sizes not previously reported, which in turn has the advantage that the iron compound does not change the perception of the taste of the recipient foods. For what is considered an incremental innovation, since it improves the nutritional quality of the recipient food with a greater fortification than other products in the market.

Key words: Microencapsulation, electrostatic, ferrous sulfate.

## Dedicatorias

Con todo mi cariño de dedico este esfuerzo a las personas más importantes en mi vida.  
A mi familia por siempre apoyarme en todas las decisiones, sin importar que raras parezcan.  
Y por supuesto a Karen, quien siempre ha estado conmigo en cada momento y me alienta a seguir adelante.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme llegar hasta este momento de mi vida, por todas las oportunidades y por todos los momentos difíciles de los cuales también.

A mis padres, Silvia y Noé por siempre apoyarme en mi vida, por darme palabras de aliento y ser un ejemplo de lucha y perseverancia. Al igual que a mis hermanos, Silvia y Noé, que estuvieron conmigo en los momentos más difíciles.

A la Dra. Marcela Gaytán, por aceptar dirigir este barco, que parecía ir a la deriva sin rumbo fijo, pero que termino siendo una de las mejores experiencias académicas de mi vida, al igual que mi grupo de comité que me apoyo con su experiencia y conocimiento.

A mis compañeros de maestría, en especial Edgar, Lupita, Guanda, Pame y Montse, que compartimos penas, trabajos, preocupaciones y éxitos.

Y sobre todo Agradezco a Karen, mi compañera, mi amiga, mi novia, que además de soportar una y otra vez las exposiciones de mi tema, hasta que a todos nos quedara claro, siempre me apoyo en cada momento de flaqueza y de debilidad.

Agradezco profundamente a CONACYT, por la confianza en este proyecto y el financiamiento de este (796218), que permitió el desarrollo de este proyecto de forma integral.

También agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro por el apoyo en el empleo de recursos literarios, maquinaria, equipo y espacios. Y por el fondo de proyectos especiales de rectoría (FOPER-2018-00418) por el apoyo económico para la realización del presente trabajo.

## Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
2.1. Generalidades del hierro.....	3
2.2. Tipos de hierro .....	4
2.3. Fuentes de hierro.....	5
2.4. Causas de la deficiencia de hierro .....	6
2.5. Tipos de deficiencia de hierro .....	7
2.6. Biodisponibilidad del hierro .....	8
2.7. Elementos inhibidores y promotores.....	9
2.8. Ingesta de hierro .....	9
2.9. Alimentos Fortificados.....	10
2.10. Problemas en la fortificación con hierro .....	12
2.11. Microencapsulación .....	13
2.11. Materiales de pared usados para microencapsular .....	17
2.12. Usos de la microencapsulación .....	19
<b>3. Temas a desarrollar</b> .....	20
3.1. Descripción del problema .....	20
3.2. Justificación .....	21
3.3. Hipótesis .....	22
3.4. Objetivo General:.....	22
3.5. Objetivo Particular: .....	22
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	23
4.1. Materiales .....	23

4.2. Métodos.....	23
4.2.1. Lluvia de ideas y conceptualización.....	23
4.2.2. Estudio de prefactibilidad.....	23
4.2.3. Preparación de suspensión de alginato de sodio y solución reticulante ..	24
4.2.4. Generación de cápsulas por el método convencional .....	25
4.2.5. Obtención de microcápsulas por electroestática .....	25
4.2.6. Contenido de hierro y eficiencia de encapsulación.....	26
4.2.7. Tamaño y morfología de las microcápsulas.....	26
4.2.8. Estabilidad térmica de la microcápsula.....	27
4.2.9. Perfil de liberación de la microcápsula.....	27
4.2.10. Evaluación sensorial de una gomita fortificada con microcápsulas de hierro .....	27
4.2.11. Creación de imagen comercial .....	28
4.2.12. Análisis de costos .....	28
4.2.13. Análisis estadístico .....	28
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>29</b>
5.1. Lluvia de ideas y conceptualización.....	29
5.2. Estudio de prefactibilidad.....	31
5.3. Generación de cápsulas por el método convencional .....	36
5.4. Obtención de microcápsulas por electroestática .....	37
5.5. Eficiencia de encapsulamiento y contenido de hierro .....	40
5.6. Tamaño y morfología de las microcápsulas.....	45
5.7. Estabilidad térmica de las microcápsulas .....	48
5.8. Perfil de liberación de la microcápsula.....	49
5.9. Evaluación sensorial de una gomita fortificada con microcápsulas de hierro .....	50

5.10. Creación de imagen comercial .....	52
5.11. Análisis de Costos .....	57
<b>6. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
Anexo 1 Formato de Estudio de prefactibilidad .....	67
Anexo 2 Formato evaluación sensorial de un producto modelo. ....	68
Anexo 3 Carta de consentimiento informado. ....	69
Anexo 4 Datos de la entrevista de prefactibilidad. ....	70
Anexo 5 Comparación de cápsulas de AS.....	72
Anexo 6 Ficha de información técnica de aditivo desarrollado. ....	81
Anexo 7 Estado de resultados de un año de proyección financiera .....	83

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de las técnicas para microencapsulamiento .....	14
<b>Tabla 2.</b> Clasificación del material de pared por su composición química .....	17
<b>Tabla 3.</b> Proyectos que emplearon alginato de sodio y compuestos de hierro para encapsular.....	18
<b>Tabla 4.</b> Diseño de experimento para la concentración de alginato de sodio .....	24
<b>Tabla 5.</b> Diseño de experimento de concentración de cloruro de calcio .....	24
<b>Tabla 6.</b> Identificación de las muestras fortificadas para análisis sensorial .....	28
<b>Tabla 7.</b> Lista de requerimientos y especificaciones.....	29
<b>Tabla 8.</b> Conceptualización del producto .....	31
<b>Tabla 9.</b> Productos adicionados con hierro, presentes del mercado 2017, estudio de prefactibilidad .....	32
<b>Tabla 10.</b> Parámetros evaluados de los diferentes tratamientos de microcápsulas con sulfato ferroso en condiciones de electroestática. ....	43
<b>Tabla 11.</b> Valores proyectados del TIR y la TREMA.....	59

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Tipos de microcápsulas por su estructura (Nava-Reyna et al., 2015) ...	14
<b>Figura 2.</b> Esquema del proceso en la producción de microcápsulas.....	16
<b>Figura 3.</b> Tipo de alimentos que deberían estar fortificados.....	33
<b>Figura 4.</b> Defectos, problemas o situaciones en el proceso de fortificación.....	34
<b>Figura 5.</b> Características para un aditivo en el proceso de fortificación.....	34
<b>Figura 6.</b> Cualidades del producto final fortificado.....	35
<b>Figura 7.</b> Beneficios de los productos fortificados.....	35
<b>Figura 8.</b> Perlas de alginato de sodio de 1.5g en 1N de CaCl <sub>2</sub> .....	36
<b>Figura 9.</b> Proceso de formación de las cápsulas por el método convencional.....	37
<b>Figura 10.</b> Perfil de viscosidad de las suspensiones.....	38
<b>Figura 11.</b> Conductividad eléctrica de las suspensiones.....	39
<b>Figura 12.</b> Gráfica de superficie del porcentaje de eficiencia de encapsulamiento de la concentración al 16% de sulfato ferroso.....	40
<b>Figura 13.</b> Gráfica de superficie del porcentaje de eficiencia de encapsulamiento de la concentración al 33% de sulfato ferroso.....	41
<b>Figura 14.</b> Gráfica de superficie del porcentaje de eficiencia de encapsulamiento de la concentración al 50% de sulfato ferroso.....	42
<b>Figura 15.</b> Micrografías de los diferentes tratamientos de microcápsulas obtenidas por SEM.....	47
<b>Figura 16.</b> Estabilidad térmica del alginato de sodio, el sulfato ferroso y las microcápsulas.....	48
<b>Figura 17.</b> Perfil de liberación del compuesto en las microcápsulas a diferentes pH.....	49
<b>Figura 18.</b> Preferencia en elección de las muestras elegida por los panelistas....	51
<b>Figura 19.</b> Partes de una bolsa estilo stand up.....	52
<b>Figura 20.</b> Imagen comercial del producto con las especificaciones del Codex...	56
<b>Figura 21.</b> Conceptos para determinar la inversión inicial anual.....	57
<b>Figura 22.</b> Conceptos de la proyección financiera anual.....	58
<b>Figura 23.</b> ROA y ROE del producto proyectados de forma anual.....	60

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia en México en temas de fortificación ha implementado desde hace varias décadas programas en contra de las deficiencias de salud que afectan de manera significativa a la población (Grijalva-Haro et al., 2014). Una de las carencias con mayor relevancia en el país, es la deficiencia de hierro, este problema de salud público puede ser tratado de diferentes formas, implicando desde una dieta equilibrada y balanceada hasta una programa de suplementación del micronutriente (Alaunyte et al., 2016). Sin embargo, esta última medida es una acción determinante cuando el problema incurre en una deficiencia importante, el principal problema con esta medida es el sabor percibido del hierro, puesto que genera un retrogusto metálico, además que cambia las características de los alimentos cuando la fortificación se produce en un alimento susceptible a cambios sensoriales (Marín and Pabón, 2012).

El problema con la baja ingesta de hierro se relaciona con varias enfermedades y problemáticas de salud, en las diferentes etapas de los seres humanos, provocando desde trastornos en el crecimiento del niño, hasta comprometer su capacidad motora y desarrollo mental (Chantes et al., 2012). Los sectores más vulnerables de la sociedad son, los niños en etapa de crecimiento en la transición de la niñez a la pubertad, y las mujeres a partir de la edad reproductiva, ya que aumentan sus requerimientos de hierro en el organismo, al igual que cuando se encuentran en el embarazo (Hernández-Gálvez, 2015). Los problemas de salud son consecuencia de diferentes factores socioeconómicos, étnicos, culturales, genéticos y de comportamiento, este último, por implicaciones por la dieta no balanceada, y la poca disponibilidad de los alimentos más ricos en hierro (Mendoza et al., 2014).

Una manera de evitar que estos defectos se presenten es mediante la protección del compuesto en un sistema de encapsulación de tamaño muy reducido para evitar la percepción del compuesto activo (Valenzuela et al., 2013), por lo cual la microencapsulación es un proceso que permite la protección del compuesto y la adición en los alimentos (Nava-Reyna et al., 2015). En los métodos de

microencapsulación es necesario contar con los parámetros adecuados para cada técnica, que garanticen el mejor resultado en eficiencia de encapsulamientos y comportamiento de la microcápsula en contacto con el alimento receptor, por tal motivo es necesario determinar que materiales son los adecuados para la formación de las microcápsulas, y por consiguiente las condiciones de generación en el proceso (Babazadeh et al., 2016).

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Generalidades del hierro**

El hierro es un elemento químico esencial en muchos de los procesos fisiológicos del organismo humano, con participación esencial en el metabolismo energético, que además interviene en la circulación del oxígeno (González-Villambrosia et al., 2012). Además, el hierro es uno de los nutrientes más importantes en la alimentación humana porque está relacionado con diferentes patologías a causa de una ingesta y acumulación de hierro o una deficiencia parcial o total (Vaquero et al., 2012).

Dicha relevancia en el organismo humano es tal que cuando se tiene un consumo bajo de hierro por medio de los alimentos, se puede presentar un déficit del mineral, que puede afectar la salud en general de una persona, con síntomas tales como palidez, fatiga, mareos y en niños una reducción de crecimiento corporal y bajo desarrollo cerebral (Chantes et al., 2012). El micronutriente es indispensable, es uno de los elementos que forma la hemoglobina, una sustancia que se encarga de transportar el oxígeno a todas las células del cuerpo por medio del torrente sanguíneo. Ambos, hierro y oxígeno son necesarios para la producción de energía en la célula (Claramunt, 2010).

Se puede considerar que el hierro se encuentra presente en dos compartimientos: uno funcional que forma parte de los compuestos entre los que se encuentra la hemoglobina, mioglobina, la transferrina y las enzimas que requieren hierro como cofactor o grupo prostético. El otro compartimiento, tiene una función de depósito constituido por la ferritina y la hemosiderina, que constituyen las reservas de este mineral (Tostado-Madrid et al., 2015). Existe un equilibrio de este mineral en el organismo, donde la absorción mediante la ingesta compensa la pérdida para cumplir con los procesos necesarios, cuando el nivel del mineral se compromete por condiciones patológicas, este balance se altera y los procesos en los que interviene el hierro también se afectan. La cantidad de hierro necesaria por día es de 1 mg, que es igual a 1/2500 a 1/4000 partes de la reserva total corporal. Por lo que se

trata de un equilibrio casi perfecto entre las pérdidas y los aportes, por lo que cuando se altera la absorción se puede comprometer el proceso metabólico por carencia (Bassante et al., 2017).

## 2.2. Tipos de hierro

El hierro para el organismo se obtiene de los alimentos, su contenido y estado químico influirán en el nivel de absorción a través del intestino. Los estados químicos del hierro en los alimentos son el hierro hemínico y no hemínico (Vaquero et al., 2012). Tostado-Madrid (2015) menciona que sólo se absorbe el 10% del hierro de la dieta y esta absorción depende de los factores de inhibición o la presencia de promotores que pueden influir en la absorción.

Hierro hemínico: La obtención de este tipo de hierro se da principalmente por ingesta de carne, el cual alcanza una absorción de 30%; sin embargo, en algunos alimentos como vísceras se estima que el porcentaje de absorción es del 15 al 18%. La diferencia entre estos valores radica en la forma en la que está presente en los alimentos, es decir en las vísceras se encuentra como hierro de depósito, como ferritina. La interacción con otros factores, como el estado de depósitos corporales de hierro, la cantidad de calcio en la comida y la forma de preparación de los alimentos determinará la forma de utilización de este tipo de hierro (Brito, 2006).

El hierro hemínico tiene un método de absorción diferente al del hierro no hemínico. Al ingerir alimentos con hierro hemínico, la hemoglobina y la mioglobina se degradan en el estómago por el ácido clorhídrico y la pepsina, por enzimas pancreáticas donde el grupo hemo se estabiliza por productos de la degradación de la globina (Tostado-Madrid et al., 2015). El hierro hemínico pasa por el proceso de endocitosis, así que es degradado por la hemo oxigenasa para ser separado del grupo hemo (Forrellat et al., 2000; Barragán-Ibañez et al., 2016)

Hierro no hemínico: Este hierro se encuentra presente en alimentos de origen vegetal y en algunos alimentos de origen animal como el huevo y la leche, sin embargo, la absorción de este hierro es deficiente, se estima que solo se llega a asimilar el 5% de la cantidad total de hierro que contiene el alimento, y además es muy susceptible a la interacción con inhibidores o promotores de la absorción (Aguilera, 2009).

El hierro no hemínico, para poder atravesar la membrana celular, debe de reducirse, pasando del estado químico férrico al estado ferroso, por acción de diferentes ácidos y enzimas que segregan tanto el estómago como la vesícula biliar. La interacción con elementos promotores forma quelatos de hierro de bajo peso molecular y esto hace más fácil su absorción, principalmente en el duodeno, aunque la absorción se pueda dar en todo el tracto digestivo, la velocidad con la que se absorbe el hierro en el organismo se ve facilitada por la apotransferrina del citosol (Forrellat et al., 2000).

### 2.3. Fuentes de hierro

El hierro que se obtiene de los alimentos se encuentra prioritariamente en forma hemínico, cuya principal fuente son las carnes y derivados, por otra parte el hierro no hemínico se obtiene de alimentos básicamente de origen vegetal (Chacón-Barliza, 2011).

Una buena fuente de hierro hemínico es la sangre, las vísceras en general, en especial el hígado, el riñón y el corazón. Al igual que carne rojas, aves y pescados de los cuales se estima que pueden contener hasta el 40% de hierro hemínico de la cantidad total (Carbajal, 2013).

Entre las carnes con mayor contenido de hierro hemínico se encuentran la vaca, el cerdo y el cordero, así como las menudencias de la perdiz y la vaca, además del caballo y el conejo. Otras fuentes cárnicas son los pescados y los mariscos como

almejas, chirlas, berberechos, anchoas, sardinas, caracoles, ostras, bacalao y pescadilla (Glasauer, 2006).

Entre los alimentos que contiene mayor cantidad de hierro no hemínico se encuentran los frijoles, las lentejas, las verduras, frutas de color verde y cereales enteros (DIF, 2015). Otros de los alimentos ricos en hierro son los garbanzos, el arroz, el germen de trigo, las almendras, las avellanas, las ciruelas secas, higos secos, uva pasa, nueces, piñones, pistachos y semillas de girasol (Glasauer, 2006).

#### 2.4. Causas de la deficiencia de hierro

La deficiencia de hierro en la dieta es la principal causa de anemia en el mundo. De acuerdo con investigaciones previas, se sabe que aproximadamente 2.000 millones de personas padecen anemia y el 50% es causada por una deficiencia de hierro (Pita-Rodríguez et al., 2013; Mendoza et al., 2014). En los países en desarrollo los sectores en mayor riesgo son los niños y los adolescentes. Sus necesidades o requerimientos no son cubiertos por la dieta habitual, la cual tiene cantidades insuficientes de hierro (Sinisterra et al., 2006).

En los países en vías de desarrollo se encuentra una carencia nutricional debido al inadecuado consumo de nutrientes, por lo que la deficiencia de hierro puede ser de carácter multietiológico: en aspectos como el consumo y empleo de compuestos de hierro, la pérdida crónica de sangre por organismos parasitarios, ciertos males genéticos y por problemas infecciosos e incluso inflamatorios (Bassante et al., 2017).

El hierro es uno de los nutrientes más importantes en la edad temprana de toda persona, su deficiencia se refleja en anemia, que en niños pequeños está relacionada a un retraso en el desarrollo cognitivo (Frontela, 2015). El primer síntoma de la deficiencia de hierro es la anemia, pero existen otros que son secundarios, como debilidad, dolores de cabeza, irritabilidad, diversos grados de fatiga e intolerancia al ejercicio y fisuras en la comisura de la boca. Sin embargo, la

gran mayoría de los pacientes son asintomáticos. Uno de los síntomas más comunes y más fáciles de identificar, es el síndrome de las piernas inquietas, el cual se caracteriza por una molestia intensa en las piernas en reposo, como cosquilleo y sensación de un calambre, que sólo se alivia al caminar (Mendoza et al., 2014; Barragán-Ibañez et al., 2016)

## 2.5. Tipos de deficiencia de hierro

La deficiencia de hierro tiene varios causantes de diferentes aspectos, por problemas gastrointestinales especialmente aquellos en los que la pérdida de sangre es crónica, infección por *H. pylori*, gastritis atrófica o enfermedad celiaca. Las deficiencias patológicas deben llevar un tratamiento con sales de hierro ferroso que son las que se encuentra en mejor biodisponibilidad respecto a las sales férricas, siendo el sulfato ferroso la sal con mayor prescripción por sus mejores características (Ruiz-Delgado, 2014).

Por lo general se identifican tres tipos de deficiencias de hierro: Agotamiento de las reservas de hierro, lo cual indica que las reservas de hierro están agotadas, pero el suministro de hierro funcional aún se mantiene. Deficiencia de hierro funcional temprana: lo cual muestra un bajo nivel de hierro funcional que repercute en el deterioro para formar glóbulos rojos, aunque no lo suficiente baja para provocar una anemia grave (Quest and Leyton, 2014). Anemia ferropénica que consiste en una disminución en la producción de eritrocitos o en una más rápida destrucción de los mismos por medio de la pérdida de la sangre o una deficiente alimentación (Vilaplana, 2001). Según Quest (2012) la anemia aparece cuando no hay suficiente hierro para sostener la producción de glóbulos rojos. Este tipo de anemia se caracteriza por ser microcítica e hipocrómica, es decir que los glóbulos rojos son más chicos de lo normal y su contenido de hemoglobina es menor al referente.

Para la Organización Mundial de la Salud la anemia es una condición donde el contenido de hemoglobina en la sangre ésta por debajo de los valores considerados

como referencia. Estos valores varían con la edad, el sexo, el embarazo y la ubicación geográfica (Delgado et al., 2013).

La anemia ferropénica constituye el 90% de las anemias en los infantes, en muchos de los casos se estipula una leve o moderada disminución de hierro. La frecuencia de esta anemia varía en cada población, y puede depender de la edad, el grupo de población, composición étnica, hábitos alimentarios, factores socioeconómicos, parásitos intestinales e incluso el método para determinar la deficiencia de hierro (Mesa, 2015).

## 2.6. Biodisponibilidad del hierro

Se entiende como biodisponibilidad a la cantidad de hierro que es absorbido por el cuerpo, y que es utilizado en el organismo, el más importante parámetro para identificar la biodisponibilidad del hierro es su estado químico (González-Urrutia, 2005; Pita-Rodríguez et al., 2013).

La biodisponibilidad del hierro no hemínico se ve afectada principalmente por su estado en el que se encuentra al momento de la ingesta, el porcentaje de hierro no hemínico que se asimila en el organismo es del 2 al 20%, aunque este valor puede aumentar hasta 4 veces con la ingesta de promotores de absorción en conjunto con la fuente de hierro (González-Urrutia, 2005).

La biodisponibilidad del hierro no hemínico está relacionada con la interacción con otros componentes de los alimentos que por lo general se encuentra al hierro en su forma férrica, la dieta de las personas en América está basada principalmente en granos de donde se obtiene el 50% del hierro no hemínico, así que la ingesta más prominente es de una fuente no tan accesible, por lo que es necesario combinar el consumo con fuentes que sean ricas en hierro biodisponible (Alaunyte et al., 2016).

El hierro se solubiliza y oxida bajo las condiciones normales del estómago, pero al pasar al medio alcalino del duodeno, los átomos del hierro precipitan formando hidróxido férrico insoluble, para favorecer la absorción del hierro existen elementos

promotores de dicha acción, los ácidos orgánicos, azúcares y aminoácidos forman complejos con el hierro (Bassante et al., 2017).

## 2.7. Elementos inhibidores y promotores

El hierro no hemínico es más variable respecto a su absorción y disponibilidad en el alimento para ser captado por el organismo, esto debido a que tiene una alta interacción con elementos que complican su asimilación por el organismo, algunos de estos factores son los fitatos, el calcio y los polifenoles de algunos alimentos como el té, el café y el cacao (Gallo et al., 2014).

El principal promotor de la absorción del hierro no hemínico es el ácido ascórbico, que dona equivalentes reductores al pasar a ácido deshidroascórbico. La principal fuente de vitamina C en los alimentos se encuentran en frutas como guayaba, lima, limón, naranja, toronja, mandarina, mango, ciruela, níspero, mamey, piña y guanábana. Al igual que lo encontramos en vegetales como pimiento, berro, col, rábano, lechuga, tomate y aguacate (Reyes et al., 2009). Otro de los promotores de la absorción del hierro son los aminoácidos cárnicos, la vitamina A y los fructooligosacáridos, sin embargo con estos últimos las investigaciones más recientes demuestran que existe una mejor absorción de minerales, aunque persiste la controversia por que también fomentan la absorción del calcio, un inhibidor del hierro (Urdampilleta et al., 2010).

## 2.8. Ingesta de hierro

De acuerdo con esto la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) depende de la edad y el sexo de las personas; para un niño o niña de 4 a 8 años la IDR es de 10mg/día, y de igual forma para niños y niñas entre 9 y 13 años de edad la IDR es de 8mg/día (Quest and Leyton, 2014).

De tal manera para cubrir la ingesta diaria recomendada se deben consumir 180g de carne al día y consumir de preferencia caballo, ternera o cerdo, al igual el consumo de huevo, en especial la yema se sugiere de 2 a 3 veces por semana. Y en el caso del pescado consumir 4 o 5 veces a la semana.

En cuanto a los alimentos fuente de hierro no hemínico se recomienda el consumo de legumbres de 3 a 4 veces por semana, al igual que las frutas 2 o 3 piezas al día, procurando que sean ricas en vitamina C. También se recomienda el consumo de 2 raciones de verduras al día y evitar alimentos como el té, el café y el chocolate cuando se está comiendo, estos alimentos no interfieren en la absorción del hierro siempre y cuando se consuman entre horas, no en combinación con fuentes ricas en hierro (Group SAGESSA, 2012).

En diferentes países de América Latina se emplea el uso de programas que ayudan a combatir la deficiencia de hierro y de micronutrientes en general, la mayoría de estos programas consta de brindar alimentos que contribuyan a la salud contra este estado de carencia, cuando la población es vulnerable y específica como en el caso de niños, se han usado compotas de frutas fortificadas con hierro y zinc y de leche en polvo igualmente fortificada con micronutrientes (Pita-Rodríguez et al., 2013).

## 2.9. Alimentos Fortificados

Existen diferentes maneras para lograr que una persona ingiera la cantidad necesaria de nutrientes, y más cuando las condiciones de la ingesta, asimilación o captación son difíciles para la persona. Las tres maneras más comunes para lograr esto son: mejorar la diversidad alimentaria, la fortificación de alimentos y la suplementación (Rovirosa and Zapata, 2014).

La forma preventiva antes de tener una deficiencia por hierro es mejorar la cantidad y calidad de comida que ingerimos, y la suplementación es una medida de prevención y de tratamiento contra la anemia, sólo que los suplementos se administran a grupos específicos de personas por tiempos limitados y dosis

controladas. Aunque en países con alto desarrollo la población consume suplementos de hierro como medidas preventivas entre el 10 y 30% de la población (Haro et al., 2008).

La fortificación es un proceso donde se puede aumentar la ingesta de hierro y de otros minerales, como medida para combatir y prevenir la deficiencia tanto de hierro como de zinc, en México, se implementan programas de ayuda para disminuir problemas de salud, relacionados con la salud y el estado nutricional de las personas, desde 1994, se desarrolla el Programa de Abasto Social de Leche Liconsa que vende leche a precio accesible para familias en condiciones socioeconómicas bajas, con niños menores de 12 años y/o niñas menores de 15 años. Para mejorar la calidad de vida de estas familias en el 2000, la leche empezó a fortificarse con hierro y zinc con el fin de mejorar la condición de deficiencia de micronutrientes, el alcance de este proyecto abarca el 9.7 de los hogares mexicanos, lo que equivale a aproximadamente 6 millones de habitantes (Grijalva-Haro et al., 2014). La fortificación de alimentos es la mejor manera y más sostenible forma de prevenir y contrarrestar la deficiencia de hierro, ya que una de sus principales ventajas es que no se requiere de informar al consumidor y que la implementación es de bajo costo. Sin embargo existen productos como la harina de trigo que se emplea como medio de transporte para el consumo de hierro ya que su fortificación fue aceptada desde los años 40's por la *Food and Drug Administration* (FDA) y además es uno de los alimentos más consumidos en el mundo en diferentes formas como galletas, panes e incluso pastas (Galán et al., 2014). La fortificación consiste en adicionar micronutrientes a ciertos alimentos, esta técnica con respecto a las dos pasadas se considera la mejor para lograr que las personas consuman vitaminas y minerales, con un amplio espectro de aceptación y sobre todo de verificación (Rovirosa and Zapata, 2014). Existen tres categorías de fortificación la obligatoria en harinas, la focalizada en alimentos complementarios, productos en polvo y preparados, y la voluntaria en productos comerciales procesados (Dary et al., 2002).

El objetivo de los alimentos fortificados es adicionar uno o más micronutrientes, para que las personas consuman en la dieta una mayor cantidad de estos compuestos en una concentración de un 10% o más de la dosis diaria de referencia (Durán et al., 2012). Por tal motivo, la fortificación de hierro en los alimentos es una de las mejores estrategias para combatir problemas que afectan a una gran población que presenta deficiencias de hierro.

## 2.10. Problemas en la fortificación con hierro

La adición de hierro en forma de sales ferrosas (que es la forma más común de enriquecimiento) puede comprometer las características sensoriales del alimento en especial las sales ferrosas por lo que es indispensable proteger el elemento activo para evitar estos efectos adversos no deseables (Galán et al., 2014; Hernández-Gálvez, 2015).

Las sales ferrosas como el sulfato ferroso, puede presentar cambios en los alimentos por la interacción de los iones libres del sulfato ferroso con el alimento. Además, este compuesto funciona como catalizador, que ayuda a oxidar los ácidos grasos y fomentar el enranciamiento de los lípidos. Otros compuestos como el fumarato ferroso no son tan comunes en la fortificación de alimentos, en especial en estado líquido, ya que al ser de una solubilidad menor a la del sulfato ferroso, este tiende a sedimentarse, aunque interactúa en menor medida con el alimento. Y finalmente existe el hierro elemental que no producirían cambios en los alimentos, pero la biodisponibilidad que presenta es muy baja (Guerra et al., 2016).

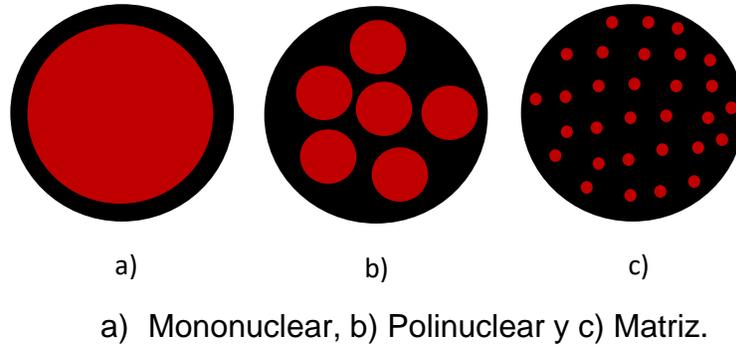
Cuando la fortificación de los alimentos se realiza con hierro de alta biodisponibilidad como el sulfato ferroso, los cambios pueden ocurrir con mayor frecuencia, sin embargo, en los alimentos adecuados, el cambio puede ser imperceptible (Hijar et al., 2015).

## 2.11. Microencapsulación

La encapsulación es la retención de un compuesto activo por un material de recubrimiento (Ray et al., 2016). Por lo tanto, cuando se refiere a microencapsulación se determina el tamaño de los encapsulados de 3 -1000  $\mu\text{m}$  (Valenzuela et al., 2013). Un tipo de partícula es la microcápsula, las cuales contiene una sustancia activa que está rodeada por otro material diferente, las cuales no están mezcladas sino en suspensión una dentro de la otra (Nava-Reyna et al., 2015). Esta tecnología para encapsular puede emplearse para contener compuestos bioactivos en diferentes estados físicos (sólido, líquido y gaseoso) formando las partículas de tamaño microscópico (Valenzuela et al., 2013).

La técnica de encapsulamiento tiene su origen en la primera mitad del siglo XX, con la aparición de la coacervación, que ha sufrido numerosos cambios en su implementación y hasta en la función original que cumplía que consistía en recubrir colorantes para papel. Tiempo después los usos se extendieron hasta campos como la medicina y la alimentación cumpliendo funciones de encapsular otro tipo de compuestos como vitaminas, minerales incluso aromas y sabores (Cuatzo, 2010). Actualmente se trata de la encapsulación de compuestos bioactivos, que son sustancias que tienen efecto en los organismos vivos, órganos, tejidos, aparatos, incluso células. Algunos de estos compuestos son los fitoesteroles, ácidos grasos, prebióticos, minerales, etc.

En la Figura 1, se muestra los tres tipos de microcápsula clasificadas de acuerdo con su morfología: la cuales con mononucleares y polinucleares y tipo matriz. Esto se entiende ya que las microcápsulas están compuestas de dos fases: el núcleo y la pared, las cuales deben ser compatibles (Costamagna et al., 2017), la primera fase, la interna, es el material activo a envolver mientras la segunda fase es el material empleado para dicha acción, ambos aspectos dependen del tipo de método que se empleará para la encapsulación y el fin con el que se usarán las microcápsulas (Nava-Reyna et al., 2015).



**Figura 1.** Tipos de microcápsulas por su estructura (Nava-Reyna et al., 2015)

Las ventajas de la microencapsulación abarcan desde protección del compuesto bioactivo como núcleo a condiciones del medio ambiente o al entorno donde se pretende ser liberado, estos factores externos pueden ser humedad, pH, temperatura, oxidación, exposición a luz. Los principales compuestos que necesitan de esta protección son compuestos como antioxidantes, pigmentos, aceites poliinsaturados, vitaminas y minerales. Otra ventaja de la microencapsulación es la liberación controlada en un intervalo de tiempo, un sitio específico en el organismo en condiciones especiales (Valenzuela et al., 2013).

En la Tabla 1, se presentan las diferentes técnicas para la microencapsulación, que pueden estar divididos en tres categorías.

**Tabla 1.** Clasificación de las técnicas para microencapsulamiento

Categoría	Métodos
Procesos físicos	Secado por aspersión, extrusión y recubrimiento por aspersión.
Procesos químicos	Polimerización interfásica e inclusión molecular.
Procesos fisicoquímicos	Coacervación simple o compleja, atrapamiento en liposomas y gelificación.

Elaboración propia basado en datos de (Hernández-Torres et al., 2016)

La técnica de producción define el tamaño de la partícula (Babazadeh et al., 2016). Las técnicas de encapsulación se clasifican en tres categorías; los procesos físicos (Giro-Paloma et al., 2016), los procesos químicos (Dias et al., 2017), y los procesos

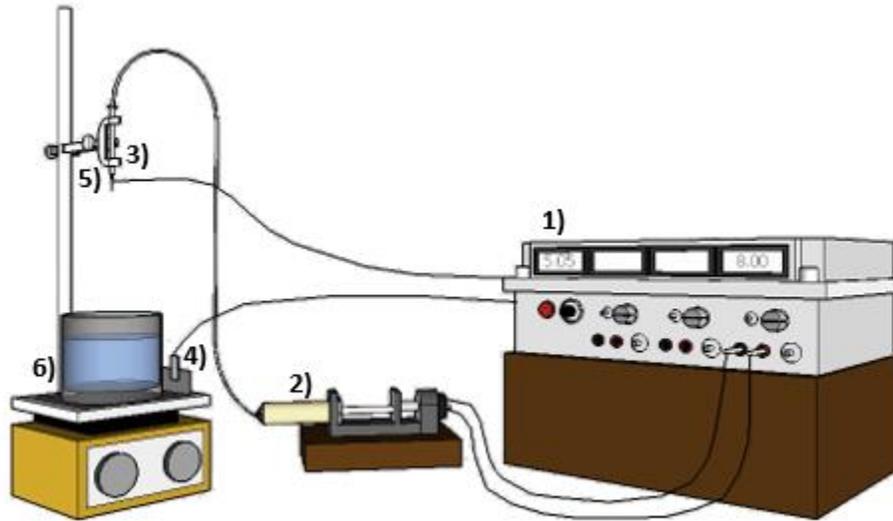
fisicoquímicos. La coacervación y electrohilado son dos técnicas que se han usado para microencapsular (Zhu, 2017).

La técnica de encapsulación por coacervación consiste en un soluto polimérico que se dispersa en forma de gotas líquidas de tamaño reducido, que por deposición (entendiendo por deposición el depósito de un compuesto químico en disolución sobre una superficie) de este material coacervado en contacto con partículas insolubles dispersas en un líquido forma capsulas de manera inicial. Seguido de una gelificación de forma correcta se genera las cápsulas finales (Madene et al., 2006). Este es un método fisicoquímico que se ha empleado para producir microcápsulas con contenido de enzimas, ácidos grasos, aminoácidos, organismos, entre otros compuestos (Nava-Reyna et al., 2015).

Por lo que se puede resumir la coacervación en tres pasos: 1) La formación de tres fases inmiscibles (Fase líquida o continua, el material a recubrir y el material de pared); 2) La deposición del material de pared sobre el material a recubrir y 3) solidificación de la cubierta.

Las principales ventajas del proceso de encapsulamiento por coacervación son la formulación de cápsulas del tamaño de hasta  $4\mu\text{m}$  y puede contener material a encapsular de hasta el 90%. Por lo tanto, el método de encapsulamiento por coacervación para conservar características de algún elemento es la ideal.

Una técnica que ha permitido desarrollar materiales micro y nanométricos es la electroestática (Herrera-Martínez, 2014). Esta se define como el estudio de las cargas eléctricas que interactúan entre los cuerpos. La combinación de coacervación con la electroestática, que aplica un diferencial de potencial entre polos magnéticos opuestos como se muestra en la Figura 2, mejora la eficiencia del encapsulamiento. El resultado de esta combinación genera un producto en forma de gotas o fibras desde  $200 - 500\text{nm}$  (Soto-Martínez, 2014; Pérez and Matte, 2017). Sin embargo diferentes propiedades de la solución, los parámetros del procesos y algunas condiciones ambientales pueden afectar las características de la microcápsula (Wen et al., 2017).



**Figura 2.** Esquema del proceso en la producción de microcápsulas

1) Panel de control: motores y alto voltaje. 2) Reservorio de la suspensión. 3) jeringa de 1mL con aguja de 30G. 4) Primer electrodo: placa magnética. 5) Segundo electrodo: Aguja de la jeringa. 6) Solución recolectora.

En cuanto el material para la encapsulación, la principal característica es que el material debe ser compatible con el polímero del receptor y ser insoluble o muy poco soluble en el medio de coacervación. Sin embargo existe una gran gama de materiales que se pueden emplear en la encapsulación, por lo que podemos encontrar lípidos, en específico la grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, entre otros (Yáñez et al., 2005) también se encuentran los carbohidratos, en los grupos de almidones, maltodextrinas y gomas, y por último las proteínas utilizadas por ser alimentos hidrocoloides, por ejemplo el caseinato de sodio, proteína de lactosuero y el aislado de soya, además del gluten y la gelatina este elemento final ampliamente usado por sus propiedades par emulsificar, formar películas, solubilidad en agua y su biodisponibilidad (Favaro-Trindade et al., 2010).

## 2.11. Materiales de pared usados para microencapsular

En la Tabla 2, se muestra los materiales de pared usados para obtener microcápsulas que se clasifican según su composición química.

**Tabla 2.** Clasificación del material de pared por su composición química

Tipos de cobertura	Cobertura específica
Gomas	Agar, alginato de sodio, carragenina, goma arábica
Carbohidratos	Almidón, dextranos, sacarosa, jarabes de maíz
Celulosas	Etilcelulosa, metilcelulosa, acetilcelulosa, nitrocelulosa, carboximetil-celulosa
Lípidos	Ceras, parafinas, diglicéridos, monoglicéridos, aceites, grasas, ácido esteárico, trisetearina
Proteínas	Gluten, caseína, albúmina
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos

Elaboración propia basado en los datos de (Nava-Reyna et al., 2015)

Entre los materiales de pared se han usado carbohidratos (Dias et al., 2017), compuestos lipídicos (Zhu, 2017) y proteínas (Ying et al., 2016). Un material ampliamente usado es el alginato, un biopolímero lineal polianiónico compuesto por ácidos D-manúrico y L-gulurónico, extraído de algas que tiene las características de ser no tóxico, y que es empleado por su capacidad para formar geles, esferas y micro y nano partículas. Las ventajas de este material son que su ingesta no representa un daño, sino que se considera como fibra la cual ayuda en diferentes aspectos de la salud, como la reducción de azúcar, de colesterol en sangre y que este material alarga la vida útil de los compuestos, además que presenta buena biocompatibilidad y biodegradabilidad (Hernández-Torres et al., 2016).

Se han reportado trabajos con alginato de sodio como material de pared, para microencapsular compuestos de hierro para lograr la protección del compuesto. En la Tabla 3, se muestran algunos trabajos asociados con la protección de los

compuestos de hierro, donde el objetivo general fue usar el alginato de sodio como un material de pared que brindará protección al compuesto seleccionado.

**Tabla 3.** Proyectos que emplearon alginato de sodio y compuestos de hierro para encapsular

Titulo	Material de pared	Material de núcleo	Método	Referencia
<i>Preparation and characterization of heme iron-alginate beads</i>	Alginato de sodio	Eritrocitos deshidratados y atomizados	Secado por aspersión	Valenzuela et al. (2014)
<i>Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent evaporation method e Milk fortification</i>	Goma Arábica Maltodextrina Almidón modificado	Sulfato ferroso	Secado por aspersión	Gupta et al. (2014)
<i>Composite chitosan/alginate hydrogel for controlled release of deferoxamine: A system to potentially treat iron dysregulation diseases</i>	Quitosano Alginato de sodio	deferoxamine mesylate salt	Secado por aspersión	Rassu et al. (2016)

Como se puede apreciar en la Tabla 3, un factor en común de los trabajos anteriormente mencionados es el método de encapsulación. El secado por aspersión es un proceso físico, en el cual por medio de un embudo de tamaño reducido la solución es atomizada sobre una corriente contraria de aire caliente lo que resulta en pequeñas partículas secas del material deseado. La desventaja de este proceso es la aplicación de una fuente de calor, lo que puede comprometer la calidad del compuesto de hierro y por lo tanto se puede obtener una baja encapsulación de hierro biodisponible.

## 2.12. Usos de la microencapsulación

La industria de la microencapsulación está siendo ampliamente utilizada para obtener productos con nuevas características que antes ocasionaban dificultades en los procesos, los avances tecnológicos permiten obtener resultados que abarcan desde una mayor estabilidad en los núcleos de las microcápsulas, así como resistencia a pH diferentes y a influencia de otros compuestos, estos beneficios se han podido aplicar tanto al sector de los alimentos, como para fármacos, microorganismos, el desarrollo de nuevas aplicaciones y procesos mejorando las condiciones de durabilidad (Hernández-Torres et al., 2016).

Actualmente la microencapsulación se ha empleado para un sinnúmero de beneficios en la industria de los alimentos desde encapsular aromas, sabores, compuesto activos e incluso material biológico como microorganismos y enzimas, esto implica un avance en la calidad de los productos que se generan gracias a la adición de estos compuestos microencapsulados. En efecto que se han fortificado diferentes clases de alimentos, que por su preferencia se han posicionado como alimentos básicos en la dieta de la población mexicana (PROFECO, 2013; Grijalva-Haro et al., 2014).

En el ámbito de la alimentación la microencapsulación se ha empleado con diferentes propósitos por ejemplo la microencapsulación de ácido ascórbico mediante maltodextrina donde se trata de proteger al ácido ascórbico de factores químicos y físicos para evitar su degradación (Poveda-Tapia, 2017) e incluso se ha podido microencapsular probióticos con el mismo fin de proteger el núcleo de la microcápsula y además controlar la liberación de este componente para que el compuesto activo pueda realizar la función biológica de manera más eficiente (De Araújo et al., 2015). Por último, el uso de la tecnología de la microencapsulación es tan práctica que se usa para mejorar la alimentación de varias especies animales, lo que mejora en el sector industrial, los niveles de producción, el nivel de pérdidas en vidas animal, la disminución de puntos de riesgo y de infecciones todo con el fin de mejorar las formas convencionales con las que se ha tratado la mejora de la salud en general (Hernández-Gálvez, 2015).

### **3. Temas a desarrollar**

#### **3.1. Descripción del problema**

El consumo mínimo requerido de hierro es de 18 mg al día en adultos y 10 mg por día en niños. Su deficiencia puede causar severos problemas de salud que inicia con una deficiencia de hierro en el organismo lo que puede comprometer la producción de glóbulos rojos, y por lo tanto desencadenar un estado anémico en la persona (Barragán-Ibáñez et al., 2016).

Los alimentos fortificados son una gama de productos que están destinados a mejorar las condiciones nutrimentales normales de los productos, los alimentos son de diferente origen y se fortifican con diferentes compuestos dependiendo del alimento, entre lo más común existe la fortificación con vitaminas y minerales, el proceso de fortificación es muy importante, ya que el consumo de vitaminas y minerales no es frecuente ni adecuado en la dieta de las personas en México.

De tal forma que un miembro de los grupos más vulnerables como los niños, no consume ni la mitad de la IDR por diversas situaciones, sin embargo, la más común es que la suplementación de hierro infiere sabores y colores no gratos en los alimentos.

El problema que solucionar es agregar sales de hierro en los alimentos, sin cambiar las características sensoriales del alimento, en tamaños de partícula que no sean perceptibles para el consumidor para poder fortificar alimentos con el micronutriente.

### 3.2. Justificación

La fortificación de minerales en especial es un tratamiento complicado por el grado de requerimiento de este. En los alimentos el adicionar hierro en forma de sales tiene problemas por el cambio de características sensoriales del alimento, en especial con el sabor y el color de dicho alimento, cuando se realiza un proceso de fortificación directa en una cantidad importante (Marín and Pabón, 2012). Por lo tanto, se limita el poder incorporar concentraciones mayores de hierro en los alimentos.

En la actualidad existen diferentes productos fortificados con vitaminas y minerales, sin embargo, los productos con una importante fortificación de hierro son productos para un sector económico elevado consumidos de forma principal en países desarrollados, mientras en los países en desarrollo se consumen alimentos adicionados con hierro en productos básicos lo que en la mayoría de los casos se ingiere el 10 %VNR, este consumo por lo tanto es insuficiente.

Las técnicas de coacervación y electroestática para encapsular permitirán producir cápsulas de un tamaño microscópico, lo que evitara cambios no deseables en los alimentos receptores de las microcápsulas. Además, las microcápsulas contendrán un alto contenido de hierro lo que beneficiara la fortificación de los alimentos para la población en general.

Con esto, el consumo de hierro en la dieta de las personas será mayor y por lo tanto contará como una medida preventiva para la aparición de problemas de salud relacionado con la deficiencia de hierro, de forma principal en sectores con más vulnerabilidad a sufrir este tipo de deficiencia que son las mujeres en la adolescencia, en el embarazo y los niños de diferentes edades.

### 3.3. Hipótesis

La microencapsulación de hierro ferroso por electroestática y coacervación permitirá proteger al compuesto de condiciones de bajo pH y dará estabilidad térmica sin alterar las características sensoriales de los productos a los que se adicionará.

### 3.4. Objetivo General:

Realizar un proceso de microencapsulación de hierro por electroestática y coacervación que proteja al micronutriente de condiciones de pH bajo y de efectos térmicos, para adicionarlas en alimentos sin modificar el sabor.

### 3.5. Objetivo Particular:

Determinar las condiciones para microencapsular hierro por medio de electroestática y coacervación para obtener la mejor eficiencia de encapsulamiento.

Evaluar las características fisicoquímicas y térmicas del hierro microencapsulado por electroestática y coacervación para obtener el mejor tratamiento.

Evaluar el perfil de liberación de hierro microencapsulado por coacervación y electroestática con el fin de simular las condiciones digestivas humanas.

Evaluar la aceptación sensorial de un alimento modelo enriquecido con 20% de la IDR de hierro microencapsulado por coacervación y electroestática.

Determinar la imagen comercial del producto y determinar la viabilidad financiera para la producción de las microcápsulas.

## **4. METODOLOGÍA**

### 4.1. Materiales

Para la encapsulación de hierro se utilizó sulfato ferroso en forma de cristales heptahidratados (CAS 7782-63-0) de la marca Meyer, Química Suastes, S.A. de C.V. (SF) en diferentes concentraciones (p/p) como núcleo, se empleó alginato sódico (CAS 9005-38-3) (AS) como material de pared y como material reticulante se usó cloruro de calcio (CAS 10043-52-4) ( $\text{CaCl}_2$ ), ambos obtenidos de la marca Deiman S.A. de C.V. (México).

### 4.2. Métodos

#### 4.2.1. Lluvia de ideas y conceptualización

Se realizó una lluvia de ideas con las características esenciales a cumplir para el desarrollo de un producto, se presentaron en forma de lista donde cada una marca un requerimiento y/o deseo del producto, con la finalidad de cumplir una función específica del producto, para posterior, seleccionar aquellas especificaciones que permitieron conceptualizar los atributos que brindaron mayor beneficio al producto (Donado, 2014).

#### 4.2.2. Estudio de prefactibilidad

Se realizó una búsqueda de productos para determinar en primera instancia los productos con mayor presencia en el mercado con algún grado de adición de hierro, para determinar el mercado meta, una vez determinado del mercado meta se realizó una entrevista por el método de diseño enfático con el objetivo de observar actitudes y comportamientos de los consumidores, este método se utiliza para determinar consumidores potenciales, se realizó la entrevista a 5 profesionistas con conocimientos sobre el proceso de fortificación, en cuanto a beneficios y sobre posibles mejoras en la elaboración de los productos. En la realización de este estudio se utilizó un formato de entrevista (anexo 1).

#### 4.2.3. Preparación de suspensión de alginato de sodio y solución reticulante

##### *Suspensión de alginato de sodio*

En la Tabla 4, se muestra las concentraciones de alginato de sodio que se emplearon, para lo cual cada concentración se pesó y esparció en 60 mL de agua destilada y se agitó magnéticamente en un barnstead thermolyne SP46 (Iowa, USA) por 30 minutos a 25°C, posteriormente se aforó a 100 mL para conseguir cada suspensión.

**Tabla 4.** Diseño de experimento para la concentración de alginato de sodio

Muestra	Alginato (%)	Alginato (g)	Tiempo (min)	Velocidad
1	0.5	0.5	30	Alta
2	1	1	30	Alta
3	1.5	1.5	30	Alta
4	2	2	30	Alta
5	2.5	2.5	30	Alta
6	3	3	30	Alta
7	3.5	3.5	30	Alta

##### *Solución reticulante de cloruro de calcio*

En la Tabla 5, se muestra la concentración empleada para la solución reticulante, la cual se preparó con CaCl<sub>2</sub> en 60 mL de agua destilada y se agitó magnéticamente en un barnstead thermolyne SP46 (Iowa, USA) por 5 minutos a 25°C, se aforó a 100 mL para obtener cada solución.

**Tabla 5.** Diseño de experimento de concentración de cloruro de calcio

Muestra	CaCl <sub>2</sub> (N)	CaCl <sub>2</sub> (g)	Tiempo (min)	Velocidad
1	1	5.5	5	Media
2	0.75	4.17	5	Media
3	0.5	2.78	5	Media

#### 4.2.4. Generación de cápsulas por el método convencional

Se goteó cada solución de AS en cada solución de  $\text{CaCl}_2$  para obtener diferentes características en cada muestra. Las cápsulas formadas se filtraron y enjuagaron con agua destilada para eliminar el exceso de  $\text{CaCl}_2$  para su almacenaje. A la mejor combinación de AS con  $\text{CaCl}_2$ , se les agregó SF en diferentes concentraciones. Los parámetros de selección de estas combinaciones fueron la fluidez, la forma de la gota en la aguja y la interacción de esta con la solución reticulante.

#### *Integración de sulfato ferroso en cápsulas de alginato de sodio*

Para obtener las cápsulas con SF, este fue solubilizado en 10 mL de agua destilada y se agregaron a 90 mL de la suspensión de AS en concentraciones de 16, 33, 50 y 66% (p/v) con respecto al material de cobertura, las suspensiones se agitaron con un barnstead thermolyne SP46 (Iowa, USA) por 5 minutos. Se goteó cada solución de AS/SF en la solución de  $\text{CaCl}_2$ . Las cápsulas formadas se filtraron y enjuagaron con agua destilada para eliminar el exceso de  $\text{CaCl}_2$  para su almacenaje.

#### 4.2.5. Obtención de microcápsulas por electroestática

A las suspensiones con SF se les midió viscosidad con un reómetro Anton Paar MCR-101 (Graz, Austria) a  $25^\circ\text{C}$  con una geometría ST24-2D/2v/2v-30 y se prosiguió a pasar las suspensiones de AS/SF al equipo de electroestática en una jeringa de 10 mL con una aguja de 30G (Primer electrodo), donde en diferentes condiciones de alto voltaje (6, 7 y 8 kvolts), flujo de avance (0.12, 0.14 y 0.16 mL/min) y distancia entre electrodos, se atrajo por medio del campo magnético generado una gota hacia la solución reticulante en agitación continua encima de una placa de metal (segundo electrodo) a una distancia de 10 cm. Las microcápsulas formadas se filtraron y enjuagaron con agua destilada para eliminar el exceso de  $\text{CaCl}_2$  para su almacenaje (Pelipenko et al., 2013).

#### 4.2.6. Contenido de hierro y eficiencia de encapsulación

Para determinar el contenido de hierro en las microcápsulas se empleó la técnica de volumetría donde se analizó de manera cuantitativa el volumen del reactivo titulante, permanganato de potasio al 1N, el cual reaccionó estequiométricamente con una solución de oxalato de sodio al 1N diluido con ácido sulfúrico al 5% como esta reportado por (Verde et al., 2013) para la estandarización. Para determinar el contenido de hierro se colocaron 2 mL del agua de reposo de las microcápsulas, 3 mL de agua destilada y 1 mL de ácido sulfúrico diluido al 10%, y se sometieron al análisis para determinar el valor teórico contenido contra el valor teórico total de la solución.

Para determinar la eficiencia de encapsulamiento se aplicó la siguiente fórmula, donde  $Fe_t$  es el hierro total agregado y  $Fe_s$  es el hierro contenido en el agua de reposo de las microcápsulas (Urquia-Zegarra, 2015).

$$\%EE = \frac{Fe_t - Fe_s}{Fe_t} \times 100 \quad (1)$$

#### 4.2.7. Tamaño y morfología de las microcápsulas

Para determinar el tamaño se empleó un microscopio óptico modelo digital con sensor 2MP en un rango de 300 – 1000X en magnificación. Se evaluaron 60 microcápsulas por tratamiento, mostrando el tamaño promedio  $\pm$  desviación estándar. Esta prueba se realizó por triplicado.

Para el estudio de la morfología de las microcápsulas, se utilizaron un microscopio electrónico de barrido ambiental Phenom Pro (Eindhoven, Países Bajos) que se acondicionó para trabajar en módulo de bajo vacío, con el haz de electrones ajustado a 5 kV. Las imágenes se tomaron a 150 y 500x.

#### 4.2.8. Estabilidad térmica de la microcápsula

La estabilidad térmica se analizó en un calorímetro modelo DSC-1 Mettler Toledo (Schwerzenbach, Switzerland), se pesaron 3g de muestra en un crisol de aluminio de 40 $\mu$ L, el cual fue sellado con mediante un cierracrisoles de soldadura en frio (modelo ME-00119410). La muestra se dejó reposar por 15 minutos. Posteriormente se realizó un endoterma de 30 a 240°C con un aumento de temperatura de 10°C/min. Se empleó un crisol vacío como referencia. Se reporta la temperatura de estabilidad y la entalpia de degradación. Las mediciones se realizaron por duplicado. Se reporta la medición  $\pm$  desviación estándar.

#### 4.2.9. Perfil de liberación de la microcápsula

El perfil de liberación se evaluó colocando doce gramos de microcápsulas en una solución buffer a pH 2, 4 y 7.4 a una temperatura de 37°C durante 4 horas. Se analizó la cantidad de hierro liberado, cada 10 minutos los primeros 60 minutos, posteriormente se midieron cada 30 min. La cantidad de hierro fue analizada por titulación por volumetría (Cendejas and Ortega, 2017). Se reporta el porcentaje de liberación en un determinado tiempo. La prueba se realizó por triplicado.

#### 4.2.10. Evaluación sensorial de una gomita fortificada con microcápsulas de hierro

Para el análisis sensorial se empleó una prueba de duo-trío de diferenciación, con el objetivo de que los panelistas identifiquen, de las muestras presentadas, la muestra que es igual a la muestra de referencia (Anexo 2).

Por lo que se presentaron a 100 panelistas con consentimiento informado (Anexo 3) tres muestras, una marcada con la letra R (referencia) y dos muestras codificadas, de entre las cuales deberá elegir la similar a la referencia (Ramírez-Navas, 2012). En la Tabla 6, se muestra la identificación de las muestras entregadas a los panelistas donde una gomita fortificada al 20% de la IDR (18mg/día), mientras las otras dos muestras no estaban fortificadas.

**Tabla 6.** Identificación de las muestras fortificadas para análisis sensorial

Número de identificación	Descripción
R	Gomita control sin fortificación
613	Gomita sin fortificación
484	Gomita fortificada con el 20% de la IDR en general

#### 4.2.11. Creación de imagen comercial

Para la creación de la imagen comercial se consideraron dos aspectos específicos del concepto, la marca referenciada por un logograma que identifique la naturaleza del producto y los aportes o beneficios que puede presentar (Moll and Montaña, 2016). Y como segundo concepto el diseño comercial donde se demuestre la dirección en la que el producto está encaminado hacia el mercado (Díaz and Martín, 2016).

#### 4.2.12. Análisis de costos

El análisis financiero consistió en la evaluación de costos de producción obtenidos a partir de las razones financieras para llegar a un estado de resultados con el fin de conseguir las ventas totales proyectadas anuales, para esto se empleó el sistema de análisis vertical de datos, que es una comparación de cifras dentro de un mismo periodo, mostrando los valores de los indicadores de rentabilidad (Aguirre-López, 2016).

#### 4.2.13. Análisis estadístico

Se realizó un análisis aleatorio con un arreglo factorial 3<sup>3</sup>. Las variables analizadas fueron la relación de alginato de sodio y sulfato ferroso, el flujo de alimentación y el potencial aplicado. Los resultados se reportan con la media  $\pm$  la desviación estándar. El análisis estadístico de las pruebas se empleó ANOVA y comparación de medias empleando la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) en el paquete estadístico de MINITAB 17.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Lluvia de ideas y conceptualización

En la Tabla 7, se muestra los descriptores que se obtuvieron de la lluvia de ideas, mismos que muestran algunas de las especificaciones deseables para que cumpla el producto que se pretendía desarrollar. Las especificaciones se agruparon por concepto y categorías. Las categorías fueron dos: uno como requerimiento, entendido como un atributo que no se puede omitir, y en deseos, que es un atributo que podría o no presentarse en el producto.

**Tabla 7.** Lista de requerimientos y especificaciones

Concepto	Categoría	Descripción
Función	R	Retención de un activo biológico.
	R	Liberación y asimilación en intestino delgado.
Materiales	R	Un material de pared resistente a temperatura.
	R	Material degradable a un pH básico.
	R	Un material insoluble en agua.
Dimensiones	D	Un material perteneciente al grupo carbohidrato.
	R	Dimensiones relativamente minúsculas.
	D	Concentración de 30mg en varias partículas.
Energía	D	Apariencia de gránulos y formas esféricas.
	R	Acción de un ácido para la degradación de la materia de pared.
	D	Energía iónica para la conservación del estado deseado de la materia alimenticia.
Fabricación y montaje	R	Método sin aplicación de calor.
	R	Proceso posterior que permita la solidificación del exterior.
	D	Compatible con productos del grupo de los cereales.
Vida útil y mantenimiento	R	Conservación en humedad.
	R	Funcionalidad en organismo.
Costos y plazos	R	Proceso de fortificación inicial de costos bajos.
	D	Proceso sencillo con capacidad industrial en tiempo de producción cortos.
Seguridad	R	No tóxico.
Aspectos legales	R	La IDR para niños de 4 a 8 años es de 10mg/día y para niños de 9 a 13 de 8mg/día.

R: requerimiento, D: deseos.

Hernández-Gálvez (2015) reporta atributos similares para el tipo de desarrollo en cuanto el contenido del material, así como la función que el material desempeñará en el organismo, el tamaño del producto resultante y las condiciones de producción.

Con respecto de los diferentes aspectos para el desarrollo del producto se determinaron las características que conceptualizan al producto, estas se engrupan en tres categorías.

### **1) Agradable**

Sensorialmente. Refiriéndose al agrado general del producto para el público consumidor.

Imagen. Con aspectos relacionados a publicidad y mercadeo, que demuestren los beneficios más relevantes del producto, imagen abarca, forma del envase, material del empaque, así como los colores, tipografía, eslogan, logotipo y una filosofía de marca. Además, como imagen también se determina la presentación o la dosis de empleo.

### **2) Saludable**

Contenido de hierro. Esta característica de la conceptualización es determinada por la capacidad de retención de sales de hierro del producto. Este rubro entra en el apartado de salud, ya que es necesario que el producto desarrollado aporte el porcentaje de la ingesta diaria recomendada en una dieta de 2000 kcal, con el fin de contribuir a mejorar el estado de salud de una persona.

Adaptado a un alimento. Referido a un concepto de aditivo, Es esencial para hacerlo llegar al público, garantizar el contenido de hierro en un aporte de porcentaje de la ingesta diaria recomendada en una dieta de 2000 Kcal incorporando en un alimento. Este alimento estará determinado por las características de la cápsula.

### 3) Costeable

Producción. Aplicar un proceso de producción adecuado y de bajo costo.

Aplicación en procesos. El producto obtenido debe ser incorporado en un alimento modelo. El alimento modelo debe de cumplir con una serie de características que se enlistan en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Conceptualización del producto

Agradable	Saludable	Costeable
Sensorialmente	Contenido de hierro necesario	En cuanto a producción
Con una imagen Llamativa como marca	Adecuado a un alimento básico	En aplicación a otros procesos

#### 5.2. Estudio de prefactibilidad

El mercado meta fue determinado por tres aspectos: necesidades de producción, naturaleza del producto y funcionalidad de un sector en específico. Debido a que se propuso desarrollar un producto que será usado como aditivo para fortificar o enriquecer un alimento, el mercado estará formado por aquellas empresas que fortifiquen sus productos, tales como: harinas y derivados, polvos para preparar bebidas y concentrados para preparar alimentos.

En la Tabla 9, se muestra los productos más consumidos en México, adicionados, enriquecidos o fortificados con hierro. La NOM-086-SSA1-1994 es la que se encarga de regular los alimentos modificados en su composición, en donde se definen los siguientes términos, con base en la cantidad del micronutriente adicionado (PROFECO, 2013).

**Adicionado.** Cuando se añade un nutrimento contenido en el producto de forma original.

**Enriquecido.** Cuando se añade una o varias vitaminas, minerales, proteínas en concentraciones superiores a las que tiene de forma natural.

**Fortificado.** Cuando el producto normalmente no contiene el compuesto.

**Tabla 9.** Productos adicionados con hierro, presentes del mercado 2017, estudio de prefactibilidad

Marca	Producto	Porción (g)	VNR (%)
Selecta	Harina para tortillas	100	50.00
La moderna	Pasta de sémola de trigo	100	36.00
Maizena	Fécula de maíz para atole	100	166.66
Tres estrellas	Harina de trigo preparada	100	20.59
Quaker	Cereal de avena	100	48.50
Choco Krispis pops	Cereal de maíz sabor chocolate	100	60.00
Cal-c-tose	Polvo para preparar alimento	100	212.50
Nutri rindes	Polvo para preparar bebida	100	20.60
Vitamin chocogenius	Polvo para preparar alimento	100	72.00
Pronto	Gelatina sabor chocolate	100	11.50

VNR: Valor nutrimental recomendado

El porcentaje de VNR de adición de hierro en los productos comerciales, y el producto alimenticio en el que se incorpora, se presentan en la Tabla 9. Las características más importantes de los alimentos fueron: el estado del producto (polvos para preparar alimentos o bebidas, o alimentos precocidos), el origen del alimento (grupo de los carbohidratos) y el sabor de los productos (el chocolate), que además de cubrir la función de saborizante, encubre el posible resabio que pueda otorgar la fortificación con vitaminas y minerales.

El sector del mercado se estableció en empresas dedicadas a la industria de cereales, ya sea alimentos precocidos para preparar otro tipo de productos, panificación, galletería, harinas, entre otros.

Otro método empleado para la obtención de información usado fue el diseño enfático, también considerado como una lluvia de ideas. El objetivo del método es observar actitudes y comportamientos de los consumidores, se utiliza para identificar consumidores potenciales. Ayuda con la identificación de las

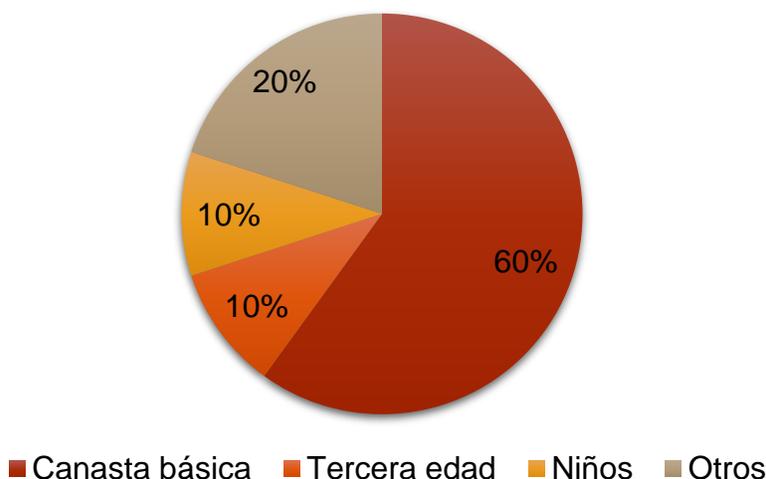
necesidades, problemas y situaciones que se presentan en el proceso de fortificación en la industria, y que repercusiones tienen en el producto final.

Además, de identificar el conocimiento de los consumidores sobre los beneficios que se obtiene al fortificar con alguna vitamina o mineral en específico.

De las entrevistas, los datos fueron interpretados y agrupados (Anexo 4) por la similitud entre las respuestas, con el propósito de facilitar su interpretación.

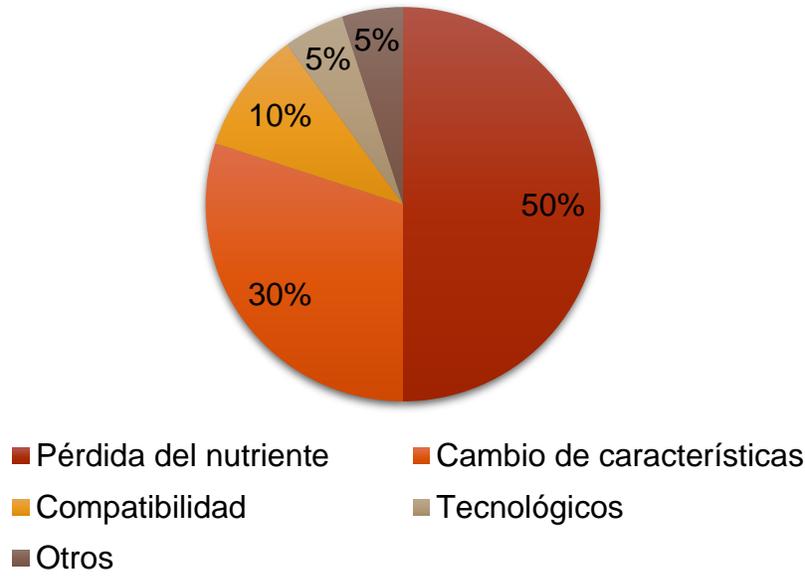
Se emplearon las respuestas con mayor frecuencia en la realización del producto, sin embargo, existen otros factores que también fueron relevantes como el económico, que influyó en el desarrollo el producto final.

En la Figura 3, se muestra los tipos de alimentos que se consideran deberían estar fortificados según la industria de alimentos en Querétaro. El alimento con mayor mención fue, los productos que conforman la canasta básica o productos de primera necesidad.



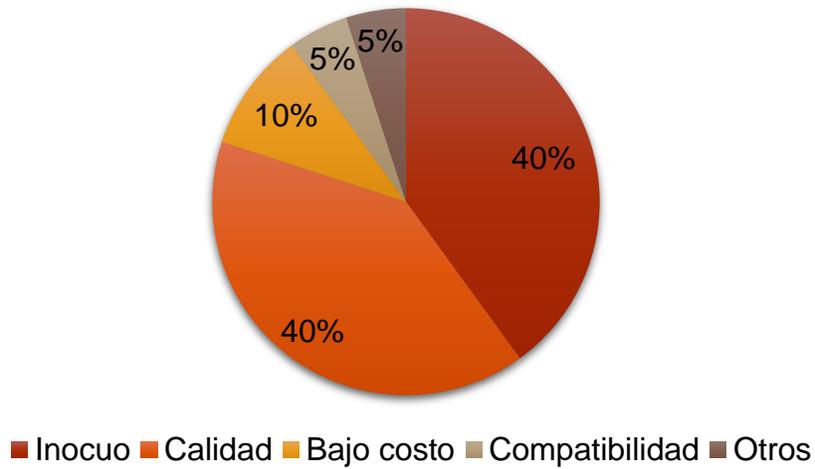
**Figura 3.** Tipo de alimentos que deberían estar fortificados

Los principales defectos y/o problemas asociados con el proceso de fortificación de los productos a los que se enfrentan las se presentan en la Figura 4. El principal problema resultó ser la pérdida del micronutriente, de manera específica, con la fortificación con vitaminas.



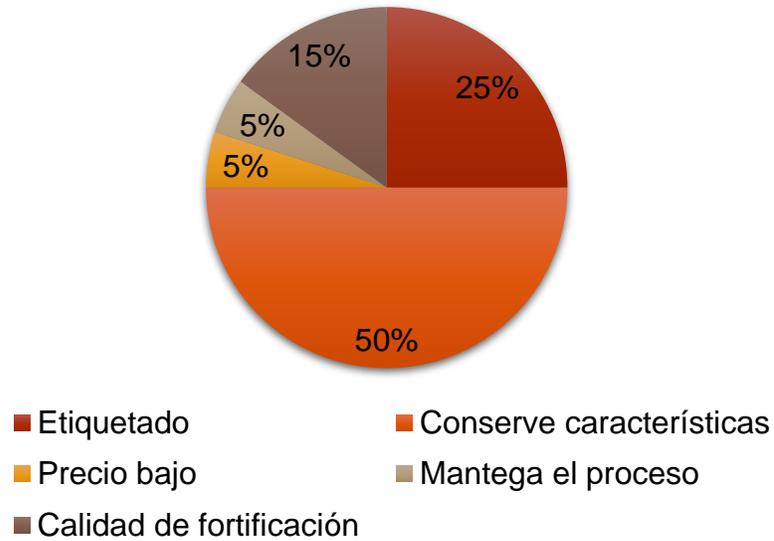
**Figura 4.** Defectos, problemas o situaciones en el proceso de fortificación

La Figura 5, muestra las características que debe cumplir un aditivo para emplearse en el proceso de fortificación en alimentos. Se busca tener un aditivo inocuo y elaborado con materia prima de alta calidad.



**Figura 5.** Características para un aditivo en el proceso de fortificación

Entre las características que el producto que se fortifica debe tener se encuentran principalmente las características sensoriales y el etiquetado del producto (Figura 6).



**Figura 6.** Cualidades del producto final fortificado

En la Figura 7, se muestra los beneficios de los productos finales fortificados para el consumidor. El principal beneficio está asociado con la salud, en aspectos como la deficiencia de hierro, así como que el consumo de hierro es una medida preventiva.

Con la información obtenida se determinó buscar un aditivo que sirva para enriquecer o fortificar alimentos que presente las siguientes características: inocuo, de costo accesible, que sea compatible alimentos, estable a los cambios de pH y temperatura, así como evitar conferir sabores indeseables al alimento que se incorpora.



**Figura 7.** Beneficios de los productos fortificados

### 5.3. Generación de cápsulas por el método convencional

Después del goteo de la suspensión de alginato de sodio sobre la solución de  $\text{CaCl}_2$  se obtuvieron 21 muestras, a las cuales se les comparó: la fluidez con la que se forma la gota en la aguja, la forma de la gota al contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  y la percepción del color de la cápsula conservada en agua destilada (Anexo 5).

En la Figura 8, se muestra la mejor cápsula de acuerdo con fluidez en la aguja y a control en el goteo por la fuerza aplicada en el embolo, la formación al contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  y por la consistencia que presenta después de la exposición en la solución fue la muestra 3 (1.5 g de alginato de sodio y 1N de  $\text{CaCl}_2$ ). Con una forma redonda muy definida en agua y en reposo.



**Figura 8.** Perlas de alginato de sodio de 1.5g en 1N de  $\text{CaCl}_2$ .

Determinada la base para la obtención de la cápsula, se agregó sulfato ferroso en distintas concentraciones en la muestra 3 (1.5 g de alginato de sodio y 1N de  $\text{CaCl}_2$ ) seleccionada por las características antes mencionadas. Como resultado se obtuvieron 4 muestras. Se consideró como parámetros importantes la fluidez de la suspensión, forma de gota en la aguja, la forma de la gota al contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  y la percepción del color de la cápsula conservada en agua.

La mayor concentración de sulfato ferroso agregado obtenida sin deformar las cápsulas fue de 0.75g de sulfato ferroso, esto respecto con apariencia y proceso. Debido que la muestra con mayor contenido de hierro (1g de sulfato ferroso) no fluyo a través de la aguja. En la Figura 9, se muestra las cápsulas de la muestra con mejor evaluación, los cuales fueron 1.5g de alginato de sodio con 0.5g de sulfato ferroso (muestra 3), sobre una solución de  $\text{CaCl}_2$  al 1N.



**Figura 9.** Proceso de formación de las cápsulas por el método convencional

1) La fluidez de la suspensión para formar una gota en la aguja. 2) La formación de la microcápsula al contacto con la solución reticulante. 3) La solidificación de las microcápsulas.

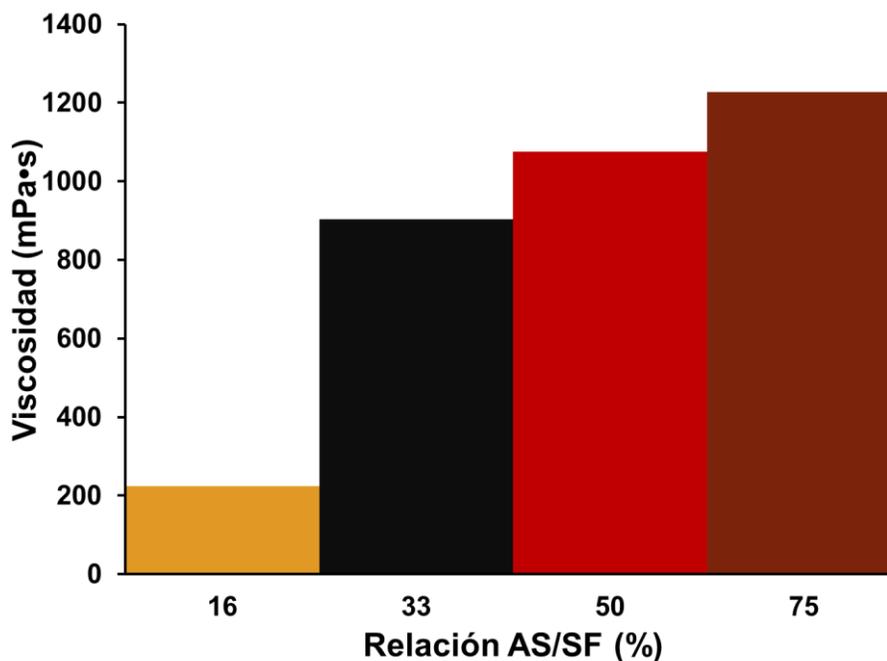
Del método convencional, se determinó la relación de la matriz de alginato de sodio a usar, así como la concentración de cloruro de calcio en la solución reticulante, que permitiera la solidificación de las microcápsulas.

Los resultados obtenidos del proceso convencional indican que al emplear la concentración del 50% de sulfato ferroso es el ideal en la formación de las microcápsulas, sin embargo, esta concentración puede modificarse cuando se somete las suspensiones a condiciones de electroestática.

#### 5.4. Obtención de microcápsulas por electroestática

La formación de las microcápsulas se relacionó con el grado de viscosidad de las muestras. En la Figura 10, se muestran los resultados de viscosidad de las

suspensiones empleadas para la formación de las microcápsulas. Los valores estuvieron entre  $224 \pm 4.37 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  hasta  $1227 \pm 11.01 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ .



**Figura 10.** Perfil de viscosidad de las suspensiones.

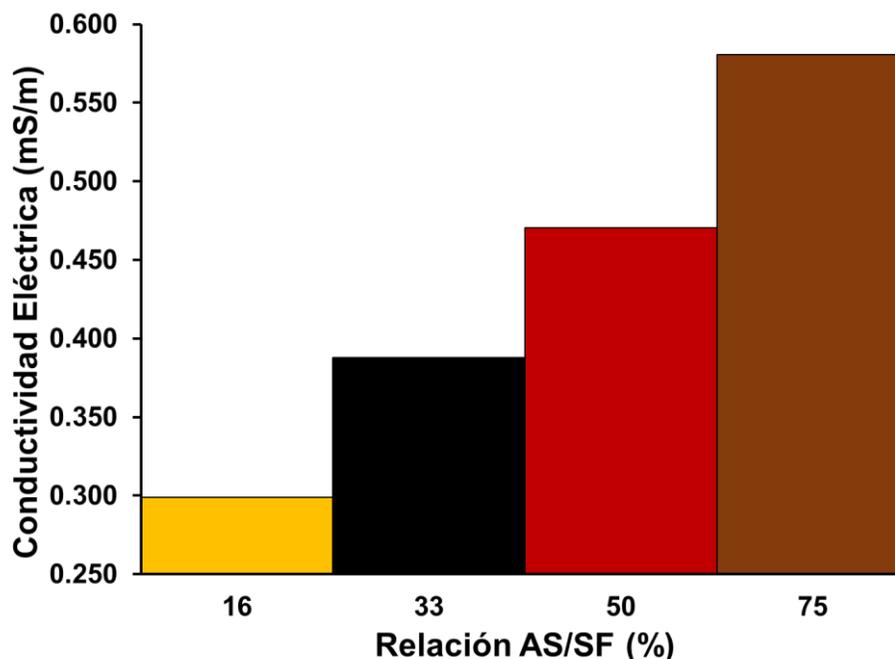
AS: Alginato de sodio, SF: sulfato ferroso.

Se puede observar que a mayor concentración de sulfato ferroso, mayor es la viscosidad de las muestras, ya que la interacción del sulfato ferroso con el alginato de sodio a mayor concentración acelera el proceso de gelificación del alginato de sodio, creando un gel semi sólido. Se ha reportado que las moléculas del alginato influye en la viscosidad resultante, ya que al entrar en contacto con el agua, estas se hidratan, lo que implica mayor retención de agua y la habilidad gelificante (Avendaño-Romero, 2013).

Soto-Martínez (2014), reportó que la viscosidad es un parámetro que afecta de manera significativa la formación de las microcápsulas cuando se emplea la técnica de electroestática, puesto que una baja viscosidad genera gotas. Se han reportado valores considerados como baja viscosidad de  $<800 \text{ cP}$  (Herrera-Martínez, 2015).

Otro factor que influye en la generación por electroestática es la conductividad eléctrica. En la Figura 11, se observa una tendencia a incrementar en medida que

el sulfato ferroso aumentaba. Los valores obtenidos estuvieron entre 0.299 mS/m hasta 0.581 mS/m.



**Figura 11.** Conductividad eléctrica de las suspensiones.

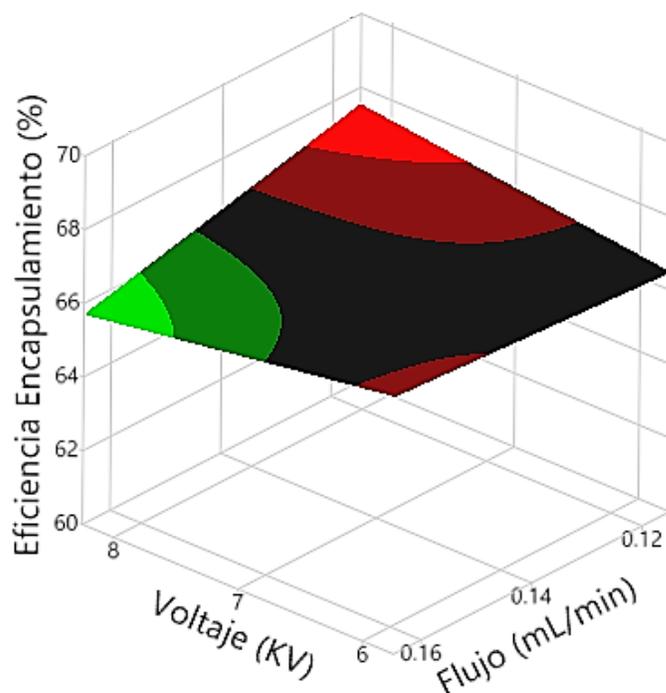
AS: alginato de sodio, SF: sulfato ferroso.

La matriz del polisacárido no presentó efecto significativo en la conductividad eléctrica cuando se solubiliza en agua, ya que los polisacáridos no son buenos conductores. Colin-Orozco et al. (2013) reportan que la conductividad está influenciada por el tipo de solvente, el material disuelto y la disponibilidad de iones libres, lo que coincide con los resultados en donde el aumento en la conductividad eléctrica es proporcional al incremento en la cantidad de hierro añadida. El sulfato ferroso es una sal que al disociarse en agua aumenta la cantidad de iones libres. Pérez-Calderón (2016), reportó que el agua potable tiene 0.04 mS/m hasta 0.2 mS/m. mientras Quintero et al. (2018) reportó valores de soluciones a base de quitosano al 2% con conductividad eléctrica de  $0.214 \times 10^{-3}$  mS/m.

Por lo tanto, se estableció usar la relación de sulfato ferroso al 16% con respecto al alginato de sodio con una viscosidad de  $224 \pm 4.37$  mPa•s y una conductividad eléctrica de 0.299 mS/m que favorece el proceso de generación por electroestática.

### 5.5. Eficiencia de encapsulamiento y contenido de hierro

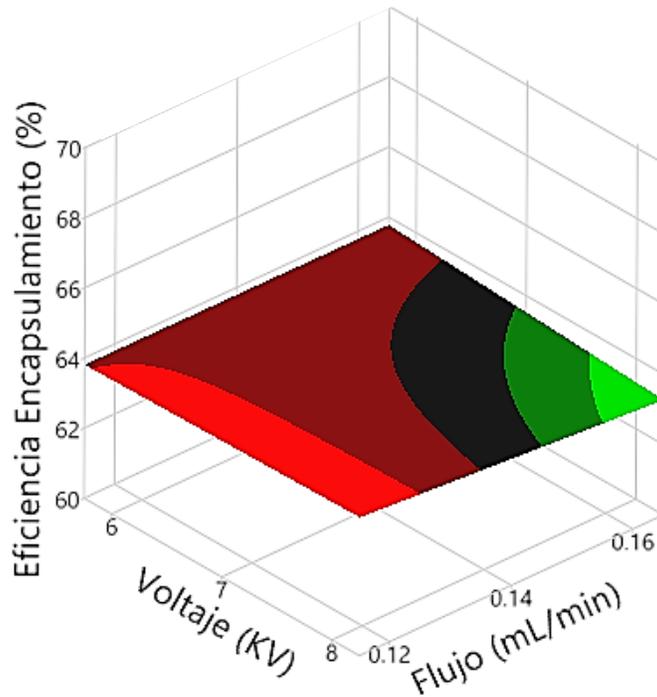
En la Figura 12, se muestra la interacción de las variables del proceso de electroestática en la formación de las microcápsulas para la relación del 16% de sulfato ferroso. Las variables utilizadas fueron el flujo de alimentación, el alto voltaje y la relación de alginato de sodio y sulfato ferroso.



**Figura 12.** Gráfica de superficie del porcentaje de eficiencia de encapsulamiento de la concentración al 16% de sulfato ferroso.

Se puede apreciar la interacción de las condiciones de electroestática, donde la mayor eficiencia en encapsulamiento es del  $66.94 \pm 1.11\%$ , la cual se consigue en condiciones de 8Kv, con un flujo de alimentación de 0.12mL/min.

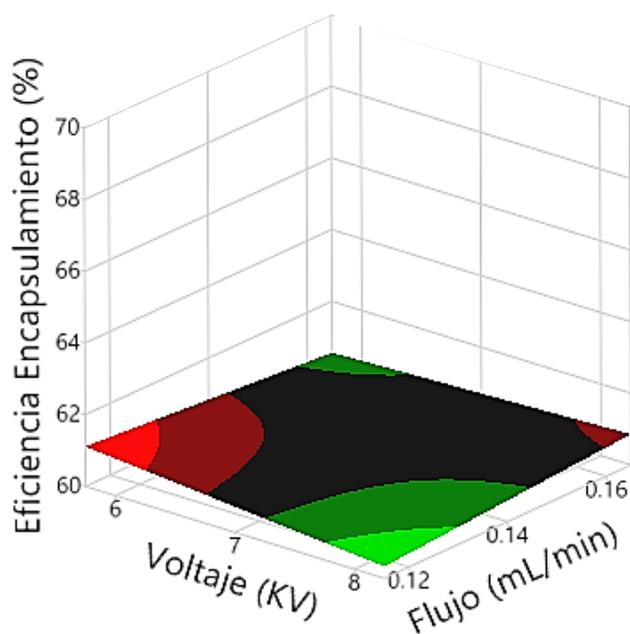
En la Figura 13, se observa la interacción de las condiciones de la generación por electroestática para la concentración del 33% de sulfato ferroso de las microcápsulas. Se puede apreciar como disminuye el porcentaje de eficiencia de encapsulamiento con respecto a la concentración anterior del 16%.



**Figura 13.** Gráfica de superficie del porcentaje de eficiencia de encapsulamiento de la concentración al 33% de sulfato ferroso.

Se puede apreciar cómo la mayor eficiencia de encapsulamiento de hierro en esta concentración se obtuvo en condiciones desde 6 a 8kv, con mayor presencia a partir de 7kv. Y un flujo de alimentación de 0.12mL/min con una eficiencia cercana al 64%.

En la Figura 14, se muestra la interacción de las condiciones de electrostática para la concentración del 50% de sulfato ferroso, donde los parámetros evaluados fueron los antes mencionados.



**Figura 14.** Gráfica de superficie del porcentaje de eficiencia de encapsulamiento de la concentración al 50% de sulfato ferroso.

Se puede observar que el porcentaje de eficiencia de encapsulamiento para esta concentración es menor que las dos anteriores, con un 61% en condiciones de 6Kv, y un flujo de alimentación de 0.12mL/min.

Las interacciones de las tres concentraciones de sulfato ferroso, determina que el flujo de alimentación con mejores resultados fue de 0.12mL/min, esto relacionado con la viscosidad de las muestras, debido a que cuando tienen mayor viscosidad la resistencia al flujo aumenta.

También se observó que en las concentraciones al 16 y 33% de sulfato ferroso aplicar 8Kv de diferencial consigue mayor porcentaje de encapsulamiento, mientras en la concentración al 50% de sulfato ferroso no ocurre. Esto puede estar relacionado con la viscosidad de la suspensión y con la forma de las microcápsulas, ya que se puede comprometer la forma de las microcápsulas cuando la fuerza de atracción entre electrodos es alta y el avance es lento. Por lo que, puede presentar fisuras, malformaciones o algún otro tipo de defectos en la pared de la microcápsula

que merme el contenido de hierro en las cápsulas y por lo tanto el porcentaje de encapsulamiento.

El alto voltaje y flujo de alimentación no afectaron estadísticamente en la formación de las microcápsulas, sin embargo, la relación de alginato de sodio y sulfato ferroso, tuvieron un efecto significativo en la formación de las microcápsulas. En la Tabla 10, se muestra el contenido de hierro y el porcentaje de eficiencia de encapsulamiento. La eficiencia de encapsulación, el valor mínimo fue  $59.49 \pm 0.37\%$  y una encapsulación máxima de  $66.94 \pm 1.11\%$ .

**Tabla 10.** Parámetros evaluados de los diferentes tratamientos de microcápsulas con sulfato ferroso en condiciones de electroestática.

Relación AS/SF (%)	Flujo (mL/min)	Voltaje (KV)	Contenido de hierro (mg)	Eficiencia de Encapsulación (%)	Tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ )
16	0.012	6	164.06 $\pm$ 1.82	65.73 $\pm$ 0.73	847.60 $\pm$ 57.80
16	0.014	6	162.24 $\pm$ 1.82	65.00 $\pm$ 0.73	643.95 $\pm$ 46.65
16	0.016	6	165.28 $\pm$ 1.05	66.22 $\pm$ 0.42	455.80 $\pm$ 25.71
16	0.012	7	166.49 $\pm$ 2.78	66.46 $\pm$ 0.73	842.95 $\pm$ 45.03
16	0.014	7	164.67 $\pm$ 1.05	65.97 $\pm$ 0.42	482.50 $\pm$ 32.19
16	0.016	7	164.06 $\pm$ 4.82	65.73 $\pm$ 1.93	365.10 $\pm$ 35.16
16	0.012	8	167.71 $\pm$ 3.16	66.94 $\pm$ 1.11	632.30 $\pm$ 29.14
16	0.014	8	161.02 $\pm$ 1.05	64.51 $\pm$ 0.42	545.95 $\pm$ 28.35
16	0.016	8	162.85 $\pm$ 2.10	65.24 $\pm$ 0.84	456.15 $\pm$ 29.79
33	0.012	6	329.94 $\pm$ 1.82	65.73 $\pm$ 0.36	676.25 $\pm$ 32.70
33	0.014	6	330.55 $\pm$ 2.10	65.85 $\pm$ 0.42	538.40 $\pm$ 46.68
33	0.016	6	328.12 $\pm$ 4.82	65.36 $\pm$ 0.96	454.40 $\pm$ 27.87
33	0.012	7	330.55 $\pm$ 1.05	65.50 $\pm$ 0.21	646.30 $\pm$ 13.37
33	0.014	7	328.12 $\pm$ 1.82	65.36 $\pm$ 0.36	576.55 $\pm$ 14.83
33	0.016	7	328.12 $\pm$ 1.82	65.36 $\pm$ 0.36	462.15 $\pm$ 21.70
33	0.012	8	326.91 $\pm$ 1.05	65.12 $\pm$ 0.21	615.10 $\pm$ 22.52
33	0.014	8	328.73 $\pm$ 2.78	65.61 $\pm$ 0.56	585.85 $\pm$ 21.71
33	0.016	8	328.73 $\pm$ 1.05	65.73 $\pm$ 0.36	409.65 $\pm$ 14.66
50	0.012	6	449.65 $\pm$ 1.05	59.82 $\pm$ 0.14	717.60 $\pm$ 18.55
50	0.014	6	452.08 $\pm$ 0	60.14 $\pm$ 0	655.30 $\pm$ 20.81
50	0.016	6	447.82 $\pm$ 2.78	59.57 $\pm$ 0.37	517.40 $\pm$ 18.86
50	0.012	7	449.04 $\pm$ 1.05	59.73 $\pm$ 0.14	662.45 $\pm$ 21.65
50	0.014	7	450.86 $\pm$ 1.05	59.98 $\pm$ 0.014	557.90 $\pm$ 25.28
50	0.016	7	450.26 $\pm$ 1.82	59.90 $\pm$ 0.24	455.50 $\pm$ 23.16
50	0.012	8	449.04 $\pm$ 1.05	59.73 $\pm$ 0.014	508.75 $\pm$ 20.80
50	0.014	8	449.04 $\pm$ 1.05	59.73 $\pm$ 0.014	468.25 $\pm$ 23.04
50	0.016	8	448.43 $\pm$ 1.82	59.49 $\pm$ 0.37	381.45 $\pm$ 19.17

AS: alginato de sodio, SF: sulfato ferroso

Valenzuela (2014) reportó valores de 59.5 a 75.7% EE, superiores a los obtenidos en este trabajo. La eficiencia de encapsulamiento está influenciada por la naturaleza del material empleado tanto como núcleo como de pared, esta mayor eficiencia está determinada debido a que las proteínas, usadas como material de pared, poseen mayor efecto de encapsulamiento.

Otros estudios mencionan que las sales de hierro III tienen hasta un 80% de eficiencia de encapsulamiento, aunque estas sales de hierro son menos biodisponibles para el organismo. Además, que los tratamientos comunes para el encapsulamiento aplican calor como el secado por atomización, factor que puede comprometer la integridad del material encapsulado (Durán et al., 2017). Mientras que en este procedimiento de encapsulación por coacervación empleando electroestática, no se aplica el calor, obteniendo un alto porcentaje de encapsulación, lo que garantiza la integridad del compuesto con respecto a otros trabajos.

La eficiencia de encapsulación, tienen una tendencia a disminuir a medida que la relación de alginato de sodio y sulfato ferroso incrementa, esto debido a una desproporción del material de pared, por lo que el material, en vez de ser continuo, contiene incrustaciones de material que implica en bajo %EE (Cuatzo, 2010).

Las condiciones de procesamiento antes mencionadas también determinaron el tamaño de la partícula de la microcápsula, ya que su influencia afectaba el porcentaje de eficiencia de encapsulamiento.

De la misma forma, el núcleo de la microcápsula interacciona con la matriz o pared, de tal forma que altera las características fisicoquímicas de la matriz, lo que afecta el resultado en eficiencia de encapsulamiento, sin embargo, el propósito más relevante es la protección y la estabilidad del compuesto activo en el interior de la microcápsula, por lo que la eficiencia de encapsulación se requiere alta, para garantizar el mayor contenido en miligramos de hierro en una dosis baja de fortificación del alimentos para minimizar los riesgos de alteraciones sensoriales en estos, aunque el estado químico del hierro, proporciona una ventaja ante el posible

bajo resultado, que es que este estado es más biodisponible para el organismo humano, y por lo tanto actúa de manera directa en la zona requerida para el funcionamiento metabólico del hierro siendo la primera parte del intestino delgado, el yeyuno.

## 5.6. Tamaño y morfología de las microcápsulas

El tamaño de las microcápsulas obtenidas se muestra en la Tabla 10. Las condiciones de electrostática, la relación de alginato de sodio y sulfato ferroso fue un parámetro determinante, puesto que, a mayor contenido de hierro, la suspensión sufría una restructuración química lo cual solidifica y dificulta la formación de las microcápsulas.

La literatura reporta que la encapsulación de hierro genera tamaños de partícula desde 200 $\mu$ m hasta 1.2mm, sin embargo los valores de 200 a 600 $\mu$ m, se generan mediante procesos con fuentes de calor, factor que afecta el tipo de hierro II, que es más biodisponible para el organismo (Durán et al., 2017).

El tamaño resultante de las cápsulas obtenidas mediante electrostática estuvo en el rango de 350 a 850 $\mu$ m, valores más bajos que lo reportado por Valenzuela (2014), en su trabajo obtuvieron un rango de 830 $\mu$ m a 1.57 mm, usando como fuente de hierro EBDA (Eritrocitos bovinos deshidratados y atomizados).

En la Figura 15, se puede observar la morfología de las microcápsulas obtenidas, en las cuales se puede apreciar las diferencias entre forma, superficie e integridad. Estas directamente determinadas por las condiciones de electrostática antes mencionadas.

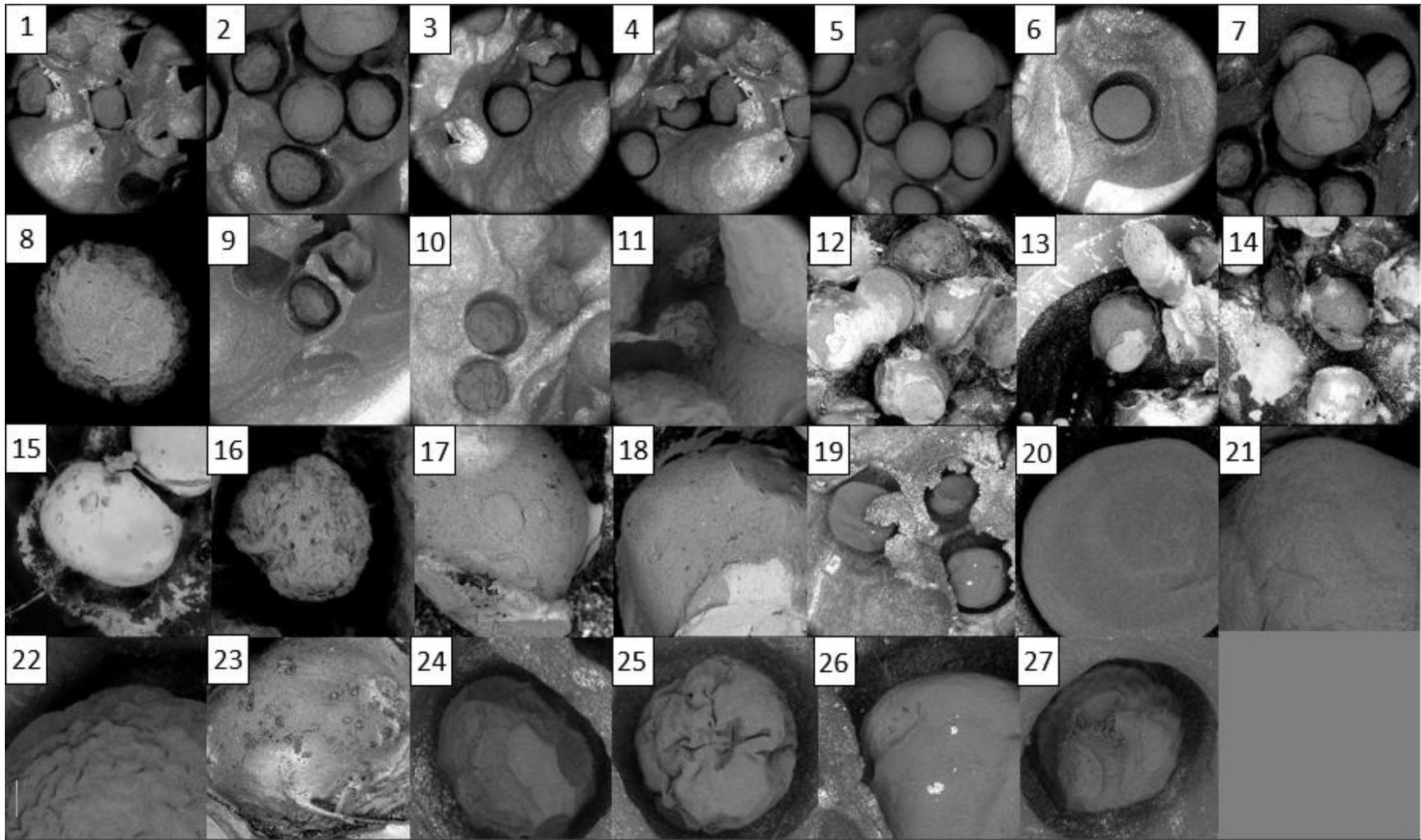
Los defectos en la formación en las microcápsulas se pueden dividir en diferentes grupos. Los tratamientos que presentaron material de arrastre o capas de material fueron la muestra 11, 14, 17 y 18, posiblemente al exceso de material atraído por el efecto electromagnético.

Otros tratamientos mostraron una apariencia rugosa en la superficie de la microcápsula como en el caso de las muestras 1, 8, 9, 22, 24 y 27, esto se puede deber a la combinación del flujo de alimentación con la aplicación del diferencial.

Algunas alteraciones en las microcápsulas fueron filamentos o pequeñas hebras y fisuras en la superficie, los tratamientos que presentaron filamentos fueron el 12, 13, 15 y 23. Mientras que en los que apareció una fisura fueron el 10, 16, 25 y 26.

Los tratamientos 19, 20 y 21 presentaron una apariencia lisa en la superficie, posiblemente debido a la diferencia de potencial en esa relación de sulfato ferroso en específico. Ya que otros tratamientos como el 2, 3, 4, 5 y 6 presentaron una buena esfericidad y una apariencia uniforme.

Del diseño factorial  $3^3$  realizado para la obtención de las microcápsulas, la muestra con mayor contenido de hierro ( $167.71 \pm 3.16 \text{mg}$ ) y eficiencia de encapsulación ( $66.94 \pm 1.11\%$ ) fue el tratamiento 7 en condiciones de procesamiento de flujo de alimentación de  $0.12 \text{mL/min}$  y un voltaje aplicado de  $8 \text{kw}$  a  $10 \text{cm}$  de separación entre los polos, con un tamaño de partícula promedio de  $632.30 \pm 29.14 \mu\text{m}$ . Además, con apariencia redondeada y uniforme. Por lo tanto, este tratamiento fue seleccionado para pruebas de estabilidad térmica y determinar el perfil de liberación del compuesto encapsulado.

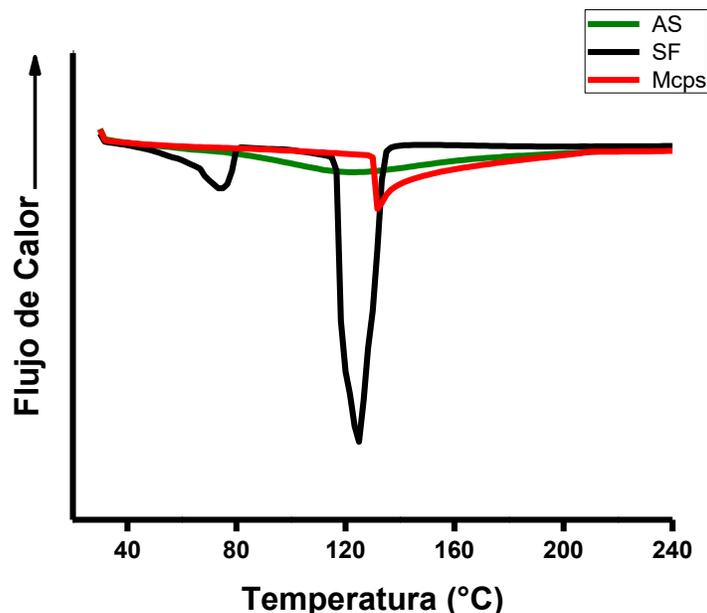


**Figura 15.** Micrografías de los diferentes tratamientos de microcápsulas obtenidas por SEM.

Las micrografías de los tratamientos de 1-14 fueron capturados a 150x, y los tratamientos de 15-27 fueron obtenidos a 500x.

## 5.7. Estabilidad térmica de las microcápsulas

La microcápsula antes mencionada (tratamiento 7) fue evaluada en estabilidad mediante un proceso térmico, como referencia se analizó el alginato de sodio y el sulfato ferroso. Se puede observar en la Figura 16, que el sulfato ferroso muestra dos picos, uno entre los 66°C y 80°C, y el otro de 117°C a los 131°C. se ha reportado que el sulfato ferroso presenta un punto de inestabilidad a los 72°C, el cual afecta su estructura y su funcionalidad.



**Figura 16.** Estabilidad térmica del alginato de sodio, el sulfato ferroso y las microcápsulas.

AS: Alginato de sodio, SF: Sulfato ferroso, Mcps: Microcápsulas

El análisis de la microcápsula se observa que el primer pico se ausenta, lo que implica una protección ante el punto de inestabilidad antes mencionado y el segundo pico se atenúa presentando un pico entre los 130°C y 141°C, que representa una disminución en la degradación del material.

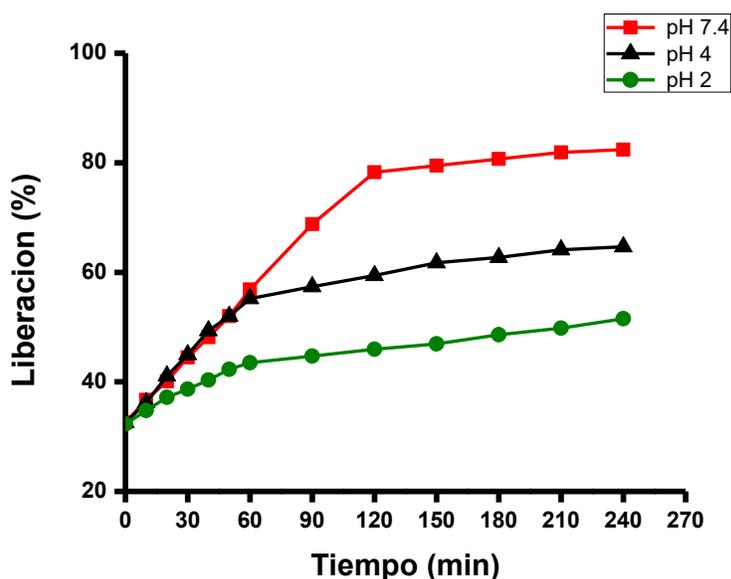
En la Figura 16, se puede apreciar que el comportamiento térmico de la microcápsula presentó el inicio de un pico determinante aproximadamente a los 130°C, que se encuentra 10°C más tarde que el inicio del segundo pico del

comportamiento del sulfato ferroso, lo que indica un retraso en el punto de estabilidad del compuesto.

Rodríguez-Llimós et al. (2003) reportó que el alginato de sodio como material de protección brinda estabilidad térmica a los materiales encapsulados, ellos encapsularon paracetamol, el cual presento menores picos cuando se encontraba encapsulado.

### 5.8. Perfil de liberación de la microcápsula

El perfil de liberación del sulfato ferroso de la microcápsula se presenta en la Figura 17. La mayor liberación se presentó en el pH 7.4 ( $82.39 \pm 0.72$  %) y en pH 2 la liberación fue de  $51.52 \pm 1.68$ %.



**Figura 17.** Perfil de liberación del compuesto en las microcápsulas a diferentes pH.

■: tratamiento sometido a pH 7.4, ▲: tratamiento en pH 4 y ●: tratamiento en pH 2.

El tratamiento de las microcápsulas en pH 7.4 presentó el efecto estallido en la primera hora, que se define como un gran porcentaje de material liberado en corto tiempo, hasta la segunda hora, seguido de una liberación gradual por el resto del

tiempo. Efecto similar en el tratamiento a pH 4, aunque, en el tratamiento de pH 2, la liberación fue gradual.

Se puede apreciar en la Figura 17 el comportamiento de las microcápsulas en pH 7.6 y en pH 4 es similar en la primera hora, con una liberación rápida, que posteriormente se vuelve gradual por el tiempo restante, con la diferencia que las microcápsulas en pH 7.6 siguen con la liberación gradual por 60 minutos más antes de presentar la misma gradualidad. Aunque el pH 4 no se encuentra en el organismo, se realizó el ensayo con el fin de conocer el comportamiento de las microcápsulas a un pH intermedio entre el ácido de 2 y el básico de 7.4, lo que mostro que aun en un pH 4, se presentó el efecto estallido antes mencionado.

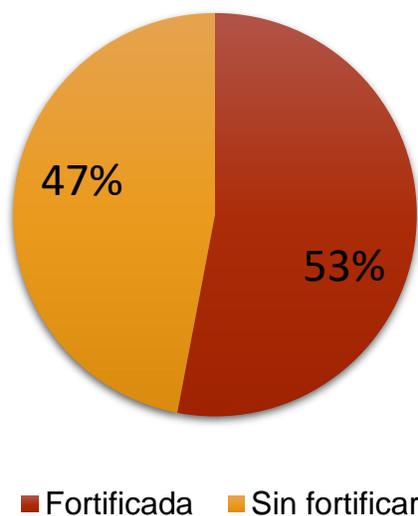
La liberación presentada de las microcápsulas en pH 2, se debe a la resistencia del alginato de sodio a la desintegración en estos medios, por tal motivo se puede apreciar que el comportamiento es similar en el periodo de tiempo, con una liberación controlada, baja y constante.

Durán et al. (2017) reportó un tiempo de liberación de tres horas de componentes sensibles como los minerales y las vitaminas encapsulados con alginato de sodio en medios con pH superior a 6.5. Cendejas y Ortega (2017), encontraron que en combinación el alginato de sodio y quitosano presentaron un tiempo de liberación de 6 horas del total del compuesto encapsulado. Herrera-Barros et al. (2016) reportó que esta misma combinación en forma de circuito, (haciendo pasar las microcápsulas de un medio ácido a uno básico) mejora la liberación del compuesto.

#### 5.9. Evaluación sensorial de una gomita fortificada con microcápsulas de hierro

De acuerdo con la evaluación sensorial, aplicado a cien panelistas de los cuales 60 fueron hombres y 40 mujeres entre 18 y 50 años. Se puede apreciar que el 47% identificó la muestra sin fortificar como la similar a la referencia, mientras el 53% de los panelistas determinó que la muestra fortificada fue igual a la referencia.

La gráfica en la Figura 18, se puede apreciar la diferencia porcentual entre ambas muestras, donde la gomita fortificada fue identificada como la idéntica a la referencia; el análisis estadístico por chi-cuadrada mostró que entre la muestra fortificada y la referencia no existe diferencia significativa ( $p=1.000$ ).



**Figura 18.** Preferencia en elección de las muestras elegida por los panelistas.

De la evaluación sensorial, los comentarios escritos por los panelistas demostraban el agrado general por las muestras presentadas, mostrando la dificultad en decidir la semejanza entre dos de las muestras. Algunos de los comentarios de los panelistas expresaban la dificultad por la elección y el agrado por las tres muestras. Sin embargo, como antes se mencionó la muestra fortificada con microcápsulas de hierro fue la elegida por el 53% de los panelistas.

En la literatura se ha reportado que la microencapsulación es un medio de protección, por lo que una fortificación al 20% de la IDR de hierro no es percibida por el consumidor ya que el sabor del hierro, resultó imperceptible estadísticamente.

Nazzaro et al. (2012) han reportado que mientras menor sea el tamaño de partícula, menor será la percepción de sabores y olores de los agentes encapsulados. Se puede inferir que el resabio metálico del hierro se atenuó por el tamaño de partícula

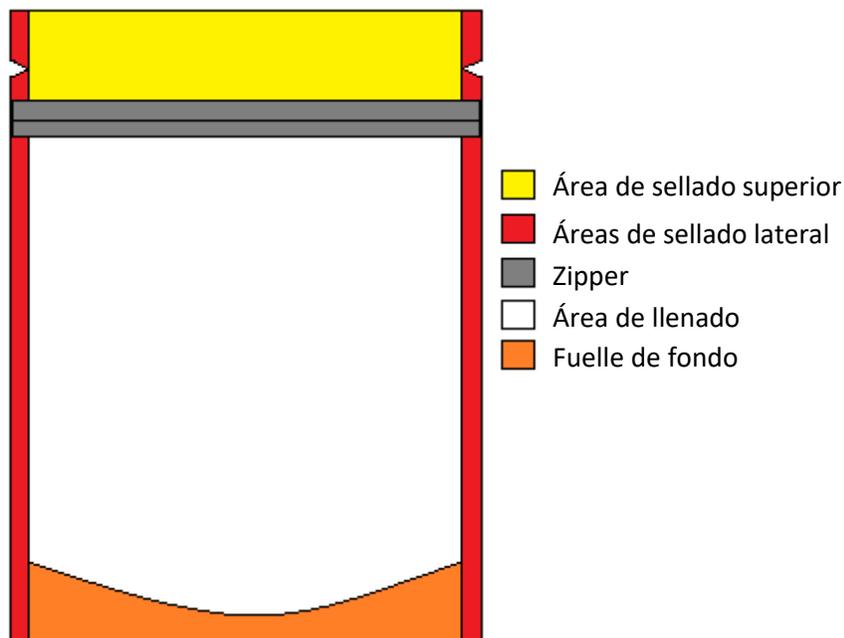
y la matriz empleada, factores que fueron determinantes para evitar el resabio en las gomitas.

#### 5.10. Creación de imagen comercial

**Envase:** En la Figura 19, se muestra una bolsa estilo stand up, para el transporte del aditivo, con una capa metalizada en el interior y en el exterior una capa de material de papel Kraft, con el propósito de realizar de manera versátil el desecho del envase.

Este tipo de bolsa denominada “bak2earth” tiene entre 45 y 60% de almidón de pasta de madera renovable. El restante material es un recubrimiento plástico de PE entre 55 y 40% que contiene aditivos que ayudan a la descomposición del material en aproximadamente 10 años.

Además, cuentan un zipper biodegradable que es un material regulado por la USA ASTM D-6868 y D-6400.



**Figura 19.** Partes de una bolsa estilo stand up

La bolsa Stand Up cuenta con diferentes partes o zonas en su composición cuenta con 2 áreas de sellado lateral, 1 área de sellado por encima del zipper, el zipper, es espacio para llenar por debajo del zipper, un fuelle de fondo y el abre fácil.

El papel Kraft es una pasta con una ligera cocción, es considerado muy resistente al desgarró, la tracción y el estallido. El papel Kraft tiene la característica de poder resistir el proceso de esterilización en calor húmedo, además el papel Kraft con un gramaje superior a 90 g/m<sup>2</sup> puede resistir por un lapso la humedad por aceite, ideal para productos de confitería y panadería. El papel Kraft con una capa de PE (Polietileno), funciona como barrera de gases protegiendo al producto de la exposición ante ellos (flecipol, 2016). Las capas de laminación de este tipo de empaque protegen contra la humedad, la luz, gases lo que favorece la conservación de alimentos como café, té, proteínas en polvo, alimentos crudos, especias, harinas, azúcar, sal, entre otras más.

Es adecuado por la manera rápida y eficiente de deshacerse del envase, ya que su empleo en como aditivo en otros productos que tienen más contacto con él usuario final y como su aplicación es en un proceso de fabricación de otros productos.

**Etiqueta:** En México existen normatividad que establece parámetros de seguridad e higiene para el manejo de alimentos, conocidas como Normas Oficiales Mexicanas (NOM) establecidas y reguladas por organismos federales como la Secretaría de Salud y COFEPRIS (Comisión Federal de la Protección contra Riesgos Sanitarios).

La NOM establece las reglas, especificaciones, atributos, indicaciones, características aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación en materia de control y fomento sanitario:

Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas pre envasados- Información comercial y sanitaria, que establece la información comercial y sanitaria que debe contener el etiquetado de los alimentos y bebidas no alcohólicas pre envasados de fabricación nacional o extranjera, así como determinar las características de dicha información.

El uso de aditivos como ácido cítrico está regulado en la NOM-185-SSA1-2002. Productos y servicios. Mantequilla, cremas, producto lácteo condensado azucarado, productos lácteos fermentados y acidificados, dulces a base de leche. Especificaciones sanitarias. Donde menciona que el ácido cítrico para diferentes productos el límite máximo es las buenas prácticas de fabricación, por lo cual con cubrir este aspecto se puede emplear el aditivo en la formulación del producto.

También mediante la NOM-086-SSA1-1994, bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales. Se estipula la definición de fortificar, que es adicionar una o varias vitaminas, minerales o proteínas (aminoácidos) que normalmente no contiene el producto. Y los límites mínimos y máximos permitidos para la adición, fortificación y enriquecimiento de alimentos y bebidas no alcohólicas serán del 5 al 100% por porción de la ingestión diaria recomendada siempre y cuando el aporte del nutrimento en las condiciones normales o usuales de consumo no sobrepase la ingestión diaria recomendada. Así como la ingesta diaria recomendada para el hierro establecido en 18 mg/día.

En la Figura 20, se muestra las partes que la norma general del Codex estipula para el etiquetado de aditivos alimentarios que se venden como aplica para los aditivos que se venden tanto al por menor como cualquier otra forma, incluidas las ventas a abastecedores y fabricantes de alimentos, para los fines de su empresa. Del mismo Codex se tomó la base para crear una ficha técnica del aditivo (Anexo 6).

Se implementan algunos principios generales como que los aditivos alimentarios no deben de falsear en la información presentada en la etiqueta, de misma manera no

deben recurrir a palabras o ilustraciones que aludan a una característica engañosa o que pueda confundir en cuanto a las propiedades del aditivo.

Las partes que se deben incluir en cada etiqueta del aditivo son:

1. Detalles del aditivo alimentario

1.1 Deberá aparecer el nombre de cada uno de los aditivos alimentarios presentes. El nombre debe ser específico y no genérico, e indicar la naturaleza del aditivo.

1.2 Cuando sean más de dos aditivos estos deberán aparecer en forma de lista.

1.3 Los aditivos que su vida útil no exceda más de 18 meses deberán presentar una leyenda de “se mantendrá por lo menos hasta...”

1.4 Las palabras “para uso en alimentos” o una declaración análoga deberá aparecer en un lugar sumamente visible de la etiqueta.

2. Instrucciones para su conservación y utilización

Información suficiente de cómo mantenerse en conservación y empleo en el alimento.

3. Contenido Neto

4. Nombre y dirección

Debe indicarse nombre y dirección de fabricante, envasador, distribuidor, importador, exportador o vendedor del aditivo.

5. País de origen

6. Identificación de lote

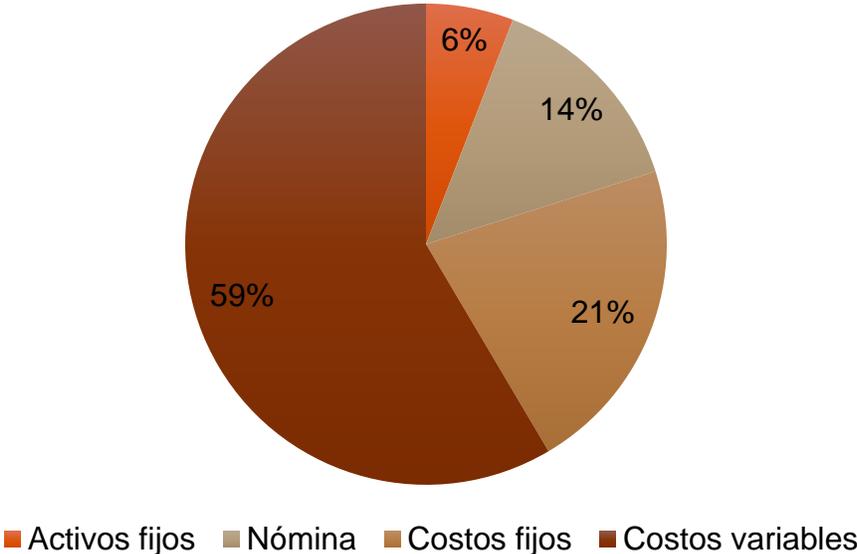


Figura 20. Imagen comercial del producto con las especificaciones del Codex

Se muestran algunas partes extras como la creación de una marca que identifique el producto, además de una serie de símbolos que crean identidad de cultura responsable como el logotipo de reciclaje.

5.11. Análisis de Costos

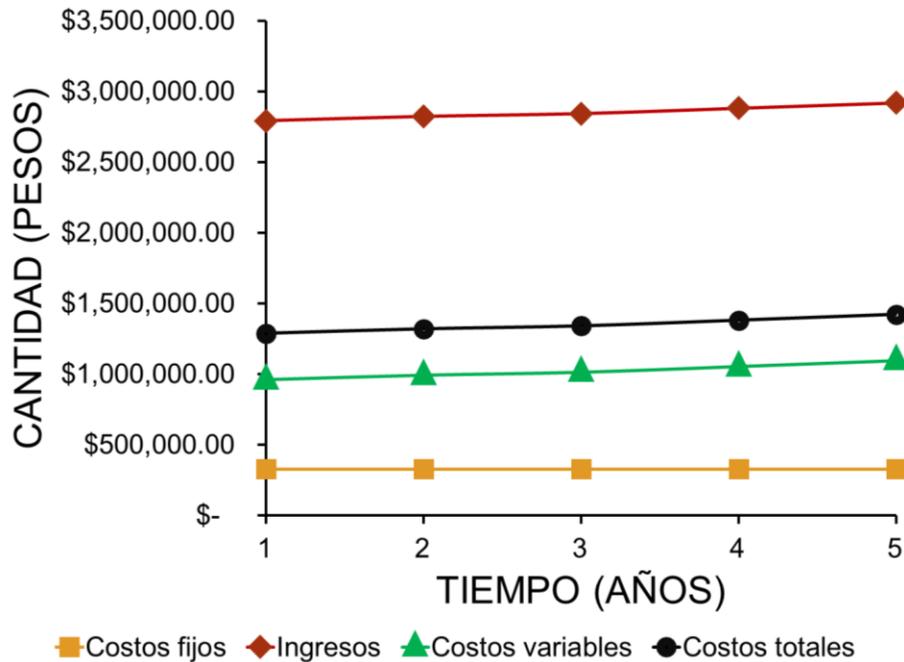
En la Figura 21, se puede apreciar los conceptos para considerar la inversión inicial de la proyección financiera, estos rubros son aproximaciones a los valores reales empleados para activos fijos, nómina, costos fijos y costos variables del primer año.



**Figura 21.** Conceptos para determinar la inversión inicial anual

Como se puede apreciar el valor que representa mayor inversión inicial son los costos variables representando un 59%, que está determinado por la adquisición de materia prima y mano de obra del producto, proyectados para una producción anual de 182,000 piezas que representan un costo de \$897,840.94 anuales (Anexo 7).

En la Figura 22, se puede apreciar la interacción de los diferentes gastos con respecto a las ventas totales anuales y la utilidad neta, siendo las ventas totales un ingreso proyectado promedio de \$2,730,000.00.



**Figura 22.** Conceptos de la proyección financiera anual

Considerando el valor de la inflación por cada año, se puede estimó una variación anual en los costos variables de cada año, de igual manera se puede modificar este valor en los ingresos de cada año, en consideración con la pertenencia en el mercado y el posicionamiento para subir el precio del producto con respecto al incremento de la inflación de cada año. Por lo tanto, es posible considerar incrementar el precio del producto en tres cuartas partes del valor de la inflación.

La Figura 22, muestra que muestra que mientras más alejada se encuentra la línea de costos totales de los ingresos, la utilidad será mayor. En la Tabla 11, se muestra los valores de TREMA (Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable) y del TIR (Tasa Interna de Retorno), para determinar la interacción de ambas consideras en proyectos de alto riesgo.

**Tabla 11.** Valores proyectados del TIR y la TREMA

Concepto	Valor (%)
TREMA	21.94
TIR	60

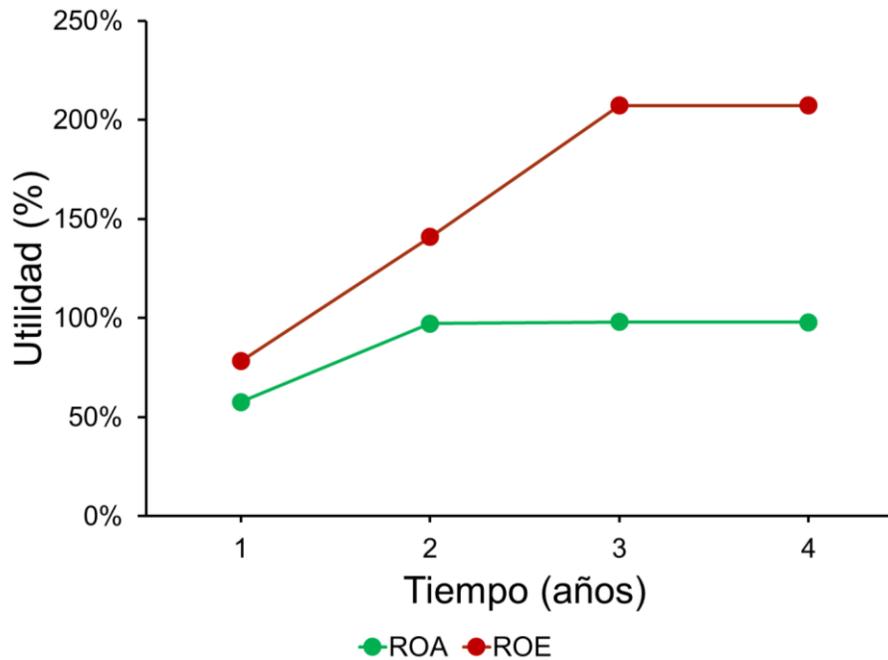
TREMA: Tasa de rendimiento mínima aceptable, TIR: Tasa interna de retorno

Las leyes financieras estipulan que la interacción entre el TIR y la TREMA consiste en que el primero debe ser siempre mayor que el segundo, y para el sector alimenticio debe ser el doble del valor. Por lo que se puede observar, el valor del TIR es superior al del TREMA por lo que existe una interacción positiva para la viabilidad financiera del producto.

Para determinar la viabilidad del producto se estipula la relación entre el valor de la inversión inicial con respecto a la tasa de interés al tiempo estipulado para establecer el *pay back* (retorno de inversión) del producto, de la interacción resultó que el valor obtenido es de 627.2 de día para considerar completo el retorno del valor inicial de inversión, este valor cercano al presentado en el estado de resultados (Anexo 5) es considerado riesgoso por el poco margen de pago, sin embargo, las proyecciones realizadas estiman que existe el capital para pagar dicho concepto.

El punto de equilibrio fue de \$328,298.38 por año, que en piezas indica 32,612 en presentación de 100g a un precio promedio de \$15.00. Este punto de equilibrio es un concepto que permite conocer que tanto producto se debe de vender en el lapso planteado, teniendo la posibilidad de adaptar la cantidad vendida en cortos o largos periodos de tiempo en conveniencia.

En la Figura 23, se muestran las razones financieras del ROA (*Return On Assets*) y ROE (*Return On Equity*), que determinan el porcentaje de rentabilidad con respecto con los ingresos anuales proyectados.



**Figura 23.** ROA y ROE del producto proyectados de forma anual

De acuerdo con la proyección realizada del ROA, los activos fijos son los suficientes para solventar la producción anual, por lo que se lleva casi al 100% de la rentabilidad, mientras el ROE indica que existe una viabilidad económica importante ya que el porcentaje de rentabilidad financiera supera el 200% con respecto a la utilidad neta obtenida de cada año de la proyección.

La proyección financiera determina que tan viable es el proyecto para su comercialización en el mercado, los resultados del TIR, la TREMA, el *pay back*, el ROA y el ROE establecen esta viabilidad, ya que para este producto los términos en la conceptualización determinaban que debería ser un producto viable financieramente, puesto que este producto funge como aditivo en procesos de la industria.

## 6. CONCLUSIÓN

Se logró microencapsular sulfato ferroso por medio de coacervación y electroestática con una eficiencia alta de encapsulamiento ( $66.94 \pm 1.11\%$ ) en tamaños de partícula entre las  $600 \mu\text{m}$ , en condiciones de procesamiento de flujo de alimentación de  $0.12 \text{ mL/min}$  y un voltaje aplicado de  $8 \text{ kw}$  a  $10 \text{ cm}$  de separación entre los polos.

Las microcápsulas obtuvieron una estabilidad térmica que permite emplear el producto a temperaturas sin aplicar presión, por lo que es posible fortificar alimentos y someterlos a cocción por debajo de  $120^\circ\text{C}$  sin comprometer la calidad nutricia del compuesto.

El perfil de liberación del compuesto de las microcápsulas permite agregar el producto desarrollado a diferentes alimentos, sin sufrir una liberación del compuesto que afecte el producto. De tal forma que se pueda contar con el micronutriente en la zona específica del organismo.

La microencapsulación por coacervación y electroestática evita que cuando se agregan las microcápsulas a los alimentos ocurran cambios sensoriales por parte del sulfato ferroso. Ya que los panelistas no detectaron el resabio del compuesto ferroso.

La proyección financiera determina que este producto se puede adaptar a la industria en forma de aditivo, a un bajo costo sin alterar los procesos de producción. Y que es viable el producto por la inversión inicial presupuestada y por la rentabilidad del proyecto.

Las microcápsulas con sulfato ferroso obtenidas por coacervación y electroestática son un desarrollo tecnológico, ya que permite un proceso de fortificación sin alteraciones sensoriales. La innovación del tipo radical del proyecto es el uso de las técnicas combinadas de encapsulación que permitieron obtener mejores resultados que los reportados por trabajos anteriores y los productos encontrados en el mercado actual.

## 7. REFERENCIAS

Aguirre-López, L. 2016. Análisis financiero del estado de resultados de la empresa xyz al 31 de Diciembre de 2015. Available from: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/8812>

Alaunyte, I., V. Stojceska, and A. Plunkett. 2016. Hierro y Atletas Mujeres: Revisión de los Métodos de Tratamiento Basados en la Dieta para Mejorar el Nivel de Hierro y el Rendimiento Físico. PubliCE Prem. Available from: <http://g-se.com/es/entrenamiento-de-la-resistencia/articulos/hierro-y-atletas-mujeres-revision-de-los-metodos-de-tratamiento-basados-en-la-dieta-para-mejorar-el-nivel-de-hierro-y-el-rendimiento-fisico-2077>

Avendaño-Romero, G. C. 2013. Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. 10.

Babazadeh, A., B. Ghanbarzadeh, and H. Hamishehkar. 2016. Novel nanostructured lipid carriers as a promising food grade delivery system for rutin. *J. Funct. Foods.* 26:167–175. doi:10.1016/j.jff.2016.07.017.

Barragán-Ibañez, G., A. Santoyo-Sánchez, and C. O. Ramos-Peñañiel. 2016. Iron deficiency anaemia. *Rev. Médica Hosp. Gen. México.* 79:88–97. doi:10.1016/j.hgmx.2015.06.008.

Bassante, L., M. Racines, G. Fuenmayor, and E. Estévez. 2017. Evaluación de la deficiencia de hierro y anemia ferropriva en población de alto riesgo. *Rev. Fac. Cienc. Médicas Quito.* 16:15–22.

Carbajal, A., Angeles. 2013. Manual de nutrición y dietética. Available from: <https://www.ucm.es/nutricioncarbajal/manual-de-nutricion>

Cendejas, X. L. M., and I. A. Q. Ortega. 2017. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ESFERAS POLIMÉRICAS PARA LA LIBERACIÓN DE FÁRMACOS. *JÓVENES EN Cienc.* 3:2696–2700.

Chacón Barliza, O. A. 2011. Evaluación del consumo habitual de alimentos fuente de hierro y de la aceptabilidad de la estrategia de suplementación con hierro en preescolares y escolares en el Distrito Capital [masters]. Universidad Nacional de Colombia. Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4460/>

Chantes, G., Alberto, A. Negrete Erasmo, P. Vaca Sergio, A. Sánchez Ma. Patricia, and C. Vázquez Candelario. 2012. El hierro, elemento metálico importante en la vida y en los procesos infecciosos. *Rev. Elem. Cienc. Cult.* 19:41.

Costamagna, M. S., L. G. Gómez-Mascaraque, I. C. Zampini, M. R. Alberto, J. Pérez, A. López-Rubio, and M. I. Isla. 2017. Microencapsulated chañar phenolics: A potential ingredient for functional foods development. *J. Funct. Foods.* 37:523–530. doi:10.1016/j.jff.2017.08.018.

Cuatzo, L., MI. 2010. Efecto de las condiciones de proceso en la conservación de alimentos encapsulados por el método de gelificación iónica [Maestría]. Instituto Politecnico Nacional, México. Available from: <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9472/1/120.pdf>

Dary, O., W. Freire, and S. Kim. 2002. Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: guías para América Latina y el Caribe. Instituto Internacional de Ciencias de la Vida, Washington, DC. Available from: <http://www.paho.org/hq/dmdocuments/2009/Compuestos-hierro-Esp.pdf>

De Araújo, N., L. A. Gutiérrez, Ramírez, O. S. Ruiz, Villadiego, and O. I. Montoya, Campuzano. 2015. TÉCNICAS PARA LA MICROENCAPSULACIÓN DE PROBIÓTICOS Y EL IMPACTO EN SU FUNCIONALIDAD: UNA REVISIÓN. Aliment. Hoy. 23:112–126.

Delgado, T., M. F. Garcés, B. Rojas, J. San Juan, L. E. Fernández, L. Freitas, and I. Piedra. 2013. ANEMIA FERROPÉNICA Y VARIANTES DE HEMOGLOBINA EN NIÑOS DE CARACAS. Arch. Venez. Pueric. Pediatría. 76. Available from: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=367937048002>

Dias, D. R., D. A. Botrel, R. V. D. B. Fernandes, and S. V. Borges. 2017. Encapsulation as a tool for bioprocessing of functional foods. Curr. Opin. Food Sci. 13:31–37. doi:10.1016/j.cofs.2017.02.001.

Díaz, O. H., and M. Á. C. Martín. 2016. El arte en la publicidad. Tipologías del uso del arte visual en la comunicación comercial. Comun. Medios. 96–113. doi:10.5354/rcm.v0i34.42715.

DIF. 2015. Manual para el diseño e implementación de acciones de orientación alimentaria en los programas alimentarios DIF. Available from: <http://sitios.dif.gob.mx/dgadc/wp-content/uploads/2015/02/Manual-Orientaci%C3%B3n-Alimentaria-2015.pdf>

Durán, E., C. Villalobos, O. Churio, F. Pizarro, and C. Valenzuela. 2017. Encapsulación de hierro: Otra estrategia para la prevención o tratamiento de la anemia por deficiencia de hierro. Rev. Chil. Nutr. 44. Available from: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=46952704005>

flecipol. 2016. PAPEL KRAFT, composición y usos del papel kraft. Grupo Flecipol. Available from: <http://grupoflecipol.com/papel-kraft/>

Frontela, L. F.-P., G. Ros, C. 2015. Nutrientes clave en la alimentación complementaria: el hierro en fórmulas y cereales. Acta Pediátrica Esp. 73:269–276.

Galán, M. G., E. Llopart, E. Tissera, A. Alladio, and S. R. Drago. 2014. Bioaccesibilidad de hierro de fortificación y zinc endógeno de fideos comerciales tipo spaghetti. Rev. Esp. Nutr. Humana Dietética. 18:74–80. doi:10.14306/renhyd.18.2.53.

Gallo, D., M. Manuzza, N. Echeagaray, J. Montero, M. Munner, A. Roviroso, M. Sánchez Alicia, and R. Murray. 2014. Alimentación vegetariana. Available from: [http://www.sanutricion.org.ar/files/upload/files/Alimentacion\\_Vegetariana\\_Revision\\_final.pdf](http://www.sanutricion.org.ar/files/upload/files/Alimentacion_Vegetariana_Revision_final.pdf)

Giro-Paloma, J., M. Martínez, L. F. Cabeza, and A. I. Fernández. 2016. Types, methods, techniques, and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 53:1059–1075. doi:10.1016/j.rser.2015.09.040.

Glasauer, P. 2006. Guía de nutrición de la familia. Available from: <http://www.fao.org/docrep/008/y5740s/y5740s00.htm>

González-Urrutia, R. 2005. Biodisponibilidad del hierro. *Rev. Costarric. Salud Pública.* 14:6–12.

Grijalva-Haro, M. I., E. Y. Chavarria, E. Artalejo, A. Nieblas, J. A. Ponce, and A. E. Robles-Sardin. 2014. Efecto de la leche fortificada Liconsa en el estado de hierro y zinc en preescolares Mexicanos. *Nutr. Hosp.* 29:331–336. doi:10.3305/nh.2014.29.2.7029.

Group SAGESSA. 2012. Dieta Rica en Hierro. Available from: <https://es.scribd.com/document/251954476/Dieta-Rica-en-Hierro>

Guerra, A. M. S., L. M. V. Acosta, J. A. B. Gamboa, C. I. C. Herazo, and R. Z. Gallego. 2016. Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: El desarrollo de una estrategia nutricional indispensable para países en vía de desarrollo. – Una revisión. *Acta Agronómica.* 65:340–353. doi:<https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.50327>.

Haro, J. F., C. M. Graciá, M. J. Periago, and G. Ros. 2008. PREVENCIÓN DE LA DEFICIENCIA EN HIERRO MEDIANTE EL ENRIQUECIMIENTO DE LOS ALIMENTOS. *An. Vet. Murcia.* 21:7–21.

Hernández-Gálvez, V. S. 2015. Encapsulación de hierro hemínico en cápsulas de alginato de sodio como un suplemento oral para cerdos neonatos: estudio in vitro. Available from: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/136262/Encapsulaci%F3n-de-hierro-hem%EDnico-en-c%E1psulas-de-alginato-de-sodio-como-un-suplemento-oral-para-cerdos-neonatos-%20estudios-in-vitro.pdf?sequence=1>

Herrera-Martínez, T. E. 2015. Evaluación de tensoactivos y fracciones de aislado de proteína de amaranto para la formación de fibras con la técnica de electroestirado [Thesis]. Available from: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2192>

Hijar, G., A. Aramburu, Y. Hurtado, and V. Suárez. 2015. Fortificación del arroz para corregir la deficiencia de micronutrientes en niños de 6 a 59 meses de edad. *Rev. Panam. Salud Pública.* 37:52–58.

Marín, B. E. L., and L. M. C. de Pabón. 2012. Elaboración de un alimento con base en harina de banano (*Musa paradisiaca*) fortificada con hierro y zinc aminoquelados, calcio microencapsulado y folato. *Perspect. En Nutr. Humana*. 14:47–57.

Mendoza, N., J. Papalé-Centofanti, J. M. Moreno, Y. Berné, M. Castro, M. Torres, and D. Rodríguez. 2014. Prevalencia de anemia, deficiencia de hierro y parasitosis intestinal y su relación con las condiciones socioeconómicas, en menores de 15 años de la comunidad rural Las Bucarita, Estado Lara, Venezuela. *Rev Inst Nac Hig*. 45:64–78.

Mesa, E. G. 2015. La anemia ferropénica. Diagnóstico, tratamiento y prevención. *Rev. Cuba. Aliment. Nutr.* 25:19.

Moll, I., and J. Montaña. 2016. El diseño gráfico como herramienta hacia una marca potente. *Harv. Deusto Márketing Ventas*. 20–26.

Nava Reyna, E., G. Michelena Álvarez, A. Iliná, and J. L. Martínez Hernández. 2015. Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investig. Cienc.* 23. Available from: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=67446014009>

Pelipenko, J., J. Kristl, B. Janković, S. Baumgartner, and P. Kocbek. 2013. The impact of relative humidity during electrospinning on the morphology and mechanical properties of nanofibers. *Int. J. Pharm.* 456. doi:10.1016/j.ijpharm.2013.07.078.

Pérez, O. P., and Y. C. Matte. 2017. SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND ASSESSMENT OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF MGO – CALCIUM ALGINATE POROUS BEADS. *TECNIA*. 26:7–13.

Pita-Rodríguez, G., S. Jiménez-Acosta, B. Basabe-Tuero, C. Macías Matos, L. Selva Suárez, C. Hernández Fernández, M. Cruz Jorge, R. Herrera Charro, R. O’Farrill López, I. Calderius Espinosa, K. Paulí Echevería, and M. Leyva Avila. 2013. El bajo consumo de alimentos ricos en hierro y potenciadores de su absorción se asocia con anemia en preescolares cubanos de las provincias orientales: 2005-2011. *Rev. Chil. Nutr.* 40:224–234. doi:10.4067/S0717-75182013000300003.

Quest, A. F. G., and L. Leyton. 2014. Hierro. *Linus Pauling Inst*. Available from: <http://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/hierro>

Ray, S., U. Raychaudhuri, and R. Chakraborty. 2016. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Biosci.* 13:76–83. doi:10.1016/j.fbio.2015.12.009.

Reyes, Y. C., R. S. González, and A. S. Capdesuñer. 2009. Importancia del consumo de hierro y vitamina C para la prevención de anemia ferropénica. *MEDISAN*. 13. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=368448456013>

Rovirosa, A., and M. Zapata. 2014. Fortificación de Alimentos. Available from: <http://files.cloudpier.net/cesni/biblioteca/Fortificacion-de-alimentos.pdf>

- Ruiz-Delgado, G. 2014. Deficiencia de hierro. *Rev. Hematol.* 15:85–86.
- Sinisterra, O., V. Valdés, and E. Hertrampf. 2006. Situación de deficiencia de hierro y anemia. Available from: <https://www.unicef.org/panama/spanish/Hierro.pdf>
- Soto-Martínez, K. M. 2014. Desarrollo y caracterización de nanofibras electroestiradas de proteína de amaranto y pululano cargadas con dos bacteriocinas: nisina A y pediocina PA-1 [Thesis]. Available from: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1785>
- Urdampilleta, O., A., S. J. Martínez, and P. González-Muniesa. 2010. Intervención dietético-nutricional en la prevención de la deficiencia de hierro. *Nutr. Clínica Dietética Hosp.* 30:27–41.
- Urquia-Zegarra, C. L. 2015. Síntesis y caracterización de nanopartículas de quitosano - poliácido aspártico conteniendo isoniazida para el tratamiento de tuberculosis. Repos. Tesis - UNMSM. Available from: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4162>
- Valenzuela, C., V. Hernández, F. Rodríguez, and R. Carrillo. 2013. Tecnología de encapsulación y su aplicación en ciencias veterinarias. *Av. En Cienc. Vet.* 28:Pág. 58-75. doi:10.5354/0719-5273.2013.30207.
- Verde, C. J., Á. E. Vega, C. J. López, Z. M. Estrada, S. F. Malpica, Z. C. Pelayo, C. M. Pérez, S. P. Ruiz, A. G. Trejo, and C. L. Tovar. 2013. Manual de prácticas de laboratorio Química Orgánica I. primera. Universidad Autónoma Metropolitana, México. Available from: <http://www.izt.uam.mx/ceu/publicaciones/MQA/analitica.pdf>
- Vilaplana, M. 2001. El metabolismo del hierro y la anemia ferropénica. *Ámbito Farm.* 123–127.
- Wen, P., M.-H. Zong, R. J. Linhardt, K. Feng, and H. Wu. 2017. Electrospinning: A novel nano-encapsulation approach for bioactive compounds. *Trends Food Sci. Technol.* 70:56–68. doi:10.1016/j.tifs.2017.10.009.
- Ying, D., L. Sanguansri, R. Weerakkody, M. Bull, T. K. Singh, and M. A. Augustin. 2016. Effect of encapsulant matrix on stability of microencapsulated probiotics. *J. Funct. Foods.* 25:447–458. doi:10.1016/j.jff.2016.06.020.
- Zhu, F. 2017. Encapsulation and delivery of food ingredients using starch based systems. *Food Chem.* 229:542–552. doi:10.1016/j.foodchem.2017.02.101.

## ANEXOS

### Anexo 1 Formato de Estudio de prefactibilidad



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

### Maestría en Diseño e Innovación



Entrevista breve acerca de los problemas y situaciones en el proceso de fortificación.

Nombre: \_\_\_\_\_.  
Producto: \_\_\_\_\_.  
Empresa: \_\_\_\_\_. Cargo: \_\_\_\_\_.

1. ¿En el mercado, existen diferentes productos que se mencionan como fortificados con vitaminas y/o minerales, en su opinión qué tipo de alimentos si deberían someterse a un proceso de fortificación? ¿Por qué este tipo de alimentos?
2. ¿Qué defectos, problemas o situaciones se presentan en el proceso de fortificación? ¿Existe manera de prevenir o remediar estos inconvenientes?
3. ¿En su opinión que características o especificaciones debería tener un ingrediente que se agregue en el proceso de fortificación?
4. ¿Qué cualidades o beneficios esperaría de un producto final después del proceso de fortificación donde se ha adicionado el ingrediente antes mencionado?
5. ¿Desde su perspectiva que beneficios tiene un ingrediente que garantice la fortificación de minerales en un producto final, listo para la venta?

Comentarios:

Agradezco la información y los datos brindados, quedo a su disposición por sí se presenta alguna duda [lg.cristianmendoza@gmail.com](mailto:lg.cristianmendoza@gmail.com)

Anexo 2 Formato evaluación sensorial de un producto modelo.

<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO</b> Maestría en Diseño e Innovación.	
Genero: _____ . Edad: _____	
INSTRUCCIONES. Ante usted se encuentran tres muestras de gomitas, una de referencia marcada con la letra R y dos muestras codificadas.	
Marque con una X, la muestra que de acuerdo al SABOR es igual a R.	
<input type="checkbox"/> 484	<input type="checkbox"/> 613
COMENTARIOS	
_____	
_____	
_____	
<b>¡Gracias por su participación!</b>	

## Anexo 3 Carta de consentimiento informado.

### CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Nombre del participante: \_\_\_\_\_

#### Introducción

En el presente estudio se evaluará el nivel de preferencia de un producto adicionado con microcápsulas de hierro (sulfato ferroso, en una proporción adecuada y segura en peso de un producto) mediante una prueba sensorial. Este estudio va dirigido a adultos de ambos sexos en edad de 18-60 años, de la ciudad de Santiago de Querétaro, Qro. México. Es importante que si usted presenta cualquier tipo de intolerancia a los ingredientes del producto no participe en la prueba.

#### Resumen del estudio

Se darán muestras de un producto adicionado con microcápsulas de hierro donde se evaluará la aceptación con una respuesta de agrado o desagrado. Solo para determinar el sabor que perciben del producto.

#### Riesgos del estudio

Dada la naturaleza del estudio, **NO EXISTE** riesgo alguno que atente contra la seguridad o salud del participante. Las muestras han sido preparadas en estricto apego a las prácticas de higiene para la preparación de alimentos marcadas en la NOM-251-SSA1-2009. La información recabada del estudio es estrictamente confidencial de acuerdo con los lineamientos estipulados por el Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud (Artículos 13 y 16), Ley de Información Estadística y Geográfica (Artículos 38 y 42) y los del comité de bioética de la UAQ.

#### Beneficios del estudio

1. La información que se reúna será utilizada para fines del conocimiento del nivel de preferencia del estudio.
2. Agradecemos de antemano su autorización y consentimiento. Se le proporcionará una copia del presente documento para posibles futuras aclaraciones.

Al firmar este documento acepto participar en la prueba.

Firma del participante \_\_\_\_\_

Fecha:

\_\_\_\_\_  
Dra. Marcela Gaytán Martínez

Investigador Responsable

\_\_\_\_\_  
Lic. G. Cristian Josué Mendoza Meneses

Estudiante Responsable

#### Anexo 4 Datos de la entrevista de prefactibilidad.

	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4	Persona 5
Pregunta 1	Alimentos para personas de la tercera edad y niños	Productos de uso general, de la canasta básica o de consumo común	Los alimentos que por su naturaleza carecen de un aporte nutrimental importante y que sean ampliamente consumidos por las personas, esto para que en los productos más populares consuman los nutrientes necesarios	Alimentos de primera necesidad, tales como sopas, cereales, galletas, leche, tortillas, etc. Porque son alimentos que la gente consume a diario	La fortificación es un proceso que se puede realizar en diferentes alimentos, por lo que la gama es muy amplia. Por ejemplo, en bebidas, tortillas, cereales o panificación
Pregunta 2	Colocar el mineral y/o vitamina en un momento no adecuado, pérdida del nutriente	Considero que la mayor problemática es el tipo de compuesto que se está utilizando para la fortificación, dado que por su naturaleza podría cambiar las características organolépticas del producto y con ello reducir la aceptación del consumidor, tal es el caso del sulfato ferroso que modifica el color, aunque su absorción es significativa. Es por ello que la mejor manera de prevenir o remediar es elegir el compuesto o la forma química correcta que brinde mayor absorción o que tenga mayor biodisponibilidad, pero	El mayor problema en la fortificación de alimentos con compuestos como vitaminas y/o minerales, es justamente la naturaleza de estos, ya que es muy fácil que se pierdan. Existen medidas para garantizar la presencia del compuesto que se requiere en el alimento, aunque un mismo método o medida no aplica en general	En la fortificación con diferentes ingredientes, la combinación de estos puede causar problemas de compatibilidad y crear problemas de interacción entre compuestos, de hecho, hasta se pueden desactivar o retrasar la función entre ellos mismos	Existen diferentes problemas tecnológicos, dependiendo del tipo de fortificación y del material con el que se está haciendo, sin embargo, los principales defectos son la pérdida del beneficio del material con el que se está fortificando y el cambio de características en una fortificación desproporcionada

---

		que vaya acorde al tipo de producto que se está fortificando.			
Pregunta 3	Depende del tipo de ingrediente que se vaya a añadir	Que se inocuo e inerte para que no reaccione con otros compuestos presentes en el producto	Se esperaría que fuera un compuesto de calidad y que cumpla con las características mínimas para tratar alimentos	Que sea inocuo, libre de todo tipo de organismo dañino y materia externa	Son muy variados, pero en general se esperaría bajo costo, alta compatibilidad y buena calidad
Pregunta 4	Que su etiquetado sea claro, que indique la presencia del ingrediente	Que no modifique las características organolépticas del producto deseadas y que por su puesto no eleve el precio en demasía porque ello reduciría nuevamente el consumo de dicho producto	Que las características de sabor, olor y aroma no cambiaran, y que, si el compuesto que se agrega es benéfico, que lo mencione en el producto	Que no altere le producto, que no incremente el costo, y que sea a beneficio para la salud de las personas	Que no alterara el proceso de fortificación, que el nivel de fortificación sea alto y que contenga una leyenda anunciándolo
Pregunta 5	Son benéficos para la salud	Pues coadyuvaría en la eliminación de ciertos padecimientos causados por la deficiencia de minerales, en especial aquellos que están relacionados con la anemia, dado que es preocupante sobre todo en mujeres embarazadas, en edad reproductiva y en niños menores de 5 años.	La fortificación de micronutrientes, tal es el caso de minerales, que se vería beneficiada con un alimento que esté listo para la venta, se llevaría salud en los productos a las personas	Garantizar el bienestar de las personas, mejorando la calidad de los ingredientes que consumen	La mejora de la calidad nutrimental de los alimentos, lo que indica que las personas que lo consuman van a prevenir a aparición de problemas de salud relacionados con la falta de nutrientes

---

## Anexo 5 Comparación de cápsulas de AS

N°	Alginato	CaCl <sub>2</sub>	Tiempo	Descripción	Imagen
1	0.5%	1N	5min	<p>La formación de la gota en la punta de la aguja fue muy rápida, no se necesita mucha presión en el embolo para la formación.</p> <p>La formación de la cápsula al contacto con la solución de CaCl<sub>2</sub>, no se percibe a simple vista, sin embargo tras la exposición en la solución se apreciaban mejor.</p> <p>En conservación en agua, la percepción de las cápsulas es tenue y una vez escurrida todas las capsulas se aglomeran entre ellas.</p>	
2	1%			<p>La formación en la aguja fue rápida, la gota se aprecia de un color transparente y gotea de forma continua, la presión en el embolo es normal, no presenta mucha resistencia al goteo.</p> <p>La formación con la solución de CaCl<sub>2</sub> es al momento pero la tarda 1min en apreciarse en la solución.</p> <p>En conservación en agua las cápsulas casi no se aprecian en cuanto a forma pero, un punto blancuzco se aprecia y más grande respecto a la muestra anterior.</p>	
3	1.5%			<p>La formación de la gota en la aguja fue rápida se aprecia con buena fluidez, la presión es necesaria pero no en exceso al empujar al embolo.</p> <p>La formación de la capsula con la solución de CaCl<sub>2</sub> fue mejor, se aprecia la figura redonda al</p>	

---

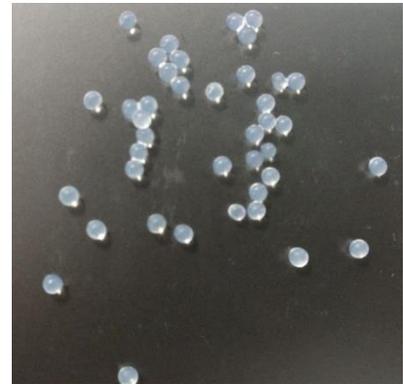
momento, de tal forma que se aprecian como caen al fondo del vaso.

En conservación en el agua, se aprecian los puntos blancos en cada cápsula de tal forma que se notan más grandes respecto a la muestra 1.

4 2%

En la aguja se aprecia la formación de la gota, y en el sesgo de la aguja se ve el material, la presión en el embolo empieza a aumentar sin ser excesiva. La gota cae bien y de un solo movimiento.

La formación de la cápsula se hace al momento cuando entran en contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  se aprecia por la forma en la que cuando en un goteo continuo las gotas chocan entre ellas pero en vez de disolverse, se golpean y desplazan.



En conservación en agua las cápsulas se aprecian bien definidas y por el centro blanco se nota como la cápsula está definida.

5 2.5%

La formación de las gotas en la aguja presenta buena fluidez, sin embargo se notan más pesadas o como tarda más la gotas en juntar el material necesario para el goteo, la presión del embolo es media pero todavía se puede controlar el goteo continuo.

Las cápsulas en contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  se forman al instante y presentan buena definición en cuanto a forma.

La conservación en agua se aprecia el tamaño y la forma



---

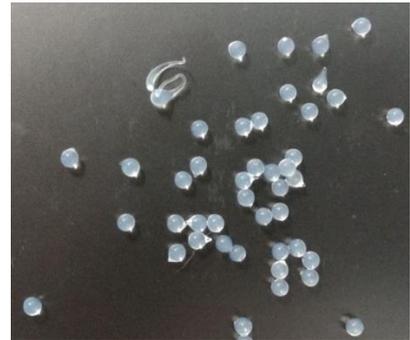
6 3%

respecto al punto blanco que se aprecia en toda la capsula.

La formación de la gota es pesada, la fuerza en el embolo es **mayor** lo que repercute en que el goteo es lento, **no se puede gotear de forma continua**. Esto además que en el aguja el material queda rezagado en el sesgo.

La formación de las cápsulas es al contacto sin embargo la forma es muy grande y llega a deformarse, con una punta excedente.

La conservación en agua es buena se aprecia la forma definida, lo que permite ver que en la morfología existe un defecto en pico.



7 3.5%

La formación de la gota en la aguja es **pesada**, se forma con un especie de excedente, la fuerza en el embolo es bastante para poder formar una gota.

La formación con la solución de  $\text{CaCl}_2$  es al instante pero por lo **viscoso** del material la formación es deforme, la forma varía en cada cápsula que se forma.

La conservación en agua forma bien la figura de la cápsula, sin embargo demuestra los defectos en cada gota.



---

8      0.5%      0.75N

La formación de la **gota es muy fluida**, se puede gotear de manera continua, la caída del material se realiza en un solo movimiento.

La formación de la cápsula por contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  no se nota en primera instancia, tarda 2 min en notarse ligeramente en el fondo del vaso.

La conservación en agua, se aprecian muy chicas, y el contorno es casi imperceptible.



9      1%

La formación de la gota en la aguja es fluida, la presión en el embolo es muy baja, se forma muy fácil en cuanto acumulación de material en la punta de la aguja.

La formación en contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  es al contacto pero no se aprecian sino tras 1 minuto después de exposición, es importante denotar que la forma no se aprecia definida.

La conservación en agua muestra como la forma es redonda no se aprecia tan definida.



10      1.5%

La formación de la gota en la aguja fue rápida se aprecia con buena fluidez, la presión es necesaria pero no en exceso al empujar al embolo.

La formación de la cápsula con la solución de  $\text{CaCl}_2$  es más lenta, se aprecia la formación de la cápsula después del contacto con la solución.

En conservación en agua, el punto blanco de las cápsulas muestra la forma de cada una sin bordes definidos.



---

11 2%

En la aguja se aprecia la formación de la gota, y en el sesgo de la aguja se ve el material, la presión en el embolo empieza a aumentar sin ser excesiva.

La formación se hace al momento en cuanto la gota entra en contacto con solución de  $\text{CaCl}_2$  sin embargo tardan aun así unos segundos en notarse la forma.

La conservación de las cápsulas en agua se aprecia con la forma definida de las cápsulas y como el color blanco cubre toda la forma de la cápsula.



12 2.5%

La formación de las gotas en la aguja presenta buena fluidez, sin embargo se notan más pesadas o como tarda más las gotas en juntar el material necesario para el goteo.

La formación de la cápsula tras el contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  fue al contacto, el goteo en forma continua muestra como chocan las gotas y desplazan hacia el fondo del vaso.

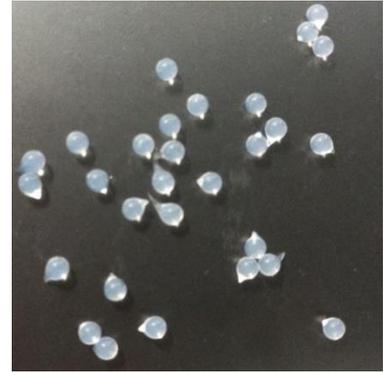
La conservación de las cápsulas en agua se muestra con el color blanco de las cápsulas que se disipa en toda la figura y la define.



---

13 3%

La forma de las gotas es pesada, se muestra que el goteo es muy difícil de controlar, la presión en el embolo es muy necesaria y no permite un goteo continuo. La formación de las cápsulas con la solución de  $\text{CaCl}_2$  es al contacto pero por lo mismo se forman unos picos.



La conservación en agua muestra la formación por el color blanco con el que se disipa en la forma de la cápsula.

14 3.5%

Las formación de las gotas es muy pesada, el material se queda en el sesgo de la aguja, se nota como el material es muy viscoso y cuando cae hacia la solución se nota como forma hilos o caen pedazos en hilos por la presión del embolo.

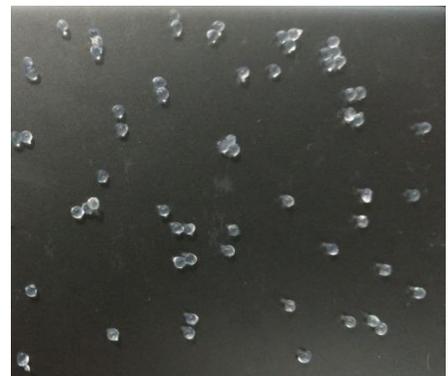


La formación de las cápsulas que entran en contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  se forman al contacto pero se muestra la forma con la que se deforma la cápsula.

La conservación en agua de las cápsulas muestra la forma definida de las cápsulas, apreciando los defectos en la formulación.

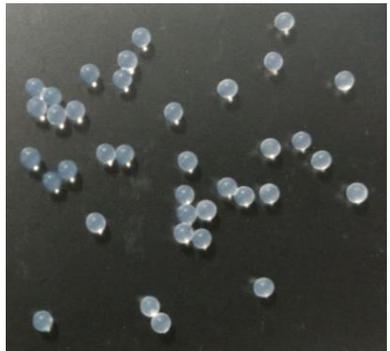
15 0.5% 0.5N

La formación de las gotas es muy fluida, y con respecto a la concentración de alginato presenta las mismas características anteriores.



La formación de las cápsulas es muy desigual se forman con una figura ovalada, aunque definida sin deformaciones. Sin embargo son delicadas y deformes.

---

16	1%	<p>La conservación en agua casi no se nota las cápsulas casi son imperceptibles.</p> <p>La formación de la gota es fluida con las características de la concentración de alginato previamente observadas.</p> <p>La formación de las cápsulas en contacto con la solución de <math>\text{CaCl}_2</math> se aprecia muy lenta, la formación es tras 3 minutos de exposición, y se notan formas muy desiguales. Redondas y ovaladas.</p>	
17	1.5%	<p>La conservación en agua de las capsulas, se aprecia el color blanco del centro de las cápsulas sin el borde definido.</p> <p>La formación de las gotas en esta concentración de alginato muestra las mismas características que las muestras anteriores de la misma concentración.</p> <p>La formación de las cápsulas con la solución de <math>\text{CaCl}_2</math> se presenta lenta el tiempo de exposición que paso tras definir la forma es de 2 minutos aproximadamente.</p>	
18	2%	<p>La conservación en agua muestra como el centro blanco de la muestra comienza a notarse de forma importante.</p> <p>Las gotas muestran las mismas características que las muestras anteriores de la misma concentración.</p> <p>La formación de las cápsulas tras el contacto de solución de <math>\text{CaCl}_2</math> es lenta pero se muestra lenta aun así, se forma al contacto y empieza a mostrarse desplazamiento al fondo.</p>	

---

19 2.5%

La conservación en agua muestra como el centro blanco se expande a lo largo de la figura definida.

La formación de las gotas presenta las mismas características que las muestras con la misma concentración que anteriormente se realizaron.

La formación de las cápsulas tras el contacto con la solución de  $\text{CaCl}_2$  tarda en formarse como 1 minuto después de exposición.

La conservación en agua muestra como el color blanco se expandió en toda la figura de la cápsula, en una forma muy definida y estable.

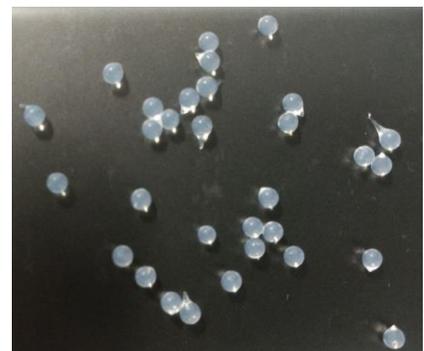


20 3%

La formación de las gotas presenta las mismas características que las muestras anteriores con respecto a la concentración de alginato.

La formación de las capsulas después de ser goteadas en la solución de  $\text{CaCl}_2$ , se forma lenta, pero al contacto se aprecia la figura sin embargo al precipitarse al fondo no muestra la figura definida.

La conservación en agua muestra como el centro blancuzco cubre la superficie definida de la cápsula.



---

21 3.%

La formación de las gotas muestra las características de la concentración de alginato de las muestras anteriores.

La formación con la solución de  $\text{CaCl}_2$  presenta deformidades como picos o tiras en las cápsulas.

La conservación en agua muestra la forma en la que sus excedentes se presentan en forma de tiras que sobresalen de la cápsula.

---



## **FICHA TÉCNICA DE MICROCÁPSULAS DE SULFATO FERROSO**

### 1. Nombre del producto

Microcápsulas de hierro II (Mcps de hierro)

### 2. Descripción

Micropartículas de hierro recubiertas de alginato de sodio, solidificadas mediante cloruro de calcio, usado para el fortalecimiento de alimentos en cuestión de este micronutriente.

### 3. Características fisicoquímicas

Humedad: 93% máximo.

Pureza: 68% mínimo.

PH solución 1%: 5.6 - 6.4.

Resistencia PH: 2 – 4.

Viscosidad cps 25°C: 250 – 300.

Estabilidad térmica °C: 120 – 130.

### 4. Características sensoriales

Color: Amarillo pálido – amarillo dorado.

Olor: Inoloro

Sabor: Insaboro

Textura: Gránulos finos

### 5. Consumidores potenciales

Estas microcápsulas son empleadas como fuente de hierro en la fortificación de alimentos precocidos, con un tratamiento de secado no agresivo por fuentes de calor. Así mismo, productos de gama media sin alteraciones en el sabor del producto.

## 6. Empaque y presentación

Las microcápsulas secas se presentan en sacos de 25kg con bolsa interior de polietileno y bolsa exterior de papel kraft resistente a la humedad.

El empaque está determinado con los datos especificados por el Codex Alimenticio para aditivos, como nombre general del aditivo, instrucciones para su conservación y utilización (Información suficiente de cómo mantenerse en conservación y empleo en el alimento), contenido neto, nombre y dirección, país de origen e identificación de lote.

## 7. Almacenamiento

En sitio fresco y seco (no almacenar a la intemperie). Las microcápsulas son partículas que puede absorber humedad del ambiente por lo tanto se deben mantener los sacos cerrados.

Anexo 7 Estado de resultados de un año de proyección financiera

**VITAFERRUM**

**Estado de Resultados proyectado**

Del 1 de enero de 2018 al 31 de diciembre de 2018

Expresado en \$

<b>Ventas</b>		2,730,000.00
<b>Costos variables</b>		
Materia prima		897,840.94
<b>Utilidad marginal</b>		1,832,159.06
<b>Costos fijos</b>		
Renta	96,000.00	
Sueldos	218,375.71	
Depreciación	9,014.00	
Servicios	4,908.00	328,297.71
<b>Utilidad Bruta</b>		1,503,861.35
<b>Gastos financieros</b>		
Proyecto de inversión		170,187.04
<b>Utilidad antes de impuestos</b>		1,333,674.31
<b>Impuestos</b>		
Impuesto sobre la renta		
PTU	132,466.03	132,466.03
<b>Utilidad Neta</b>		1,201,208.28