

**DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE  
ENCAPSULAMIENTO POR CO-CRISTALIZACIÓN DE PULPA DE  
GUAYABA (*Psidium guajava* L.)**



**PAOLA ANDREA ARCIA SOLANO  
AURA CRISTINA RAMÍREZ MESTRA**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
BERÁSTEGUI - CÓRDOBA**

**2016**

**DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE  
ENCAPSULAMIENTO POR CO-CRISTALIZACIÓN DE PULPA DE  
GUAYABA (*Psidium guajava L.*)**



**PAOLA ANDREA ARCIA SOLANO  
AURA CRISTINA RAMÍREZ MESTRA**

**Trabajo de grado presentado en opción al Título de Ingeniera de Alimentos.**

**Directores:**

**I.A, TEÓFILO ARTEAGA CAVADÍA  
Ms.C. EVERALDO MONTES MONTES**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
BERÁSTEGUI-CÓRDOBA**

**2016**

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

**Artículo 61, acuerdo No. 093 del 26 de noviembre de 2002 del Consejo Superior de la Universidad de Córdoba.**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

## **DEDICATORIA**

A Dios, Padre, Hijo y Espíritu Santo, por ayudarme en cada etapa de mi vida, por darme su fuerza, su sabiduría y su entendimiento. Gracias Dios por ser mi todo, te dedico este logro a ti, te doy toda la gloria y la honra.

A mi madre, Diana Carlina Solano Bermúdez, que ha sido y será siempre, mi mejor amiga, mi apoyo, la que me ha motivado y animado en muchos momentos de mi vida, gracias por estar, cuando más te he necesitado.

A mis abuelos, Sonia Margarita Bermúdez Álvarez y José Miguel Solano Agámez, que también han sido mi motivación para alcanzar mis sueños y metas.

A mi esposo, Jesús David Cruz Martínez por apoyarme incondicionalmente.

Estoy muy agradecida con todos ustedes por brindarme su amor, su apoyo, su ayuda incondicional, los amo con todo mi corazón y les dedico este y todos mis logros.

**PAOLA ARCIA SOLANO**

## **DEDICATORIA**

Primero que todo doy gracias a Dios por permitir trabajar en este proyecto, por ayudarme en todo momento durante cada etapa de mi vida, por ser misericordioso y estar pendiente siempre de sus hijos, gracias DIOS a ti te debemos todo lo que logramos.

A mi madre Cristina Mestra De las Salas quien siempre se ha preocupado por mí, por ser mi mejor amiga, mi confidente y consejera por darme las fuerzas cuando sentía que me faltaban y a mi padre Ariel Alfonso Durango por siempre estar conmigo, por apoyarme y darme todo su cariño de padre; a mis hermanos que han sido mi motivación para luchar por alcanzar mis metas y por ser un ejemplo para ellos, y le doy gracias a cada una de las personas que de alguna forma contribuyeron a formarme en esta bonita carrera a cada uno de mis profesores, amigos, familiares muchas gracias.

**AURA RAMÍREZ MESTRA**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Córdoba, especialmente al Programa de Ingeniería de Alimentos por formarnos como profesionales íntegras.

A los Ingenieros Teófilo Arteaga Cavadía y Everaldo Montes Montes, Directores de esta investigación, gracias por su apoyo y enseñanza.

A los Ingenieros Gabriel Vélez y Ramiro Torres, jurados de este trabajo de investigación.

A todo el personal del laboratorio de Ingeniería Aplicada de la Universidad de Córdoba.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	18
2.1. GUAYABA.....	18
2.1.1. Características generales de la guayaba.....	18
2.1.2. Origen y localización de la guayaba .....	19
2.1.3. Composición nutricional de la guayaba.....	19
2.1.4. Pérdidas poscosecha de la guayaba.....	20
2.2. ENCAPSULACIÓN.....	22
2.2.1. Definición.....	22
2.2.2. Aplicaciones en la industria de alimentos.....	23
2.2.3. Ventajas de la microencapsulación.....	24
2.2.4. Técnicas de encapsulación.....	25
2.2.4.1. Co-cristalización .....	26
2.3. OPTIMIZACIÓN.....	28



2.3.1. Definición.....	28
2.3.2. Metodología de Superficie de Respuesta.....	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.1. Tipo de Investigación.....	31
3.2. Población o Universo de Estudio.....	31
3.3. Localización.....	31
3.4. Materia prima.....	32
3.5. Diseño experimental.....	32
3.6. Encapsulamiento mediante la técnica de co-cristalización a la pulpa de guayaba concentrada .....	33
3.7. Estimación de las condiciones óptimas de operación en el proceso de co- cristalización de la pulpa de guayaba.....	34
3.8. Caracterización del producto óptimo resultante de la co-cristalización de la pulpa de guayaba, a través de la determinación de humedad, densidad aparente, solubilidad, ángulo de reposo, higroscopicidad y vitamina C.....	34
3.9. Evaluación sensorial por prueba de preferencia: comparación apareada.....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5. CONCLUSIONES.....	46
6. RECOMENDACIONES.....	47
7. BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	52

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de la guayaba dulce.....	20
Tabla 2. Variables y niveles de acuerdo con el esquema factorial $3^2$ .....	33
Tabla 3. Combinación de niveles de los factores para optimizar la variable respuesta para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentajes de pulpa 10, 15 y 20%, a 18 °Brix .....	37
Tabla 4. Combinación de niveles de los factores para optimizar la variable respuesta para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20 y 30%, a 18 °Brix .....	40
Tabla 5. Caracterización del producto óptimo resultante .....	42

## LISTA DE FIGURAS

.Figura 1. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de micro encapsulación.....	25
Figura 2. Superficie de respuesta tridimensional.....	29
Figura 3. Gráfica de contornos.....	30
Figura 4. Efectos principales para la degradación de Vitamina C para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentajes de pulpa 10, 15 y 20%, a 18 °Brix.....	37
Figura 5. Superficie de respuesta estimada para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentajes de pulpa 10, 15 y 20%, a 18 °Brix .....	38
Figura 6. Efectos principales para la degradación de Vitamina C para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20 y 30%, a 18 °Brix.....	40
Figura 7. Superficie de respuesta estimada para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20 y 30%, a 18 °Brix .....	41

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis estadísticos para pulpa de guayaba co-cristalizada, pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 15 y 20 %, a 18 °Brix.....	53
Anexo B. Análisis estadísticos para pulpa de guayaba co-cristalizada, pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20 y 30 %, a 18 °Brix .....	57
Anexo C. Tabla de significancia para pruebas de dos muestras .....	61
Anexo D. Formato Prueba de Preferencia: Comparación Apareada.....	62
Anexo E. Etapas del proceso de co-cristalización de la pulpa de guayaba.....	63

## RESUMEN

Para la determinación de las condiciones óptimas de encapsulamiento por co-cristalización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava L.*), en sacarosa, el pH de la pulpa concentrada fue ajustado a 3, 4 y 5 y los porcentajes de pulpa adicionada fueron 10, 15 y 20 % p/p. Los experimentos fueron realizados en un homogenizador (ULTRA-TURRAX T-50 Basic), se adicionó la pulpa de guayaba concentrada a 18 °Brix al jarabe de sacarosa de concentración 70 °Brix y se agitó vigorosamente la mezcla para inducir la encapsulación. Las variables fueron optimizadas empleando la metodología de superficies de respuesta (RMS) utilizando el software STATGRAPHICS CENTURION XV. Los resultados muestran que las condiciones óptimas para el encapsulamiento por co-cristalización de la pulpa de guayaba, fueron para el pH de la pulpa concentrada de 3,6 y el porcentaje de pulpa adicionada del 17,32 % p/p. Posteriormente se realizó la caracterización del producto óptimo resultante de la co-cristalización de la pulpa de guayaba, a través de la determinación de humedad, densidad aparente, solubilidad, ángulo de reposo, higroscopicidad y vitamina C y la evaluación sensorial, por medio de la prueba de preferencia apareada.

**Palabras clave:** Co-cristalización, pulpa de guayaba, condiciones óptimas, vitamina C, caracterización, evaluación sensorial.

## ABSTRACT

To determine the optimal conditions for co-crystallization encapsulation pulp guava (*Psidium guajava* L.), sucrose, the pH of the concentrated slurry was adjusted to 3, 4 and 5 and the percentage of pulp were added 10 , 15 and 20% w / w. The experiments were conducted in a homogenizer (ULTRA-TURRAX T-50 Basic), the concentrated guava pulp at 18 ° Brix concentration of sucrose syrup 70 ° Brix was added and the mixture was stirred vigorously to induce encapsulation. The variables were optimized using the response surface methodology (RMS) using the STATGRAPHICS CENTURION XV software. The results show that optimum conditions for encapsulation by co-crystallization of guava pulp were for the concentrated pulp pH of 3,6 and the percentage of pulp added 17,32% w / w. Subsequently optimal characterization product resulting from the co-crystallization of guava pulp was conducted by determining moisture, bulk density, solubility, angle of repose, hygroscopicity and Vitamin C and the sensory evaluation, through paired preference test.

**Keywords:** Co-crystallization, guava pulp, optimal conditions, vitamin C, characterization, sensory evaluation.

## 1. INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.), es una especie de amplia distribución y comercialización en muchos países tropicales y subtropicales del mundo, siendo India el mayor productor, seguido por Pakistán, México y Brasil, además son países productores Egipto, Tailandia, Colombia, Indonesia, Venezuela, Sudan, Bangladesh, Cuba, Vietnam, Malasia, Puerto Rico, Australia y Estados Unidos (Singh 2011).

Según Yam et al. (2010), la producción mundial de guayaba es aproximadamente de 1,2 millones de toneladas, la India y Pakistán aportan el 50%, México el 25% y el resto lo aportan otros países como Colombia, Egipto y Brasil.

Durante el año 2013 se cosecharon en Colombia 8.339 hectáreas de guayaba, con producción total de 69.096 toneladas, distribuida en 12 departamentos, siendo los principales departamentos productores: Santander, Tolima, Boyacá, Valle del Cauca, Antioquia y Caldas (Agronet 2014).

Las características deseadas de la guayaba para la industria son pulpa rosa, peso del fruto de 25 a 200 gramos, espesor de pulpa de 1,0 a 2,5 centímetros, con un número de semilla por fruto de 85 a 100, con una proporción de semillas con respecto al peso del fruto de 2 a 8%, de 10 a 12 °Brix, con una acidez total de 1,0 a 2,0 %, rendimiento en pulpa de 75 a 90%, con un contenido de vitamina C de 250 a 400 mg/100 g de pulpa y un rendimiento de 80 ton/ha (González et al. 2011).

“La Co-cristalización es un proceso de microencapsulación donde dos ingredientes son incorporados en un conglomerado poroso de microcristales de sacarosa formados por cristalización espontánea. Los procesos son llevados a cabo por concentración de jarabes de sacarosa hasta supersaturación. Lo anterior se logra con agitación constante del material a encapsular, esto permite una nucleación y aglomeración del producto” (Astolfi et al. 2005).

En esta investigación se utilizará el método de encapsulamiento por co-cristalización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava L.*), como alternativa para conservar el contenido vitamina C, que esta pulpa contiene. El objetivo de esta investigación fue determinar las condiciones óptimas (pH de la pulpa de guayaba concentrada y porcentaje de pulpa de guayaba adicionado al jarabe de sacarosa) para lograr la mínima degradación de vitamina C de la pulpa de guayaba co-cristalizada.



Este proyecto beneficiará a las pequeñas y medianas empresas que procesen esta fruta, debido a que repercutirá directamente en el desarrollo de estas, anexando valor agregado y comercial a la guayaba. También se busca con esta investigación incentivar a la creación de microempresas, contribuyendo al desarrollo de la Costa Caribe.

Los productores podrán aumentar sus ingresos, como resultado de la mayor oferta de sus productos cosechados y disminución de las pérdidas por cosecha. Otro factor importante que cabe mencionar sería la motivación a los productores para que ellos incrementen los cultivos de guayaba para el procesamiento de la pulpa co-cristalizada.

Los consumidores podrán obtener una pulpa de guayaba co-cristalizada de excelente calidad nutricional y sensorial, la cual mejorará las condiciones de transporte y posibilita su almacenamiento por más tiempo.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. GUAYABA**

#### **2.1.1. Características generales**

La Guayaba (*Psidium guajaba L.*) pertenece a la familia de las Mirtáceas. Su piel es de color verde con tonalidades amarillentas según su especie y estado de maduración. Puede ser de piel rugosa o completamente lisa; su pulpa puede ser de color blanco rosada, rojiza o rosada. Ésta suele tener una primera capa firme y con consistencia, y otra de pulpa jugosa, cremosa y blanda, que alberga gran cantidad de semillas pequeñas. (Imbaquingo y Pozo 2013). El fruto es una baya esférica, globosa, elipsoidal o piriforme; sus dimensiones cambian de una variedad a otra, es averrugado o liso, densamente punteado, brillante con 5 a 12 cm de largo y 5 a 7 cm de ancho, su peso varía de 30 a 225 g en variedades rosadas. El fruto en el exterior presenta un color amarillo verdoso y amarillo claro en su plena madurez. El color del mesocarpio es variable: puede ser blanco, blanco amarillento, rosa, amarillo, naranja y salmón. El sabor de la fruta completamente madura es dulce a ligeramente ácido; el aroma varía de fuerte y penetrante a moderado y agradable. Los frutos de las plantas de guayaba tienen un apreciable valor nutritivo. Es el fruto que aporta el mayor contenido de vitamina C, además de ser fuente de las vitaminas A y B3, azúcares (fructosa y glucosa), taninos, fibras (pectina en mayor concentración), así como también de poseer un alto valor de digestibilidad (Barriga et al. 2008).

### **2.1.2. Origen y localización de la guayaba.**

Según Barriga et al. (2008), la guayaba (*Psidium guajaba L.*) es un cultivo originario de América Tropical y actualmente se encuentra difundido en todo el mundo.

Según Singh (2011) los principales países productores de guayaba son India, Pakistán, México, Brasil, Egipto, Tailandia, Colombia, Indonesia, Venezuela, Sudan, Bangladesh, Cuba, Vietnam, Malasia, Puerto Rico, Australia y Estados Unidos.

Se ubica en la franja paralela al Ecuador, no más allá del paralelo 30 de ambos hemisferios, se adapta a altitudes desde el nivel del mar hasta 1500 m sobre el nivel del mar. La especie es sensible a bajas temperaturas. Los más altos rendimientos se obtienen con temperaturas entre 23°C y 28°C (Barriga et al. 2008).

### **2.1.3. Composición nutricional de la guayaba.**

La guayaba (*Psidium guajaba L.*) es una de las frutas con mayor contenido vitamínico (16 vitaminas diferentes). Contiene minerales como el calcio, fósforo, hierro; sustancias albuminoides, ácido tánico, vitamina A, B1, B2, B3 y C (FAO 2014).

Los datos de la composición nutricional se observan en la Tabla 1 y se deben interpretar por 100 g de la porción comestible.

**Tabla 1.** Composición nutricional de la guayaba dulce, (FAO 2014).

<b>COMPUESTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Calorías	51 Kcal
Agua	86.10 g
Proteína	0.82 g
Grasa	0.60 g
Cenizas	0.60 g
Carbohidratos	11.88 g
Fibra	5.4 g
Calcio	20 mg
Hierro	0.31 mg
Fósforo	25 mg
Vitamina C	183.5 mg

#### **2.1.4. Pérdidas poscosecha de la guayaba.**

Según García et al. (2011), la mayoría de los frutos frescos son catalogados como productos perecederos, por la tendencia a sufrir deterioro fisiológico, presencia de enfermedades e infecciones o por el ataque de plagas. Estos factores influyen en las pérdidas desde el momento de la cosecha, durante su acopio, distribución e incluso luego de ser adquiridas por el consumidor. En Colombia se estima que en frutas, incluyendo la guayaba, las pérdidas en poscosecha son altas y se acercan al 30%.

Según Yam et al. (2010) para el caso de la guayaba, los daños mecánicos son muy determinantes en el mantenimiento de la calidad del producto, estos daños en ocasiones son imposibles de detectar a simple vista, pero a medida que la fruta va terminando su vida de anaquel se hacen más evidentes, repercutiendo en cuestiones económicas.

Según Parra (2014), diferentes estudios poscosecha realizados a los frutos de guayaba, indican que son muy susceptibles al daño por frío, debiéndose almacenar a una temperatura adecuada de 5-10 °C.

A medida que transcurre el periodo poscosecha aumenta la pérdida de masa y disminuye la firmeza del fruto. El comportamiento fisiológico y las características poscosecha de los frutos (carbohidratos y sólidos solubles totales, ácidos orgánicos y acidez total titulable, contenido de ácido ascórbico, firmeza, entre otros), pueden variar en una misma localidad de acuerdo con el cultivar, la edad de la planta, la época del año, el manejo poscosecha de los frutos, las condiciones de cultivo y de almacenamiento.

Según García et al. (2011), la guayaba, por ser una fruta altamente perecedera, después de ser cosechada sufre reducción de su vida útil de 5 a 7 días, limitando su comercialización en mercados extranjeros. Las pérdidas aumentan debido al manejo inadecuado que recibe el producto, lo que conlleva a la búsqueda de alternativas que permitan aumentar el tiempo de vida útil de la guayaba y por ende conservar sus propiedades sensoriales y nutricionales.

Debido a esta problemática, surge la alternativa de utilizar el proceso de encapsulamiento por co-cristalización para disminuir las pérdidas poscosecha de la guayaba, obteniendo la mínima degradación de vitamina C de la pulpa de guayaba co-cristalizada, por medio de la determinación de las condiciones óptimas (pH de la pulpa concentrada y porcentaje de pulpa adicionado al jarabe de sacarosa) a través de la metodología de superficie de respuesta (RMS) utilizando el software Statgraphics Centurión XV.

## **2.2. ENCAPSULACIÓN**

### **2.2.1 Definición.**

Según Lupo y Gonzáles (2012), la encapsulación se refiere al empaquetado de materiales sólidos, líquidos o gaseosos mediante cápsulas que liberan su contenido de forma controlada bajo condiciones determinadas. La microencapsulación es la técnica de obtención de una barrera que retarda las reacciones químicas con el medio, promoviendo un aumento en la vida útil del producto.

“Una microcápsula consiste en una membrana esférica, semipermeable, delgada y fuerte que rodea un núcleo sólido o líquido, con un diámetro que varía de pocos micrones a 1000  $\mu\text{m}$ . El núcleo que compone la microcápsula es también denominado fase interna o principio activo, así como a la membrana se puede nombrar capa externa o matriz. En este sentido, las micropartículas, microcápsulas o microesferas son definidas como el

producto del proceso de microencapsulación dependiendo de cuál sea su morfología y estructura interna” (Lupo y Gonzáles 2012).

“La encapsulación, también se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa, esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas” (Fuchs et al. 2006).

### **2.2.2. Aplicaciones en la industria de alimentos**

Según Yañez et al. (2002) en el área de alimentos, las aplicaciones de la técnica de encapsulación se han ido incrementando, debido a la protección que esta técnica le brinda a los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios, resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de los productos.

### **2.2.3. Ventajas de la microencapsulación**

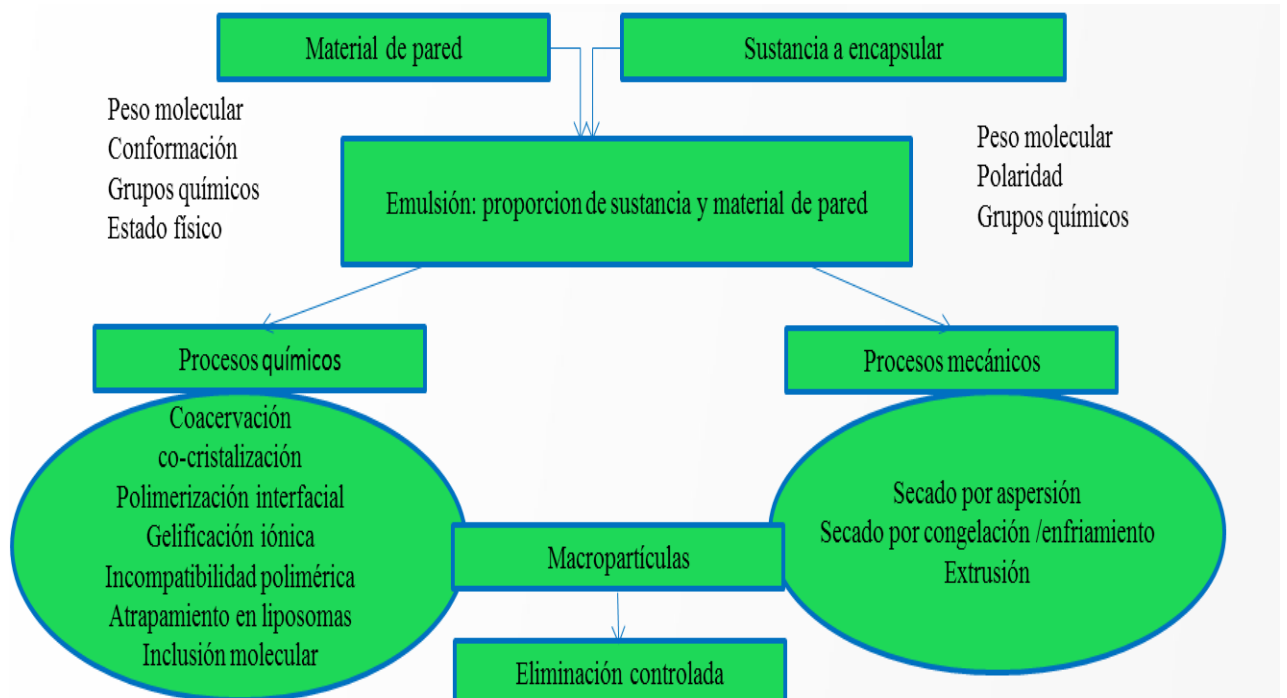
Las principales ventajas de la microencapsulación son:

- ✓ Proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad), etc.
- ✓ El compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado.
- ✓ Las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo (un material líquido convertido a polvo), la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra.
- ✓ El sabor y olor del material puede ser enmascarado.
- ✓ Puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen.
- ✓ Estabilización de principios activos inestables.
- ✓ Transformación de líquidos en sólidos (Astray et al. 2009).



## 2.2.4. Técnicas de encapsulación

Según Madene et al. (2006) citado por Parra (2011), las técnicas de encapsulación están divididas en dos grupos: químicos y mecánicos. En la Figura 1 se observan los principales métodos que se utilizan para encapsular sustancias, la co-cristalización se encuentra en el grupo de procesos químicos.



**Figura 1.** Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación (Madene et al. 2006)

#### **2.2.4.1 Co-cristalización**

“La co-cristalización es un proceso de microencapsulación donde dos ingredientes son incorporados en un conglomerado poroso de microcristales de sacarosa formados por cristalización espontánea. Los procesos son llevados a cabo por concentración de jarabes de sacarosa hasta supersaturación. Lo anterior se logra con agitación constante del material a encapsular, esto permite una nucleación y aglomeración del producto” (Astolfi et al. 2005).

Según Parra (2011) la co-cristalización es una alternativa flexible y económica, debido a que es un procedimiento sencillo; muchos productos pueden ser encapsulados, por medio de ésta técnica, tales como jugos o pulpas de frutas, aceites esenciales, saborizantes, aromatizantes, entre otros. La estructura del cristal de sacarosa puede ser modificada para formar agregados de cristales muy pequeños que incorporan los sabores, un ejemplo puede ser la cristalización espontánea del jarabe de sacarosa lograda a altas temperaturas (cerca de 120 °C). Durante el proceso, el líquido saborizado es transformado en gránulos secos y algunos compuestos termosensitivos pueden ser degradados.

Chen y Rizzuto (1988), citaron diversos productos que se pueden encapsular por la co-cristalización con sacarosa, como jugos, aceites esenciales, chocolate, mantequilla de maní y otros.

Beristain et al. (1996), encapsulo aceite de cáscara de naranja y llevo a cabo pruebas de almacenamiento de productos co-cristalizados resultantes. Aunque el producto presentó buena fluidez, este requiere la adición de antioxidante debido a la presencia de aceite no encapsulado resultante del exceso de material activo en relación con el agente de encapsulación.

Beristain et al. (1996), emplearon el método de encapsulación por co-cristalización para encapsular extracto de flores de hibisco (*Hibiscus sabdarifa* L.), lo que resultó en un producto de buena dispersabilidad, solubilidad, homogeneidad y fluidez, además de retener todo el aroma, sabor y color característico del extracto vegetal. Estos autores observaron que existe un efecto importante del pH del extracto sobre las propiedades del producto resultante.

Otro ejemplo de aplicación de esta técnica ha sido el encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en sacarosa. El pH del jugo concentrado fue ajustado a 3,5, 4,5 y 5,5 y los porcentajes de jugo adicionado fueron 10, 15 y 20% p/p respectivamente. Los experimentos fueron realizados en un reactor por lotes con cantidades iniciales de 300 g de jarabe de sacarosa con concentración inicial de 70 °Brix. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas para el encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuyá fueron para el pH de los jugos concentrados de 4,5 y el porcentaje de jugo adicionado 15 % p/p (Montes et al. 2006).

Según Beristain et al. (1996), la co-cristalización, en general, mejora la solubilidad, la humectabilidad, homogeneidad, dispersabilidad, hidratación, la estabilidad y la capacidad de flujo de los materiales encapsulados.

Según Anbinder et al. (2007), la co-cristalización permite obtener diferentes productos co-cristalizados con una alta concentración del compuesto activo. “Los polvos resultantes fluían libres y estables incluso en condiciones de alta humedad. Propiedades del producto co-cristalizado como fluidez, solubilidad, densidad y la distribución del tamaño dependían principalmente de la matriz de sacarosa”.

Por lo tanto según Anbinder et al. (2007), la co-cristalización es una buena alternativa para conservar y manejar los materiales lábiles para nuevas aplicaciones en productos alimenticios.

## **2.3. OPTIMIZACIÓN**

### **2.3.1. Definición**

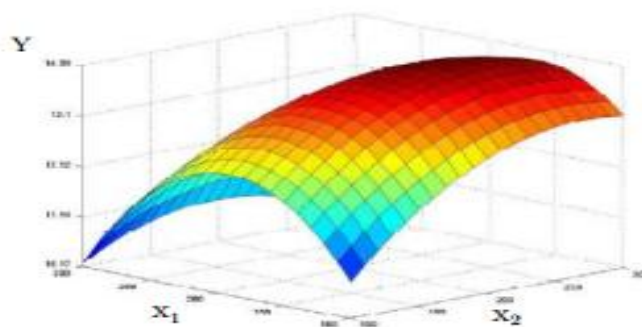
Según Marchena y Ornelas (2007), la optimización global consiste en encontrar la mejor solución de modelos de decisiones difíciles frente a las múltiples soluciones locales, en otras palabras, la optimización es un procedimiento que nos ayuda a obtener los mejores resultados posibles, determinando las variables óptimas que minimizan o maximizan la variable respuesta de un sistema.

Según Marchena y Ornelas (2007) las técnicas de optimización son utilizadas para encontrar un juego de parámetros de diseño  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ , que puede ser definido como óptimo. En un caso simple esto podría ser la minimización o la maximización de alguna característica de un sistema que es dependiente de  $x$ .

### 2.3.2. Metodología de Superficie de Respuesta

“La Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) es un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en el tratamiento de problemas en los que una respuesta de interés está influida por varios factores de carácter cuantitativo. El propósito inicial de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta y, a continuación, determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos. El objetivo final es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta” (Fernández y Piñeiro 2013).

La relación  $Y=f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  entre  $Y$  y los niveles de los  $k$  factores  $x_1, x_2, \dots, x_k$  representa una superficie. Con  $k$  factores la superficie está en  $k+1$  dimensiones. Por ejemplo cuando se tiene  $Y=f(x_1)$  la superficie esta en dos dimensiones, mientras que si tenemos  $Y=f(x_1, x_2)$  la superficie está en tres dimensiones, ver Figura 2.

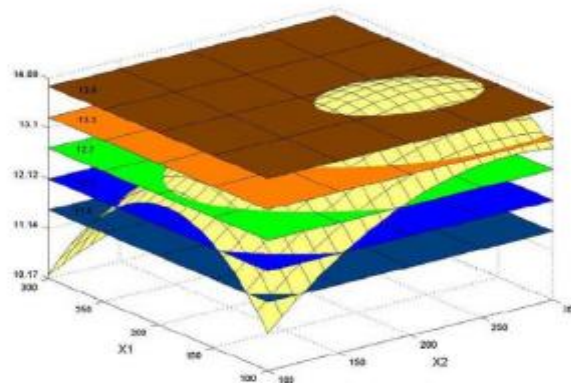


**Figura 2.** Superficie de respuesta tridimensional

Una técnica utilizada para ayudar a visualizar la forma que puede tener una superficie de respuesta tridimensional consiste en representar la gráfica de

contornos de la superficie, en la que se trazan las denominadas líneas de contorno, que son curvas correspondientes a valores constantes de la respuesta sobre el plano  $X_1X_2$  (plano cuyos ejes coordenados vienen dados por los niveles  $X_1$  y  $X_2$  de los factores). Geométricamente, cada línea de contorno es una proyección sobre el plano  $X_1X_2$  de una sección de la superficie de respuesta al intersectar con un plano paralelo al  $X_1X_2$ . La gráfica de contornos resulta útil para estudiar los niveles de los factores en los que se da un cambio en la forma o altura de la superficie de respuesta. La existencia de gráficas de contorno no está limitada a 3 dimensiones a pesar de que en el caso en que haya más de 3 factores de influencia no es posible la representación geométrica. No obstante, el hecho de poder representar gráficas de contorno para problemas en que haya 2 o 3 factores permite visualizar más fácilmente la situación general (Fernández y Piñeiro 2013).

Para generar la gráfica de contornos correspondiente se secciona la superficie de respuesta usando planos paralelos al  $X_1X_2$  en ciertos valores de respuesta considerados, tal como se puede observar en la Figura 3 (Fernández y Piñeiro 2013).



**Figura 3.** Gráfica de contornos.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

Este proyecto es una investigación de tipo descriptivo y experimental.

#### **3.2. Población o Universo de Estudio**

La población objeto de estudio fue la pulpa de guayaba co-cristalizada, la cual se obtuvo utilizando porcentajes de pulpa concentrada adicionada al jarabe de sacarosa de 10, 15 y 20 %, con pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4 y 5 inicialmente. El producto óptimo resultante de la co-cristalización de la pulpa de guayaba, fue caracterizado a través de la determinación de humedad, densidad aparente, ángulo de reposo, higroscopicidad, solubilidad y vitamina C.

#### **3.3. Localización**

Este estudio se realizó en el Corregimiento de Berástegui, perteneciente al Municipio de Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba con coordenadas geográficas 8° 40' 26" de latitud norte y 75° 46' 44" de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich, está localizada a una altura de 14 m.s.n.m, temperatura promedio anual de 29°C y humedad relativa promedio de 82%. Las pruebas se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Aplicada del programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Córdoba.

### **3.4. Materia-prima**

Se utilizó sacarosa de tipo comercial (azúcar refinada) y los jarabes fueron preparados en agua destilada.

La pulpa fue concentrada hasta 18 °Brix, a partir de guayabas frescas, utilizando el rotaevaporador Heidolph HB digital, ubicado en el laboratorio de Ingeniería Aplicada de la Universidad de Córdoba. El ajuste de pH de la pulpa concentrada antes de ser adicionada al jarabe de sacarosa fue realizado empleando bicarbonato de sodio y ácido cítrico grado alimenticio, utilizando el pH-metro digital METTLER TOLEDO modelo 8603.

### **3.5. Diseño experimental**

La variable respuesta (degradación de vitamina C) se optimizó (minimizando dicha variable), empleando la metodología de superficie de respuesta (RMS) utilizando el software Statgraphics Centurión XV.

Inicialmente, se realizó un arreglo factorial  $3^2$  (Dos variables y tres niveles) como se indica en la Tabla 2, con el fin de observar la tendencia de la curva hasta alcanzar un punto de inflexión, debido a que no se alcanzó dicho punto de inflexión, se aumentó el porcentaje de pulpa adicionada conservando los pH iniciales.



**Tabla 2.** Variables y niveles de acuerdo con el esquema factorial 3<sup>2</sup>.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0
% Pulpa adicionada	10	15	20	10	15	20	10	15	20

### **3.6. Encapsulamiento mediante la técnica de Co-cristalización a la pulpa de guayaba concentrada.**

En un recipiente metálico, se adicionó la pulpa de guayaba concentrada (18 °Brix), que provino del rotaevaporador Heidolph HB digital, junto con una solución de sacarosa sobresaturada que se obtuvo a partir del jarabe de sacarosa a 70° Brix, el cual fue calentado en una plancha de calentamiento hasta la temperatura de 120°C, indicativo del grado de sobresaturación necesario para la cristalización espontánea. La mezcla se agitó vigorosamente con el fin de inducir la encapsulación, para ello se utilizó el homogenizador (ULTRA-TURRAX T-50 Basic). La sobresaturación de la mezcla fue alcanzada por enfriamiento. Durante la co-cristalización, la velocidad de rotación del agitador fue mantenida constante en 3000 rpm, hasta observar la formación de un material sólido particulado. Posteriormente se retiró la mezcla obtenida y se llevó a la estufa al vacío (Thermo Scientific) a temperatura de 40 °C con el fin de retirar el exceso de humedad y evitar la degradación del producto, luego se realizó molienda y tamizado (ver Anexo E).

### **3.7. Estimación de las condiciones óptimas de operación en el proceso de co-cristalización de la pulpa de guayaba.**

La variable degradación de vitamina C, fue optimizada (minimizando dicha variable), empleando la metodología de superficie de respuesta (RMS). Cuando se alcanzó el punto de inflexión se realizó nuevamente un arreglo factorial  $3^2$  con punto centro el punto máximo de la curva, donde se definió gráfica y matemáticamente el óptimo. Se utilizó el software Statgraphics Centurion XV.

### **3.8. Caracterización del producto óptimo resultante de la co-cristalización de la pulpa de guayaba, a través de la determinación de humedad, densidad aparente, solubilidad, ángulo de reposo, higroscopicidad y vitamina C.**

- ✓ **Humedad:** La humedad fue determinada por balanza de luz alógena MOISTURE ANALYZER modelo LSD-50.
- ✓ **Densidad aparente:** Fue determinada a partir de una probeta graduada de 250 ml, midiéndose el volumen ocupado por 30 g de polvo. La probeta se agitó levemente, contra una superficie plana, hasta que el volumen ocupado por el polvo alcanzó un valor constante, el cual fue utilizado para el cálculo de la densidad aparente (Beristain *et al.* 1996).
- ✓ **Solubilidad:** Se midió el tiempo necesario para la completa disolución de 10 g del producto en 10 ml de agua destilada a 25 °C. La mezcla fue agitada manualmente y el tiempo medido correspondió al momento en que no se observaron más partículas sólidas en suspensión (Beristain *et al.* 1996).

- ✓ **Angulo de reposo:** El material en polvo fue descargado desde una altura fija a través de un embudo de vidrio colocado en un soporte, siendo recogido en una caja de Petri. La cantidad de muestra utilizada fue la que cubrió el fondo de la placa, formando un cono. A partir del radio de la placa de Petri y de la altura del cono formado por el polvo, se determinó el ángulo de reposo.
- ✓ **Higroscopicidad:** Se colocaron 0,25 g de producto encapsulado sobre la SALT 90 ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), en el equipo medidor de actividad acuosa LabMaster.aw de novasina, a 25 °C hasta alcanzar el equilibrio. Posteriormente se midió la diferencia de masa en balanza electrónica de precisión 0,0001 g, marca OHAUS modelo Pioneer PA 214.
- ✓ **Vitamina C:** Para la determinación de la concentración de vitamina C fue utilizado el método espectrofotométrico. Muestras del producto co-cristalizado de 1 g fueron homogenizadas con 24 ml de ácido oxálico al 0,15 %, se dejó en reposo por tres minutos, luego se filtró y se midió la absorbancia en el espectrofotómetro. Este procedimiento fue realizado a todas las muestras de pulpa de guayaba co-cristalizada y finalmente al producto óptimo.

### **3.9. Evaluación sensorial por prueba de preferencia: comparación apareada.**

Se realizó una prueba de preferencia: comparación apareada, con 25 catadores semi-entrenados, donde fueron orientados a seleccionar la muestra de su preferencia, las muestras fueron néctar de guayaba natural y el producto óptimo reconstituido.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Estimación de las condiciones óptimas de operación en el proceso de co-cristalización de la pulpa de guayaba.

La ecuación 1, muestra el modelo matemático de segundo orden que mejor se ajustó, generado a partir de los datos experimentales obtenidos para la degradación de la vitamina C para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentajes de pulpa 10, 15 y 20%, a 18 °Brix, en donde DVitaC es la degradación de la vitamina C (mg/cm<sup>3</sup>) y [J] es el porcentaje de pulpa concentrada adicionada al jarabe de sacarosa. El coeficiente de correlación ajustado (R<sup>2</sup>) fue de 95,31%.

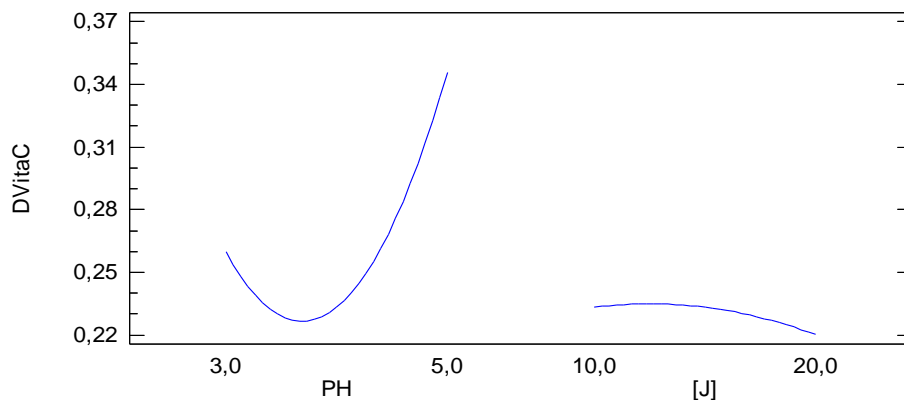
$$\text{DVitaC} = 1,12501 - 0,510037*\text{PH} + 0,00698339*[\text{J}] + 0,0693308*\text{PH}^2 - 0,000108492*\text{PH}*[\text{J}] - 0,000262622*[\text{J}]^2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

En la Tabla 3, se muestra la combinación de los niveles de los factores de pH y porcentaje de pulpa de guayaba adicionada al jarabe de sacarosa, que minimizan la degradación de la vitamina C, hasta un valor óptimo de la variable respuesta de 0,21 mg/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 3.** Combinación de niveles de los factores para optimizar la variable respuesta para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentajes de pulpa 10, 15 y 20%, a 18 °Brix.

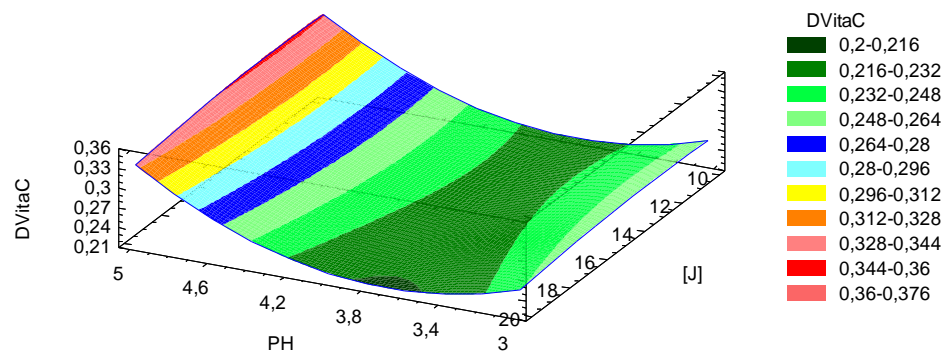
<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
PH	3,00	5,00	3,69
[J]	10,00	20,00	20,00

En la Figura 4, se presentan los efectos principales de los dos factores estudiados (pH y porcentaje de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa) sobre la degradación de la vitamina C, se puede observar la tendencia de la curva de pH, en la cual se tiene que el pH óptimo es de 3,69, a este pH se obtiene la mínima degradación de vitamina C. En cuanto a la gráfica de porcentajes de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa, se puede observar que no presenta un punto de inflexión u óptimo, por lo cual fue necesario aumentar el porcentaje de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa.



**Figura 4.** Efectos principales para la degradación de Vitamina C para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentajes de pulpa 10, 15 y 20%, a 18 °Brix.

La Figura 5, representa la superficie de respuesta tridimensional en la que se observa la degradación de la vitamina C esperada en función del pH y del porcentaje de pulpa adicionado al jarabe. No se alcanza a observar la elipse central en la zona verde oscuro, la cual nos dará las coordenadas del pH y porcentaje de pulpa óptimos, por lo que fue necesario aumentar el porcentaje de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa, manteniendo constantes los niveles de pH.



**Figura 5.** Superficie de respuesta estimada para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentajes de pulpa 10, 15 y 20%, a 18 °Brix.

Para nuestro caso, dado que hay dos factores de influencia ( $k = 2$ ), la superficie de respuesta se visualiza en un espacio tridimensional en el que la tercera dimensión representa la degradación de vitamina C esperada, sobre el plano bidimensional definido por las combinaciones de los niveles de los dos factores, pH y porcentaje de pulpa de guayaba adicionada al jarabe de sacarosa, tal como se puede observar en la Figura 5.

La ecuación 2, muestra el modelo matemático de segundo orden que se ajustó a los datos experimentales obtenidos para la degradación de la vitamina C, para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20 y 30%, a 18 °Brix, en donde DVitaC es la degradación de la vitamina C (mg/cm<sup>3</sup>) y [J] es el porcentaje de pulpa concentrada adicionada al jarabe de sacarosa. El coeficiente de correlación ajustado (R<sup>2</sup>) fue de 95,79%.

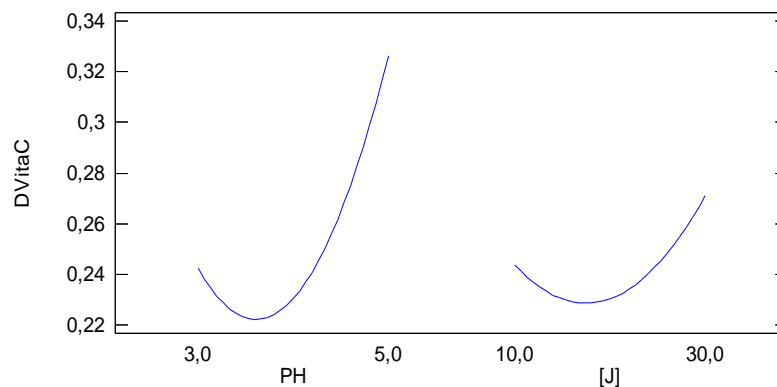
$$DVitaC = 0,993216 - 0,387076*PH - 0,00866406*[J] + 0,0541261*PH^2 - 0,000195755*PH*[J] + 0,000270595*[J]^2 \quad (\text{Ecuación 2}).$$

En la **Tabla 4.** se muestra la combinación de los niveles de los factores de pH y porcentaje de pulpa de guayaba adicionada al jarabe de sacarosa, que minimizan la degradación de la vitamina C, hasta un valor óptimo de la variable respuesta de 0,22 mg/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 4.** Combinación de niveles de los factores para optimizar la variable respuesta para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20 y 30%, a 18 °Brix.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
PH	3,0	5,0	3,61
[J]	10,0	30,0	17,32

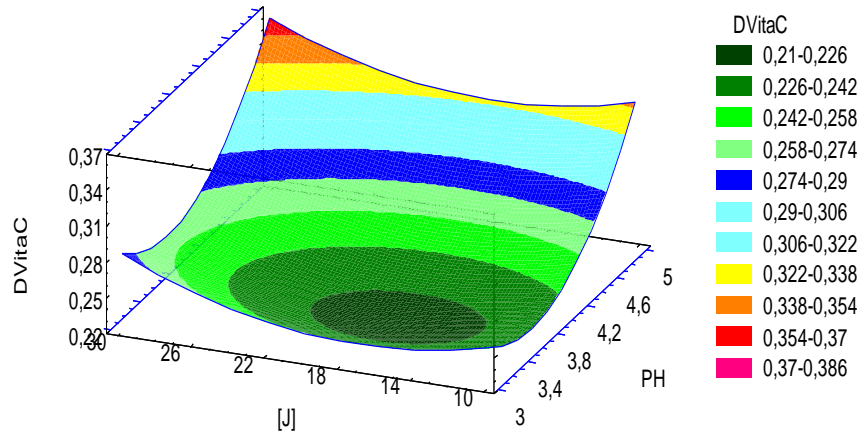
En la **Figura 6**, se presentan los efectos principales de los dos factores estudiados (pH y porcentaje de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa) sobre la degradación de la vitamina C, se puede observar la tendencia de la curva de pH, en la cual se tiene que el pH óptimo en el que obtiene la mínima degradación de vitamina C es de 3,61. En cuanto a la tendencia de la curva de porcentajes de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa se tiene que el porcentaje de pulpa óptimo adicionado al jarabe de sacarosa es de 17,32%, con este porcentaje de pulpa se obtiene la mínima degradación de vitamina C.



**Figura 6.** Efectos principales para la degradación de Vitamina C para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20 y 30%, a 18 °Brix.



En la figura 7, se puede observar la gráfica de superficie de respuesta estimada, la cual facilita la visualización de la forma de la superficie de respuesta en tres dimensiones, en esta gráfica las curvas de los valores de la variable respuesta se ubican en el plano donde los ejes coordenados representan los niveles de los factores, pH y porcentaje de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa. La degradación mínima de vitamina C, que es de 0,22 mg/cm<sup>3</sup> se localiza en el centro de la elipse más pequeña y corresponde al pH de 3,61 y porcentaje de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa de 17,32 %.



**Figura 7.** Superficie de Respuesta Estimada para pH de la pulpa de guayaba concentrada de 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20 y 30%, a 18 °Brix.

#### 4.2. Caracterización del producto óptimo resultante (pulpa de guayaba co-cristalizada).

La caracterización del producto óptimo resultante de la co-cristalización de la pulpa de guayaba, fue realizada a través de la determinación de la humedad, densidad aparente, solubilidad, ángulo de reposo, higroscopicidad y vitamina C, los resultados obtenidos de cada una de estas propiedades se observan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Caracterización del producto óptimo resultante

<b>Propiedad</b>	<b>Resultado</b>
Humedad (%)	2,32 ± 0,19
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,88 ± 0,17
Solubilidad (s)	13,33 ± 1,53
Ángulo de reposo ( °)	38,37 ± 1,07
Higroscopicidad (%)	46 ± 2,83
Vitamina C (mg/g)	1,17 ± 0,065
Aw (a 25 °C)	0,43 ± 0,002

En la Tabla 5, se puede observar que la humedad del producto óptimo co-cristalizado, dio un resultado de 2,32 % ± 0,19, indicando que el producto obtenido presentó un bajo contenido de agua. Los porcentajes de humedad del producto óptimo co-cristalizado (pulpa de guayaba co-cristalizada), son cercanos a los obtenidos por Mosquera (2010), quien reporta valores de humedad de borjón en polvo de 1% a 2% y se encuentran dentro de los valores reportados por Monteagudo et al. (2013), quienes obtuvieron valores de humedad entre 1,7 % - 4,5% en el kiwi en polvo.

La densidad aparente dio como resultado 0,88 g/cm<sup>3</sup> ± 0,17; estos valores son mayores a los obtenidos por Beristain et al. (1996) quienes encontraron valores

entre 0,67 y 0,75 g / cm<sup>3</sup> en piel de naranja co-cristalizado, Anbinder et al. (2007) quienes encontraron valores entre 0,65 y 0,72 g / cm<sup>3</sup> en extracto de yerba mate y Astolfi et al. (2005) quienes encontraron valores entre 0,638 y 0,769 g / cm<sup>3</sup> para el jugo de maracuyá co-cristalizado, por lo tanto se observa que para nuestro caso, el producto co-cristalizado obtuvo una densidad más alta esto se debe a que la densidad dependía principalmente de la matriz de sacarosa y debido a que se co-cristalizó un producto como la pulpa guayaba, ésta al ser densa le dio a la matriz de sacarosa más densidad.

Respecto al tiempo de solubilización del producto óptimo co-cristalizado (pulpa guayaba co-cristalizada), se obtuvo como resultado  $13,33 \pm 1,53$  segundos; estos valores son menores a los reportados por Anbinder et al. (2007), los cuales encontraron valores de solubilidad para la sacarosa de 1,37 minutos y para el extracto de yerba mate de 1,33 minutos. Los valores de solubilidad encontrados por Berinstain et al. (1996) en extracto de flores de hibisco co-cristalizado entre 28,3 y 35 segundos, son valores más cercanos a los obtenidos de solubilidad del producto óptimo co-cristalizado (pulpa guayaba co-cristalizada); estos valores indican que ambos productos tienen excelentes propiedades de reconstitución y una buena solubilidad característica de estos productos.

La medida del ángulo estático de reposo es un método simple de caracterización del comportamiento de polvos o gránulos durante el flujo. Los polvos que exhiben ángulos de reposo menores que 40°, generalmente presentan propiedades

de flujo libre, mientras que ángulos arriba de  $50^{\circ}$  indican cohesividades o problemas de flujo según Bhandari et al. (1998); en la tabla 5, se observa que la muestra del producto óptimo co-cristalizado (pulpa de guayaba co-cristalizada) presentó ángulos de reposo de  $38,37^{\circ} \pm 1,07$ , lo que indica que el producto óptimo co-cristalizado (polvo), se caracteriza por presentar propiedades de un flujo libre.

La actividad de agua del producto óptimo co-cristalizado dio como resultado  $0,43 \pm 0,002$  a  $25^{\circ}\text{C}$ , estos valores son mayores al obtenido por Mosquera (2010), quien encontró que la actividad de agua para el borjón en polvo es de  $0,379$  a  $20^{\circ}\text{C}$ . El producto óptimo co-cristalizado (pulpa guayaba co-cristalizada) presenta un comportamiento similar al de la sacarosa, ya que la actividad de agua de la sacarosa es de  $0,47$  según Anbinder et al. (2007), esto es debido a que el producto óptimo co-cristalizado, tiene un porcentaje de pulpa de guayaba concentrada de  $17,32\%$  y el resto corresponde a jarabe de sacarosa.

Los valores de actividad de agua presentan variación según el componente activo que se utilice. Según Anbinder et al. (2007), en general, los valores de actividad de agua iguales o inferiores a  $0,47$  denotan la seguridad microbiológica de los productos, lo cual indica que el producto óptimo co-cristalizado (pulpa de guayaba co-cristalizada) es seguro microbiológicamente.

En cuanto a la higroscopicidad del producto óptimo, se obtuvo un resultado de  $46\% \pm 2,83$ , estos valores se encuentran dentro del rango obtenido por Anbinder et al. (2007), quienes encontraron valores de higroscopicidad entre

41% y 65% en extracto de yerba mate. Según Anbinder et al. (2007), un contenido de agua bajo y una baja higroscopicidad caracterizan un producto de alta estabilidad durante el almacenamiento.

Los valores de vitamina C del producto óptimo co-cristalizado (pulpa guayaba co-cristalizada) fueron  $1,17 \text{ mg/g} \pm 0,065$ , los cuales son mayores a los obtenidos por Montes et al. 2006, quienes encontraron valores de vitamina C para el jugo de maracuyá congelado de  $0,276 \text{ mg/g}$  y para el jugo de maracuyá co-cristalizado de  $0,0539 \text{ mg/g}$  (tiempo cero de almacenamiento).

#### **4.3. Evaluación sensorial por prueba de preferencia apareada.**

La prueba de preferencia apareada fue realizada con 25 catadores semi-entrenados, los cuales probaron dos muestras, néctar de guayaba natural y el producto óptimo reconstituido, 19 catadores prefirieron la muestra de néctar de guayaba natural, esto indica que hay preferencia significativa por parte de los jueces entre las dos muestras, ya que en la tabla de significancia para pruebas de dos muestras (ver Anexo C), se puede observar que el número mínimo de respuestas coincidentes para un nivel de significancia del 5 %, es de 18.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que las condiciones óptimas para el encapsulamiento por co-cristalización de la pulpa de guayaba, fueron para el pH de la pulpa concentrada de 3,61 y el porcentaje de pulpa adicionada al jarabe de sacarosa de 17,32 % p/p. Estas condiciones óptimas garantizan la degradación mínima de vitamina C de la pulpa de guayaba co-cristalizada.

Se realizó la caracterización del producto óptimo co-cristalizado, el cual presentó como características una buena solubilidad, homogeneidad y fluidez, así como una baja humedad y actividad de agua, lo que indica que es un producto seguro microbiológicamente, además se caracteriza por presentar las propiedades de un flujo libre.

La prueba sensorial de preferencia apareada arrojó como resultado que la muestra de néctar de guayaba natural tuvo preferencia significativa respecto a la muestra del producto óptimo reconstituido.

## **6. RECOMENDACIONES**

- ✓ Utilizar el proceso de co-cristalización en otras variedades de frutas.
- ✓ Realizar un análisis de microscopía óptica de barrido al producto óptimo co-cristalizado.
- ✓ Realizar estudios de curvas de adsorción para estudiar el comportamiento del producto co-cristalizado.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Agronet, 2014.** Reportes estadísticos. <http://www.agronet.gov.co>

**Anbinder, P., Navarro, S., Deladino, L. y Martino, M. 2007.** Co-crystallization of yerba mate extract (*Ilex paraguariensis*) and mineral salts within a sucrose matrix. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA), CONICET, Faculty Ciencias Exactas, La Plata, 1900 Buenos Aires, Argentina.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406004791>

**Anzaldua, A. 2005.** La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España.

**Astolfi, Z., Souza, A., Reipert, E. y Telis, V. 2005.** Encapsulation of passion fruit juice by co-crystallization with sucrose: crystallization kinetics and physical properties. *Revista Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Campinas)*.vol.25 no.4 [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612005000400027&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612005000400027&lng=en&nrm=iso). [14 febrero 2015].

**Astray, G., Mejuto, J., Rial, R., González, C. y Simal, J. 2009.** A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids* 23(7): 1631-1640.

**Barriga, L., Yahuaca, V. y Martínez, H. 2008.** Efecto del almacenamiento sobre algunas propiedades físico-químicas en frutos de guayaba (*Psidium guajava*). *BIOLÓGICAS*, No. 10, pp. 87-93



**Beristain, C., Vázquez, A., García, H. y Vernon-Carter, E. 1996.** Encapsulation of orange peel oil by co-crystallization. *Lebensmittel- Wissenschaft and-Technology* 29:645-647

**Bhandari, B., Datta, N., D'arcy, B. y Rintoul, G. 1998.** Co-Crystallization of honey with sucrose. *Lebensmittel- Wissenschaft und-Technolgie*31:138-142.

**Chen, A., Veiga, M. y Rizzuto, A. 1988.** Co- Crystallization: an encapsulation process. *Food Technology*. v. 42, n. 11, p. 87-90.

**De Paula, C. 2001.** Prácticas de laboratorio de análisis sensorial de alimentos y bebidas. Universidad de Córdoba. Montería-Córdoba.

**FAO. 2014.** Fichas técnicas. PRODAR (Programa de Desarrollo de la Agroindustria Rural de América Latina y el Caribe). <http://www.fao.org/3/a-ae620s.pdf>. [14 febrero 2015].

**Fernández, C. y Piñeiro, M. 2013.** Superficies de respuesta: Métodos y Diseños. [http://www.fcb.unl.edu.ar/laboratorios/ladaq/curso\\_TopQuim\\_2013/Bibliografia%20RSM/superficie%20de%20respuesta%201.pdf](http://www.fcb.unl.edu.ar/laboratorios/ladaq/curso_TopQuim_2013/Bibliografia%20RSM/superficie%20de%20respuesta%201.pdf). [13 noviembre 2015].

**Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M., Ordonnaud, C., Peyrat, M. y Dumoulin, E. 2006.** Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 75(1): 27-35.

**García, C., Cury, K. y Dussán, S. 2011.** Comportamiento Poscosecha y Evaluación de Calidad de Fruta Fresca de Guayaba en Diferentes Condiciones de Almacenamiento. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, vol. 64, núm. 2, pp. 6207-6212, Universidad Nacional de Colombia.

**González, E., Padilla, J., Reyes, L., Esquivel, F., Robles, F. y Perales, M. 2011.** Tecnología para Producir Guayaba en Calvillo, Aguascalientes. Aguascalientes: Inifap.

**Imbaquingo, S. y Pozo, V. 2013.** Elaboración de bocadillo de guayaba (*psidium guajaba* L.) incorporando fréjol cargabello (*phaseolus vulgaris*) y panela, para mejorar el valor nutricional del producto”. Tesis Ingeniero Agroindustrial, universidad técnica del norte.

**Lupo, B. y Gonzales, C. 2012.** Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3 (1): 130-151.

**Madene, A., Scher, J. y Desobry, S. 2006.** Flavour encapsulation and controlled release - a review. International Journal of Food Science and Technology 4(1):1-21.

**Marchena, W. y Ornelas, C. 2007.** Optimización y la Programación Lineal: Una Introducción. Reporte de Investigación. <http://fglongatt.org/OLD/Reportes/RPT2007-07.pdf> [12 noviembre 2015].

**Monteagudo, G., Benlloch, M., Camacho, M. y Moraga, G. 2013.** Aplicación de los métodos combinados para la obtención de kiwi en polvo de alta calidad. Instituto de Ingeniería de Alimentos para el desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27836/TESIS%20M%C3%81STER%20Gema%20Monteagudo%20Fraile.pdf?sequence=1>

**Montes, E., De Paula, C. y Ortega, F. 2006.** Determinación de las condiciones óptimas de encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*). Revista Temas Agrarios 12: 5-12.

**Mosquera, L. 2010.** Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina ó goma arábica) en las propiedades fisicoquímicas del borjón y fresa en polvo. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis doctoral. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9035/tesisUPV3449.pdf>

**Parra, A. 2014.** Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Una revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas - Vol. 8 - No. 2 - pp. 315 y 324. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

**Parra, R. 2011.** Revisión: Microencapsulación de Alimentos. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/25055/37055> [12 octubre 2015].

**Singh, S. 2011.** Guava (*P. guajava* L.). pp. 213-245. En: Yahia, E.M. (ed.). Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Vol. 3. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.

**Yam, J., Villaseñor, C., Romantchik, E., Soto, M. y Peña, M. 2010.** Una revisión sobre la importancia del fruto de guayaba (*P. guajava* L.) y sus principales características en la postcosecha. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 19(4): 74-82.

**Yañez, J., Salazar, J., Chaires, L., Jiménez, J., Márquez, M. y Ramos, E. 2002.** Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. Revista Avance y Perspectiva 21: 313-319.

# **ANEXOS**

**Anexo A. Análisis estadísticos para pulpa de guayaba co-cristalizada, pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 15 y 20 %, a 18 °Brix.**

**Analizar Experimento - DVitaC**

Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\Desktop\RESULTMCA\G101520e.sfx

**Efectos estimados para DVitaC**

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	0,233301	0,00539754	
A:PH	0,0859629	0,00591271	1,0
B:[J]	-0,0132924	0,00591271	1,0
AA	0,138662	0,0102411	1,0
AB	-0,00108492	0,00724156	1,0
BB	-0,0131311	0,0102411	1,0
Bloque	-0,307465	0,0174066	1,85714
Bloque	-0,231073	0,0174066	1,85714
Bloque	-0,153973	0,0174066	1,85714
Bloque	-0,0970479	0,0174066	1,85714
Bloque	-0,045582	0,0174066	1,85714
Bloque	0,00147037	0,0174066	1,85714
Bloque	0,0615803	0,0174066	1,85714
Bloque	0,091474	0,0174066	1,85714
Bloque	0,138496	0,0174066	1,85714
Bloque	0,183688	0,0174066	1,85714
Bloque	0,226925	0,0174066	1,85714
Bloque	0,258	0,0174066	1,85714
Bloque	0,279878	0,0174066	1,85714

Errores estándar basados en el error total con 107 g.l.

**Análisis de Varianza para DVitaC**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:PH	0,155182	1	0,155182	211,37	0,0000
B:[J]	0,00371044	1	0,00371044	5,05	0,0266
AA	0,134589	1	0,134589	183,32	0,0000
AB	0,0000164787	1	0,0000164787	0,02	0,8812
BB	0,00120698	1	0,00120698	1,64	0,2025
Bloques	1,37193	13	0,105533	143,75	0,0000
Error total	0,0785555	107	0,000734164		
Total (corr.)	1,74519	125			

**Continuación Anexo A. Análisis estadísticos para pulpa de guayaba co-cristalizada pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 15, 20 %, a 18 °Brix.**

R-cuadrada = 95,4987 porciento  
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 95,3112 porciento  
 Error estándar del est. = 0,0270955  
 Error absoluto medio = 0,0194729  
 Estadístico Durbin-Watson = 2,94673 (P=1,0000)  
 Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,47719

**Coef. de regresión para DVitaC**

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	1,12501
A:PH	-0,510037
B:[J]	0,00698339
AA	0,0693308
AB	-0,000108492
BB	-0,000262622

**El StatAdvisor**

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$DVitaC = 1,12501 - 0,510037*PH + 0,00698339*[J] + 0,0693308*PH^2 - 0,000108492*PH*[J] - 0,000262622*[J]^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

**Camino de Máximo Ascenso para DVitaC**

		<i>Predicción para</i>
<i>PH</i>	<i>[J]</i>	<i>DVitaC</i>
4,0	15,0	0,233301
5,0	14,6635	0,346067
6,0	14,5318	0,597254
7,0	14,4448	0,98706
8,0	14,3777	1,51551
9,0	14,3217	2,18263

**Continuación Anexo A. Análisis estadísticos para pulpa de guayaba co-cristalizada pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 15, 20 %, a 18 °Brix.**

**Optimizar Respuesta**

Meta: minimizar DVitaC

Valor óptimo = 0,213595

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
PH	3,0	5,0	3,69393
[J]	10,0	20,0	20,0

**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual minimiza DVitaC sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

**Continuación Anexo A. Análisis estadísticos para pulpa de guayaba co-cristalizada  
pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 15, 20 %, a 18 °Brix.**

Gráfica de Residuos para DVitaC

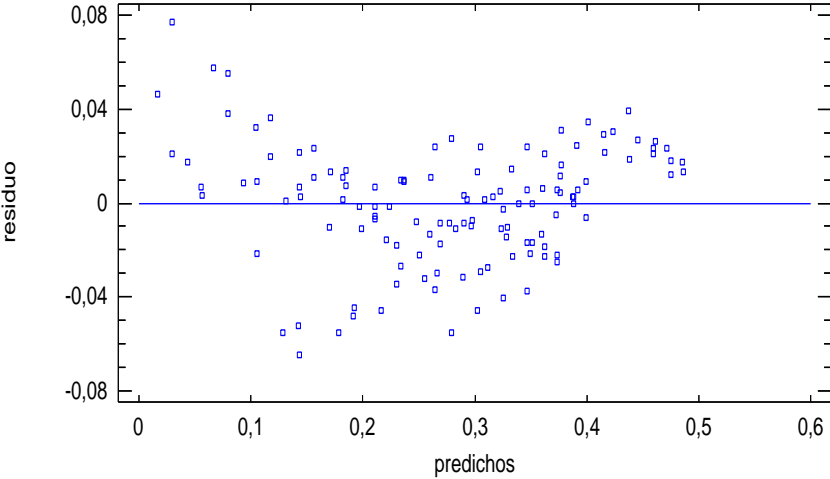
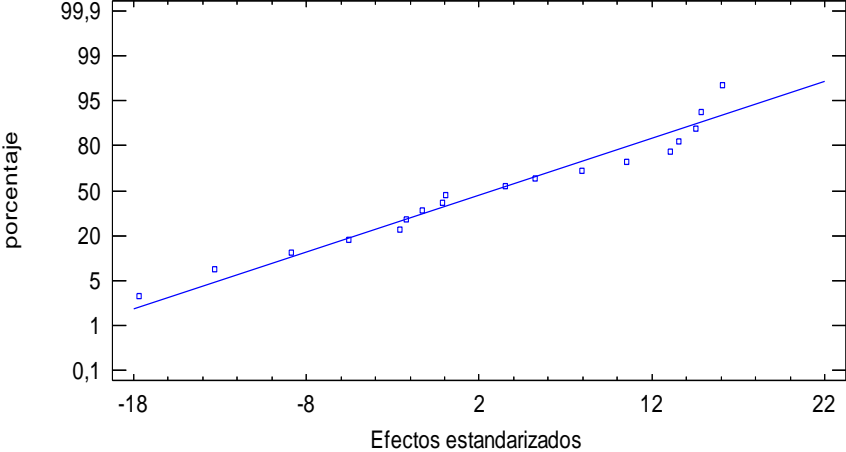


Gráfico de Probabilidad Normal para DVitaC





**Anexo B. Análisis estadístico de pulpa de guayaba co-cristalizada pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20, 30%, a 18<sup>0</sup>Brix.**

**Analizar Experimento - DVitaC**

Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\Desktop\RESULTMCA\G102030e.sfx

**Efectos estimados para DVitaC**

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	0,230226	0,00541324	
A:PH	0,0840354	0,00592991	1,0
B:[J]	0,0275341	0,00592991	1,0
AA	0,108252	0,0102709	1,0
AB	-0,00391509	0,00726263	1,0
BB	0,0541189	0,0102709	1,0
bloque	-0,329972	0,0174572	1,85714
bloque	-0,253111	0,0174572	1,85714
bloque	-0,176411	0,0174572	1,85714
bloque	-0,107827	0,0174572	1,85714
bloque	-0,0441505	0,0174572	1,85714
bloque	0,0114526	0,0174572	1,85714
bloque	0,0722805	0,0174572	1,85714
bloque	0,102494	0,0174572	1,85714
bloque	0,155864	0,0174572	1,85714
bloque	0,203823	0,0174572	1,85714
bloque	0,240768	0,0174572	1,85714
bloque	0,274399	0,0174572	1,85714
bloque	0,293376	0,0174572	1,85714

Errores estándar basados en el error total con 107 g.l.

**Análisis de Varianza para DVitaC**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:PH	0,148301	1	0,148301	200,83	0,0000
B:[J]	0,0159207	1	0,0159207	21,56	0,0000
AA	0,0820297	1	0,0820297	111,09	0,0000
AB	0,000214591	1	0,000214591	0,29	0,5910
BB	0,020502	1	0,020502	27,76	0,0000
Bloques	1,60855	13	0,123735	167,56	0,0000
Error total	0,0790132	107	0,000738441		
Total (corr.)	1,95453	125			

**Continuación Anexo B. Análisis estadístico de pulpa de guayaba co-cristalizada, pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20, 30%, a 18<sup>0</sup>Brix.**

R-cuadrada = 95,9574 porciento  
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 95,789 porciento  
 Error estándar del est. = 0,0271743  
 Error absoluto medio = 0,0198553  
 Estadístico Durbin-Watson = 2,4369 (P=0,9932)  
 Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,229426

**Coef. de regresión para DVitaC**

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
Constante	0,993216
A:PH	-0,387076
B:[J]	-0,00866406
AA	0,0541261
AB	-0,000195755
BB	0,000270595

**El StatAdvisor**

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$DVitaC = 0,993216 - 0,387076*PH - 0,00866406*[J] + 0,0541261*PH^2 - 0,000195755*PH*[J] + 0,000270595*[J]^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

**Continuación Anexo B. Análisis estadístico de pulpa de guayaba co-cristalizada, pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20, 30%, a 18<sup>0</sup>Brix.**

**Camino de Máximo Ascenso para DVitaC**

		<i>Predicción para</i>
<i>PH</i>	<i>[J]</i>	<i>DVitaC</i>
4,0	20,0	0,230226
5,0	22,1957	0,330267
6,0	23,5292	0,537613
7,0	24,5315	0,852548
8,0	25,3435	1,27521
9,0	26,0277	1,8057

**Optimizar Respuesta**

Meta: minimizar DVitaC

Valor óptimo = 0,22012

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
PH	3,0	5,0	3,60704
[J]	10,0	30,0	17,3176

**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual minimiza DVitaC sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

**Continuación Anexo B. Análisis estadístico de pulpa de guayaba co-cristalizada, pH 3, 4, 5, porcentaje de pulpa 10, 20, 30%, a 18<sup>o</sup>Brix.**

Gráfica de Residuos para DVitaC

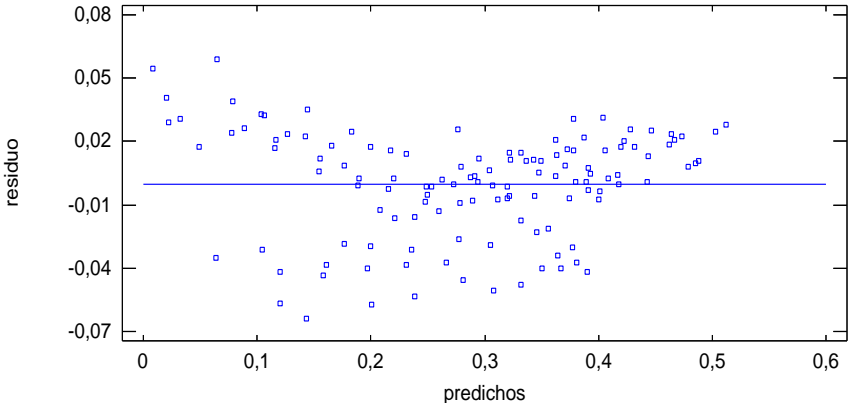
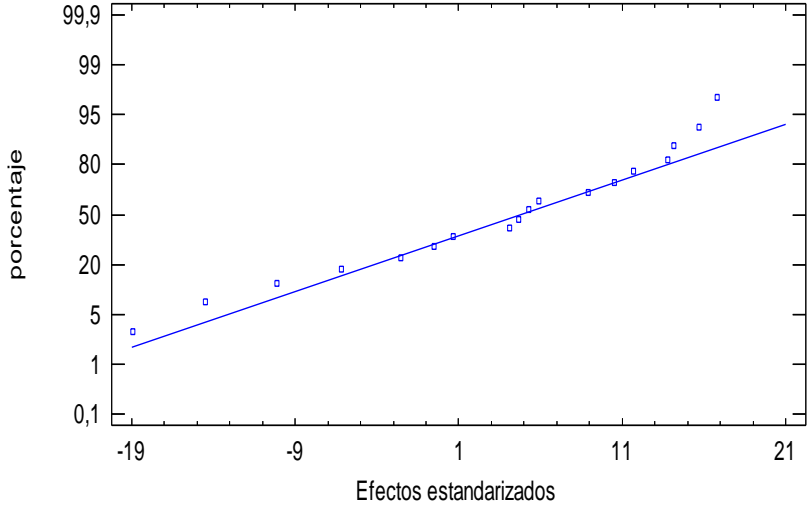


Gráfico de Probabilidad Normal para DVitaC



Anexo C. Tabla de significancia para pruebas de dos muestras

Número de juicios	Pruebas bilaterales* Nivel de probabilidad			Pruebas unilaterales** Nivel de probabilidad		
	5%	1%	0.1%	5%	1%	0.1%
5	-	-	-	5	-	-
6	-	-	-	6	-	-
7	7	-	-	7	7	-
8	8	8	-	7	8	-
9	8	9	-	8	9	-
10	9	10	-	9	10	10
11	10	11	11	9	10	11
12	10	11	12	10	11	12
13	11	12	13	10	12	13
14	12	13	14	11	12	13
15	12	13	14	12	13	14
16	13	14	15	12	14	15
17	13	15	16	13	14	16
18	14	15	17	13	15	16
19	15	16	17	14	15	17
20	15	17	18	15	16	18
21	16	17	19	15	17	18
22	17	18	19	16	17	19
23	17	19	20	16	18	20
24	18	19	21	17	19	20
25	18	20	21	18	19	21
26	19	20	22	18	20	22
27	20	21	23	19	20	22
28	20	22	23	19	21	23
29	21	22	24	20	22	24
30	21	23	25	20	22	24
31	22	24	25	21	23	25
32	23	24	26	22	24	26
33	23	25	27	22	24	26
34	24	25	27	23	25	27
35	24	26	28	23	25	27
36	25	27	29	24	26	28
37	25	27	29	24	27	29
38	26	28	30	25	27	29
39	27	28	31	26	28	30
40	27	29	31	26	28	31
41	28	30	32	27	29	31
42	28	30	32	27	29	32
43	29	31	33	28	30	32
44	29	31	34	28	31	33
45	30	32	34	29	31	34
46	31	33	35	30	32	34

Fuente: Anzaldúa 2005.

**Anexo D. Formato Prueba de Preferencia: Comparación Apareada.**

**COMPARACIÓN APAREADA**

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Por favor, pruebe las muestras ofrecidas de la izquierda para la derecha. Encierre en un círculo el código de la muestra de su preferencia. Enjuague la boca después de las evaluaciones y espere treinta segundos.

598    742

Comentarios:

\_\_\_\_\_

**GRACIAS.**

**Fuente: De Paula 2001.**

**Anexo E. Etapas del proceso de co-cristalización de la pulpa de guayaba.**

