



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE LA VITAMINA C EN
EL ZUMO DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum*)
ATOMIZADO EMPLEANDO AGENTES ENCAPSULANTES”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR:

Bach. CORONEL CARPIO LASTENIA

Bach. PÉREZ JUÁREZ JOSÉ BENJI

ASESORADO POR:

Dra. NOEMÍ LEÓN ROQUE

LAMBAYEQUE – PERÚ

2016



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE LA VITAMINA C EN
EL ZUMO DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum*)
ATOMIZADO EMPLEANDO AGENTES ENCAPSULANTES”**

**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

APROBADA POR:

Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán
Moreno

Presidente

M.Sc. Ronald Gutiérrez

Secretario

M.Sc. Luis Antonio Pozo Suclupe
Vocal

Dra. Noemí León Roque
Asesora

**LAMBAYEQUE – PERÚ
2016**

DEDICATORIA

A Dios y a nuestros padres, por habernos dado la vida y permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestros docentes por habernos transmitido los conocimientos necesarios para poder desarrollarnos profesionalmente, e inculcarnos el valor de la investigación

A nuestros amigos por todos los momentos que hemos pasado juntos y por haber estado siempre con nosotros.

SUMMARY

The objective of the present study was to evaluate the retention of vitamin C using encapsulating agents in the cranberry juice (*vaccinium corymbosum*), ripe blueberry fruit was used to extract the juice with the aid of a liqueur extractor being characterized with a pH of 3.325 , Total acidity of 0.8913% (based on citric acid), ° Bx of 13.10 and 6.264 mg of vitamin C / 100g. The dosage and type of encapsulant Gum arabic (GA) and Carrageenan (C) and the influence of these on the retention of vitamin C were considered as independent variables. The two encapsulants used were based on the following formulations: 100% C ; 100% GA; 50% C + 50% GA; 25% C + 75% GA; 75% C + 25% GA; All these percentages based on the content of soluble solids of cranberry juice. These formulations were applied in the atomization process in order to evaluate the retention power of Vitamin C, considering as optimal air temperature 165 ° C.

The results were treated using the Design Expert 7 statistical design, which gave a total of 8 treatments. These were performed by a physicochemical evaluation of the previously hydrated atomized sample.

After the statistical evaluation, it was established that of all these treatments, the best results were obtained with 25% C and 75% GA at an established drying temperature of 165 ° C, obtaining initial moisture of 80.20%, final humidity of 2.45% , °Bx of 11 and achieving a retention of 5.38 mg / 100g of Vitamin C.

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas especiales a las que nos gustaría agradecer su amor, amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de nuestra vida. Algunas están aquí con nosotros y otras en nuestros recuerdos y en el corazón.

Agradecemos en primer lugar a Dios por darnos la vida y habernos llenado de bendiciones en todo este tiempo de nuestra carrera universitaria.

A nuestra familia, por el esfuerzo que hicieron para darnos una profesión y habernos inculcado muchos valores y así poder ser personas de bien.

Agradecemos también a nuestra Asesora Ing. **NOEMÍ LEON ROQUE**, quien con sus conocimientos y apoyo supo guiarnos en el desarrollo de la presente tesis, desde el inicio hasta su culminación.

Agradecemos a nuestra Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo por habernos albergado estos 5 años de carrera universitaria y brindarnos su apoyo hasta nuestra realización.

Agradecemos a la Universidad Nacional Del Santa por habernos brindado sus laboratorios donde hemos podido concretar con la parte analítica de nuestro trabajo, así mismo a los docentes y compañeros que hemos conocido en esta universidad, quienes con amabilidad y sin envidia por pertenecer a otra universidad nos ayudaron en el desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA

SUMMARY

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN

INTRODUCCIÓN _____ 1

I. MARCO TEÓRICO _____ 3

1.1. Antecedentes de investigación _____ 3

1.2. Bases Teóricas – Científicas _____ 4

1.2.1. Arándano _____ 4

1.2.1.1. Aspectos Generales _____ 4

1.2.1.2. Descripción _____ 5

1.2.1.3. Composición química _____ 6

1.2.1.4. Propiedades nutricionales _____ 7

1.2.2. Vitamina C _____ 8

1.2.2.1. Aspectos generales _____ 8

1.2.2.2. Función en procesos metabólicos _____ 9

1.2.2.3. Fuentes de vitamina C _____ 9

1.2.2.4. Dosis recomendadas de vitamina C _____ 9

1.2.2.5. Mecanismo de degradación _____ 10

1.2.2.6. Estabilidad de la vitamina C _____ 10

1.2.3. Secado por atomización _____ 11

1.2.3.1. Ventajas y desventajas del proceso de secado por atomización _____ 13

1.2.3.2. Principales variables del proceso de secado por atomización _____ 15

1.2.3.3. Etapas del proceso de secado por atomización _____ 18

1.2.4. Encapsulación _____ 18

1.2.5. Microcápsula _____ 20

1.2.5.1. Procesos para preparar microcápsulas _____ 21

1.2.5.2. Microencapsulación por métodos químicos _____ 22

1.2.5.3. Microencapsulación por métodos físicos _____ 24

1.2.6. Los zumos y su microencapsulación _____ 26

1.2.7. Agentes encapsulantes _____ 27

II. MATERIALES Y MÉTODOS _____ 32

2.1. Población y Muestra _____ 32

2.1.1. Población: _____ 32

2.1.2. Muestra: _____ 32

2.2. Lugar de trabajo _____ 32

2.3. Materia prima e insumos _____ 32

2.4. Materiales y reactivos _____ 32

2.4.2. Materiales complementarios _____ 33

2.4.3. Equipos e instrumentos _____ 33

2.5.	Métodos	33
2.5.1.	Análisis de la materia prima	33
2.6.	Metodología Experimental de la investigación	35
2.6.1.	Proceso para el acondicionamiento del zumo de arándano previo al atomizado:	
	36	
2.6.2.	Evaluación fisicoquímica de los tratamientos	39
2.7.	Plan de análisis estadístico de datos	39
III.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	41
3.1.	Caracterización fisicoquímica y proximal de la materia prima	41
3.2.	Acondicionamiento del zumo de arándano para la atomización	43
3.3.	Secado por atomización	45
3.4.	Caracterización del zumo de arándano atomizado	45
3.5.	Resultados de la evaluación de los tratamientos	46
3.5.1.	Determinación de Humedad inicial (Hi)	47
3.5.2.	Determinación de Humedad final (Hf)	49
3.5.3.	Determinación de vitamina C.	50
IV.	CONCLUSIONES	52
V.	RECOMENDACIONES	53
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Composición química del fruto de arándano (g/100g).....	07
TABLA 2: Influencia de las variables del secado por atomización.....	17
TABLA 3: Tipos de cubiertas de encapsulantes.....	29
TABLA 4: Análisis fisicoquímicos.....	34
TABLA 5: Matriz para la evaluación estadística en la etapa de atomización del zumo de arándano.....	40
TABLA 6: Análisis fisicoquímicos del zumo de arándano.....	41
TABLA 7: Proporciones de encapsulantes: carragenina y goma arábica.....	44
TABLA 8: Parámetros del atomizado de zumo de arándano encapsulad.....	45
TABLA 9: Análisis físico - químico del zumo de arándano atomizado– Carragenina.....	46
TABLA 10: Análisis físico químico del zumo de arándano atomizado – Goma Arábica.....	46
TABLA 11: Retención de vitamina C.....	47
TABLA 12: Resultado de promedio de Humedad inicial de los tratamientos.....	48
TABLA 13: Análisis de Varianza para la Humedad inicial.....	48
TABLA 14: Resultado de promedio de Humedad final de los tratamientos.....	49
TABLA 15: Análisis de Varianza para la Humedad final.....	49
TABLA 16: Resultado de promedio de contenido de vitamina C.....	50
TABLA 17: Análisis de Varianza para contenido de vitamina C.....	50
TABLA 18: Prueba de Tuckey para el contenido de vitamina C.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Equipo de secado por atomización.....	13
FIGURA 2: Protección de cápsulas para componentes bioactivo de los alimento.....	20
FIGURA 3: Tipos de microcápsulas.....	21
FIGURA 4: Formación de microcápsulas por coacervación compleja.....	22
FIGURA 5: Cámara de Wüster.....	24
FIGURA 6: Diagrama del diseño experimenta.....	36
FIGURA 7: Diagrama de bloques de la obtención del zumo de arándano y su homogenización.....	37
FIGURA 8: Diagrama de bloques de la obtención experimental del zumo de arándano atomizado.....	39

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la retención de la vitamina C empleando agentes encapsulantes en el zumo de arándano (*vaccinium corymbosum*) atomizado, se utilizó fruta madura de arándano azul para extraer el zumo con ayuda de un licuoextractor siendo caracterizado con un pH de 3.325, acidez total de 0.8913% (en base al ácido cítrico), °Bx de 13.10 y 6,264 mg de vitamina C/100g. Se tuvieron como variables independientes las dosis y tipo de encapsulante Goma Arábiga (GA) y Carragenina (C) y la influencia de estos en la retención de la vitamina C. Los dos encapsulantes empleados fueron usados en base a las siguientes formulaciones: 100% C; 100% GA; 50% C + 50% GA; 25% C + 75% GA; 75% C + 25% GA; todos estos porcentajes en base al contenido de sólidos solubles del zumo de arándano. Estas formulaciones fueron aplicadas en el proceso de atomización con el fin de poder evaluar el poder de retención de la Vitamina C, considerando como temperatura de aire óptima 165° C.

Los resultados se trataron mediante el diseño estadístico Design Expert 7, los cuales dieron un total de 8 tratamientos. Éstos se realizaron mediante una evaluación fisicoquímica de la muestra atomizada previamente hidratada.

Luego de la evaluación estadística se llega a establecer que de todos estos tratamientos aplicados se obtuvo mejores resultados con 25% C y 75% GA a una temperatura de secado establecida de 165°C, obteniendo humedad inicial de 80.20%, humedad final de 2.45%, °Bx de 11 y logrando una retención de 5.38 mg/100g de Vitamina C.

INTRODUCCIÓN

El consumo de frutas se ha convertido en una gran demanda por los nutrientes y vitaminas que estas contienen, es por ello que las tendencias en la alimentación han dado un giro hacia el consumo de productos naturales y autóctonos buscando; productos saludables, nutritivos y de fácil preparación; productos con un mínimo tratamiento y con menor agregado de ingredientes sintéticos, de tal modo que estos contribuyan a preservar una mejor salud.

El trabajo de tesis se centra en la retención de la Vitamina C con diferentes concentraciones de encapsulantes en el zumo de arándano atomizado, con fines nutritivos y dar un valor agregado al fruto.

Los diversos estudios realizados, referente a la evaluación de la retención de vitamina C en frutos cítricos, pone en evidencia los diferentes métodos establecidos y probados; como lo muestran Marchema y Rodríguez (2011) en su trabajo de investigación *“Estudio comparativo de la deshidratación del camu camu mediante atomización y liofilización utilizando agentes encapsulantes en la retención de la vitamina C”*, exponiendo que se tiene mejores resultados con el 50%G (Goma arábica), ya sea para los procesos de liofilización o atomización, logrando una retención de 95.683% y 92.35%, respectivamente.

Al respecto Gómez y González (2009), determinan el proceso más conveniente para el secado de frutas cítricas (mandarina, variedad Arrayana) realizando un *“Estudio comparativo de los procesos de liofilización y secado por atomización para cítricos”*, concluyendo que los resultados son mejores para la atomización, sobre todo en la que la durabilidad del producto se refiere, lo cual se reafirma por las características generales y tecnológicas, que demuestran que la liofilización es un proceso más estricto y costoso.

Para tal efecto, la presente investigación busca ¿Cómo retener la Vitamina C en distintas concentraciones de encapsulantes en el zumo de arándano atomizado?, teniendo como hipótesis el uso de carragenina y goma arábica en diferentes proporciones de 0 a 100% de ambos agentes encapsulantes,

actuando para que haya una retención mayor al 90% de vitamina C en el zumo de arándano atomizado. Siendo el objetivo general:

- Evaluar la retención de vitamina C empleando agentes encapsulantes en el zumo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) atomizado.

Y como objetivos específicos:

- Caracterización físico química (Análisis de acidez titulable, humedad, medida de pH, grados BRIX, concentración de vitamina C), del zumo de arándano.
- Determinar tipo y concentración de encapsulante como ayudante en el secado de zumo de arándano.
- Caracterización físico química (Análisis de humedad, materia seca, grados BRIX, concentración de vitamina C retenida), del arándano atomizado.

La presente investigación se centra en establecer la combinación de los encapsulantes adecuados que garantice la mejor retención de la vitamina C, teniendo como referencia la temperatura óptima de atomización, ello debido a las investigaciones hechas sobre las propiedades curativas que este fruto contiene para ciertas enfermedades. Así mismo, este tipo de secado por atomización evidencia oportunidades para la retención de los compuestos nutricionales en mayor proporción, y poder lograr el consumo masivo de este producto por la población.

I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de investigación

Castagnini et al., (2015), en su trabajo de investigación “Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix” estudian la adición de zumo de arándanos en discos de manzana por impregnación al vacío y una mayor estabilización de la manzana impregnada por el aire de secado y liofilización con el fin de producir una menor humedad en las frutas obteniendo como resultado que de los diferentes análisis mostraron el mejor producto final se obtuvo por liofilización o estabilización de secado al aire a 40°C.

Candia y Muñoz et al., (2015). En su trabajo “Ultrasonic spray drying vs high vacuum and microwaves technology for blueberries” estudian dos tipos de tecnologías para conservar las propiedades organolépticas del fruto de arándano en la que un secador por pulverización asistida por ultrasonido fue desarrollado y probado, comparando sus resultados con la tecnología de secado por microondas al vacío. Los resultados muestran el sabor, color, olor, forma de la partícula y distribución de tamaño mejor que la convencional. La conservación antioxidantes son bastante bueno, excepto en las antocianinas, en el que la tecnología de microondas y vacío representaron mejores resultados.

Madai & Pino (2012). En su trabajo de investigación “*Microencapsulación de saborizantes mediante secado por atomización*” evaluó las tecnologías más empleadas y hacer énfasis en la microencapsulación mediante secado por atomización por ser el principal proceso empleado en la producción de saborizantes microencapsulados, obteniendo un producto de alta calidad a un costo relativamente bajo.

Marchema y Rodríguez (2011). En su trabajo de investigación *“Estudio comparativo de la deshidratación del camu camu mediante atomización y liofilización utilizando agentes encapsulantes en la retención de la vitamina C”*, evalúan la retención de vitamina C mediante 2 tipos de proceso de secado que son la liofilización y atomización, los cuales se aplican al zumo de camu camu, utilizando agentes encapsulantes: maltodextrina de 10 (M) y goma arábica (G). Obteniendo mejores resultados con el de 50%G, para ambos procesos. Con una retención en la atomización de 95.683%. En la liofilización de 92.35%. Por lo tanto, en donde se presenta una mayor retención de vitamina C es en la atomización.

Gómez y González (2009). En su trabajo de investigación *“Estudio comparativo de los procesos de liofilización y secado por atomización para cítricos”* determinaron el proceso más conveniente para el secado de frutas cítricas (mandarina, variedad Arrayana), con mayor énfasis en el proceso de deshidratación por atomización; el proceso es el secado por liofilización. Concluyendo que los resultados son mejores para la atomización, sobre todo en la que la durabilidad del producto se refiere, lo cual se reafirma por las características generales y tecnológicas, que demuestran que la liofilización es un proceso más estricto y más costoso.

1.2. Bases Teóricas – Científicas

1.2.1. Arándano

1.2.1.1. Aspectos Generales

El arándano (*Vaccinium spp.*) es una especie que pertenece al gran grupo de los frutos rojos, la producción de arándanos en todo el mundo ha aumentado en los últimos cinco años (Brazelton, 2011).

El arándano (*Vaccinium corymbosum*) es en la actualidad uno de los frutos más valiosos en todo el mundo debido a sus propiedades organolépticas y nutricionales. Sin embargo, desde el momento en que los arándanos se cosechan son muy susceptibles a los cambios estructurales, nutricionales y bioquímicos.

Los principales países productores de arándanos en el mundo son EE.UU, Canadá, Chile, Argentina, Polonia y Alemania. Otros países con desarrollo emergente, España, Australia, China, Japón, Holanda, Nueva Zelanda, Italia, Francia, México, Perú, Uruguay y Sudáfrica. (Agrimundo, 2013)

1.2.1.2. Descripción

El arándano es una especie del género *Vaccinium* perteneciente a la familia Ericaceae. Los arándanos se venden frescos o procesados como congeladas rápidamente por separado (IQF) de fruta, jugo o secos o bayas, que a su vez pueden ser usados en una variedad de productos de consumo tales como jaleas, mermeladas, tartas, magdalenas, los alimentos y cereales bocado infundidas (Wu et al., 2010).

El arándano se considera dentro del grupo de berries, son frutos de sabores acidulados presenta poco tiempo de conservación una vez cosechados. A este subgrupo pertenecen la frutilla (strawberry), la frambuesa (raspberry), los arándanos (blueberry), la grosella (boisonberry) y la mora o zarzamora (blackberry). Entre los cherries, se cuentan la guinda y la cereza (Ministerio de Producción, trabajo y turismo de la provincia de corrientes, 2008).

Es por ello que el arándano se considera una baya o “Berry”, siendo un fruto carnoso simple, cuya pared del ovario madura en un pericarpio

comestible. La baya del arándano es casi esférica, que dependiendo de la especie y su cultivo puede variar entre 0,7-1,8 cm de diámetro y su color puede estar entre un color azul metálico claro a bien oscuro. La piel del fruto del arándano es tersa y su pulpa es jugosa y aromática de sabor agridulce.

El valor nutricional del arándano es, según la estandarización de la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos, rico en fibras y vitaminas C y A, tienen alto valor antioxidante, propiedades antibióticas, urinarias, disminuyen la arteriosclerosis, enfermedades coronarias y cerebro vasculares (Feldman, 2008).

1.2.1.3. Composición química

El contenido de azúcares totales oscila en un rango de 10-14%, de los cuales cerca del 95% corresponde a azúcares reductores. El principal ácido orgánico es el ácido cítrico seguido del ácido málico. El balance entre azúcares y ácidos es muy importante en la calidad del sabor de estas frutas (Dinamarca et al., 1986 citado por Vilchez, 2005).

La pectina está en promedio en un rango entre 0,40 % p/p y 1,13 % p/p medido como pectato de calcio.

Tabla 1*Composición química del fruto de arándano (g/100g)*

Componentes	Cantidad
Agua	83,2
Carbohidratos	15,3
Fibras	1,5
Proteínas	0,7
Grasas	0,5
Pectinas	0,5
Azúcares totales	10 – 14
Sacarosa	0,24
Fructosa	4,04
Glucosa	3,92
Contenido de sólidos solubles	10,1 – 14,2
Acidez titulable	0,3 – 0,38
Vitamina A (U.I.)	100
Ácido Ascórbico (mg/100g)	14

Fuente: Dinamarca et al., 1986 citado por Vélchez, 2005

1.2.1.4. Propiedades nutricionales

Los diversos estudios realizados sobre propiedades beneficiosas para la salud que presentan los arándanos, tenemos para el tratamiento de infecciones urinarias, ya que algunos componentes de la fruta inhiben el crecimiento de bacterias como *Escherichia coli*, principal causante de cistitis, entre otras (Ofek et al., 1991; Frontela et al., 2010 citado en Munitz, 2013).

Las antocianinas y otros compuestos fenólicos son componentes característicos de este tipo de frutas (Del Río et al., 2010 citado en Munitz, 2013)

Las antocianinas han sido mencionadas también como agentes antiinflamatorios, anticancerígenos y antimutagénicos, y protectores cardiovasculares (Bagchi et al., 2004; Olsson et al., 2004 citado en Munitz, 2013).

1.2.2. Vitamina C

1.2.2.1. Aspectos generales

La vitamina C (ácido ascórbico), también conocido como ácido cevilámico o antiescorbútico, se oxida rápidamente, especialmente en la presencia de iones metálicos como el cobre, hierro, álcalis y enzimas oxidativas; la exposición a la luz y el calor causa su degradación (Drug Information for the Health Care Professional, 1997).

El ácido ascórbico es una lactona de un azúcar- ácido derivado del ácido gulónico que se sintetiza a partir de la glucosa 1,2. Desde el punto de vista bioquímico, la vitamina C o ácido L-ascórbico es un polvo cristalino, blanco e inodoro, muy soluble en agua y relativamente insoluble en disolventes orgánicos (Lehninger A. 1995).

La vitamina C o ácido ascórbico es una vitamina hidrosoluble derivada del metabolismo de la glucosa. Actúa como agente reductor y es necesaria para la síntesis de las fibras de colágeno a través del proceso de hidroxilación de la prolina y de la lisina. También protege al organismo del daño causado por los radicales libres (Flores et al. 1999).

1.2.2.2. Función en procesos metabólicos

La vitamina C es un donador de electrones (agente reductor o antioxidante), y probablemente todas sus funciones bioquímicas y moleculares pueden deberse a esta función.

Esta vitamina también desempeña un papel importante en la síntesis de los neurotransmisores, la norepinefrina. Los neurotransmisores son fundamentales para la función cerebral y se sabe que afectan el estado de ánimo.

La vitamina C aumenta la resistencia a la infección mediante una serie de efectos cuyos mecanismos no están del todo dilucidados: aumento de la actividad inmunológica de los linfocitos, aumento la producción de interferón y aumento de la integridad de las membranas mucosas (Lehninger, 1999).

1.2.2.3. Fuentes de vitamina C

Como ha señalado K.A. Naidu (2003). “La vitamina C se encuentra en los cítricos, brócoli, coliflor, espinacas, patatas, kiwis, fresas y tomates. Podemos encontrar las siguientes cantidades de vitamina C por cada 100 g de los siguientes alimentos: naranjas 50 mg, kiwis 500 mg, limones 80 mg y pimientos rojos 200 mg” (p.7).

1.2.2.4. Dosis recomendadas de vitamina C

La dosis diaria recomendada de vitamina C para los hombres adultos es de 90 mg/día y para las mujeres adultas es de 75 mg/día. Sin embargo, una aportación de menos de 10 mg al día puede provocar escorbuto y dosis superiores a 500 mg al día produce ácido oxálico, provocando mayor riesgo de padecer cálculos renales de oxalato.

1.2.2.5. Mecanismo de degradación

La vitamina C es muy sensible a diversas formas de degradación, se da en muchos productos de frutas como resultado de procesamiento o almacenamiento, y es considerada como una de las principales causas de los cambios de calidad y color durante el procesamiento y almacenamiento de productos alimenticios (Yuan & Chen, 1998).

La degradación de esta vitamina depende de varios factores, entre los numerosos factores que pueden influir en los mecanismos degradativos se pueden citar la temperatura, la concentración de sal y azúcar, el pH, el oxígeno, las enzimas, los catalizadores metálicos, contenido de humedad, etc. (Santos & Silva, 2008 citado en Gamboa & Santos, 2014).

Se han realizado estudios para determinar la cinética de pérdidas de las vitaminas, estableciéndose que siguen una ecuación de primer orden, cuya constante de degradación, está regida por el método de Arrhenius (Alvarado, 2009).

Para estudiar la pérdida de vitamina C, como una reacción de primer orden, hay que tener en claro que el ácido L-ascórbico tiene una oxidación reversible a ácido dehidroascórbico, y que este último es muy inestable a la acción del calor (Badui, 2006).

1.2.2.6. Estabilidad de la vitamina C

La vitamina más sensible o lábil es el Ácido Ascórbico o Vitamina C, que se pierde fácilmente por oxidación e interacción con otros metales; mencionan también que la vitamina C es sensible al calor, a la deshidratación, y al almacenamiento; la acidez, en cambio reduce la pérdida.

Para estudiar la pérdida de la vitamina C, hay que tener en claro que el ácido L-ascórbico tiene una oxidación reversible a ácido dehidroascórbico, y que este último es muy inestable a la acción del calor. Los factores que aceleran esta reacción de oxidación son: el oxígeno del aire, la presencia de luz, los álcalis, la presencia de metales como el Cobre.

Otra forma de destrucción del ácido ascórbico es a través de las reacciones de oxidación efectuadas por la enzima ácido ascórbico oxidasa que puede estar presente y no recibe la correcta inactivación al inicio del proceso; la fruta en mal estado puede originar el ingreso de oxígeno dentro de la fruta, para el aceleramiento de la degradación de la vitamina C (Castillo 2002).

1.2.3. Secado por atomización

Este tipo de secado se utiliza para alimentos disueltos en agua, e incluye la formación de gotas que por secado posterior darán lugar a las partículas de alimento seco. Inicialmente el alimento fluido es transformado en gotas, que se secan por atomización en un medio continuo de aire caliente, el modo más común utilizado en este tipo de secado es un ciclo abierto.

Un equipo de secado por atomización se compone, esencialmente, de un sistema de alimentación del líquido, un dispositivo de atomización, que por lo general consiste en una boquilla de atomización, una cámara de secado y un sistema colector del producto seco como se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Equipo de secado por atomización

El aire de secado es calentado utilizando un medio seco, además, es limpiado con ciclones antes de ser lanzado a la atmósfera. En este tipo de operación el aire que abandona el sistema todavía puede contener calor.

Este tipo de secado incluye la atomización del alimento en un medio de secado en el que se elimina la humedad por evaporación. El secado se realiza hasta que se llega al nivel de humedad fijado para el producto. Este secado se controla por las condiciones de flujo y temperatura, tanto del producto como del aire de entrada. El secado por atomización se utilizó por primera vez en el secado de leche hacia 1900 y más tarde se aplicó en huevos y café.

Entre los problemas tecnológicos que se presentan para el secado de jugos de frutas por atomización, están la alta higroscopicidad y naturaleza termoplástica de los polvos, lo cual da lugar a problemas

como adhesión a las paredes del secador, difícil manejo, apelmazamiento debido a que contienen azúcares que los hace extremadamente difíciles para secarlos puros en una operación continua.

Las proporciones variadas de sacarosa, fructuosa y glucosa están generalmente presentes en estado amorfo; tales azúcares son muy higroscópicos e influyen en las características finales del producto, conducen a diferentes niveles desorción de agua y a cambios en el estado de transición de fase.

La característica más importante del secado por atomización es la formación de gotas y el contacto de éstas con el aire. La atomización del alimento se produce por la rotura de la corriente del alimento en pequeñas gotas (Barboza & Vega, 1996 citado en Ibarz y Barboza, 2011).

Una de las tecnologías industriales más utilizados para la encapsulación es secado por atomización. Se aplica para moléculas bioactivos de los alimentos y probióticos vivos. Es un procedimiento rápido y barato que, cuando se lleva a cabo adecuadamente, es altamente reproducible (Paul de Vos, 2010).

1.2.3.1. Ventajas y desventajas del proceso de secado por atomización

El proceso de secado por atomización presenta tanto ventajas como ciertas desventajas (Mujumdar, 1995 citado en Caez, 2012).

Las principales ventajas del secado por atomización son:

- Control de los parámetros de calidad del producto así como especificaciones concretas.
- Los alimentos sensibles al calor, los productos biológicos, y los productos farmacéuticos se pueden secar a presión atmosférica y a bajas temperaturas.
- El secado por atomización permite la producción de grandes cantidades en la operación continua y con un equipo relativamente simple.
- El producto entra en contacto con las superficies del equipo en condiciones anhidras, simplificando así los problemas de corrosión y de selección de materiales costosos en la construcción del equipo.
- Produce partículas relativamente uniformes, esféricas y con casi la misma proporción de compuestos que en la alimentación líquida.
- Puesto que las temperaturas de funcionamiento del gas pueden extenderse a 150° C a 600° C la eficacia es comparable a la de otros tipos de secadores directos.

Las desventajas del secado por atomización son:

- Falla si requiere un producto a granel de alta densidad.
- En general no es flexible. Una unidad diseñada para la atomización fina puede no poder producir un producto grueso, y viceversa.
- Para la capacidad dada, se necesita generalmente una evaporación mayor que con otros tipos de secadores.
- Hay una alta inversión inicial comparada a otros tipos de secadores continuos.
- La recuperación del producto y la eliminación del polvo aumenta el coste del secado.

1.2.3.2. Principales variables del proceso de secado por atomización

- Caudal del líquido de entrada: El caudal de entrada del líquido a atomizar al equipo de atomización se regula por medio de una bomba peristáltica, en el caso de una boquilla de dos fluidos. El equipo utilizado en la experimentación utiliza como escala de medida el porcentaje de funcionamiento máximo de la bomba. Este caudal afecta a la atomización.
- Caudal de aire de atomización: Este aire es suministrado por un compresor y el caudal se regula atendiendo a la lectura de un rotámetro que nos indicará el caudal de aire utilizado para el atomizado. Este caudal de aire lo utiliza una boquilla de dos flujos y afecta a la atomización.
- Temperatura y humedad del aire de entrada al cilindro de atomización: Esta temperatura se puede controlar mediante la resistencia eléctrica del equipo.
- Caudal de aire de secado: El caudal de aire de secado indica el aire que entra en el cilindro de pulverización para realizar el secado. El caudal real depende de la pérdida de presión del conjunto del sistema.

Todas las condiciones anteriores van a influir sin lugar a dudas en las características del producto en polvo obtenido:

- Humedad final del polvo
- Rendimiento de producción
- Temperatura de salida
- Tamaño de partícula

Masters (2002 citado en Caez, 2012) menciona que la optimización de estos parámetros se hace generalmente por un proceso de “ensayo y error”, si bien es posible predecir la influencia de cada una de estas variables de manera individual. La influencia de cada una de estas variables en el secado por atomización se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2*Influencia de las variables del secado por atomización*

Parámetro/ Dependencia	Caudal de aire de atomización	Caudal de líquido de entrada	Concentración de solutos a atomizar	Caudal del aire de secado	Humedad del aire de entrada	Temperatura de entrada
Humedad final del producto	No afecta	Mayor humedad pues más agua conduce a una P. parcial más alta	Menor humedad pues habrá menos agua para evaporar, menor P. parcial	Mayor humedad pues baja la P. parcial del agua evaporada	Mayor humedad del producto pues hay una P. parcial más alta del aire de secado	Menor humedad por menor humedad relativa del aire de entrada
Rendimiento de producción	No afecta	Depende de la aplicación	Mayor pues partículas más grandes conducen a una mejor separación	Mayor rendimiento en la separación del ciclón	Menor η pues más humedad puede conducir al pegado del producto	Mayor η pues se evita la eventual pegajosidad
Temperatura de salida	Más cantidad de aire fresco que tiene que calentarse	Menor T° pues se evapora más cantidad de agua	Mayor T° pues es menor la cantidad de agua evaporada	Mayor T° pues hay menos pérdidas de calor basadas en la entrada total de energía	Mayor T° pues hay más energía almacenada en humedad	Mayor T° de salida pues hay una proporción directa
Tamaño de partícula	Disminuye el tamaño pues aumenta la energía para la dispersión del fluido	Mayores partículas pues hay mayor cantidad de fluido a dispersar	Mayor tamaño de las partículas secadas pues hay más producto	No afecta	No afecta	No afecta

Fuente: Hellman, 2000 citado por Caez, K; Jaraba, N. 2012

1.2.3.3. Etapas del proceso de secado por atomización

Son tres las etapas del proceso de secado por atomización: atomización, mezcla de aerosol-aire y evaporación de la humedad del producto, separación del producto seco del aire de salida, así como los equipos utilizados en cada una de ellas:

1.2.4. Encapsulación

Una definición general de encapsulación dada por Desai & Park (2005) se refirió al empaquetado de materiales sólidos, líquidos o gaseosos mediante cápsulas que liberan su contenido de forma controlada bajo condiciones determinadas. Estas especificaciones han llevado a describir la microencapsulación como, la técnica de obtención de una barrera que retarda las reacciones químicas con el medio que lo rodea promoviendo un aumento en la vida útil del producto, la liberación gradual del compuesto encapsulado e incluso facilitando su manipulación al convertir un material líquido o gaseoso a una forma sólida llamada microcápsula (Fang & Bhandari, 2010).

Para efectuar la microencapsulación, el material de recubrimiento se disuelve en un disolvente apropiado y en esta disolución se dispersa la sustancia, sólida o líquida, que va a servir como material activo. La dispersión, en estado líquido, preparada en estas condiciones, se suele introducir en la cámara de secado con aire en contracorriente. El aire caliente proporciona el calor de evaporación requerido para la separación del disolvente, produciéndose en esta forma la microencapsulación.

Las partículas sólidas se microencapsulan sometiendo a secado por atomización una suspensión de ellas en una disolución del agente de

recubrimiento. Cuando el disolvente se evapora, el material de recubrimiento envuelve las partículas.

El producto que se obtiene por este procedimiento está constituido por microcápsulas de forma aproximadamente esférica y de un tamaño que varía entre 5 y 600 micras y que, casi siempre, presenta una cubierta porosa. Por esta razón, cuando se procesan materiales por este método es necesario emplear una baja proporción del ingrediente que va a constituir el material ya que, para asegurar una adecuada protección.

En el caso de la microencapsulación de aceites volátiles, se recomienda que el material no represente más del 20% del total de la microcápsula (Hellman, 2000 citado en Caez, 2012).

Un requisito importante es que el sistema de encapsulación tiene que proteger el componente bioactivo de la degradación química (por ejemplo, oxidación o hidrólisis) para mantener el componente bioactivo completamente funcional, esto es uno de los retos.

Un obstáculo importante en el suministro de los componentes bioactivos de los alimentos no es sólo los elementos peligrosos que se producen durante el paso a través del tracto gastrointestinal, sino también las circunstancias perjudiciales durante el almacenamiento en el producto que sirve como vehículo para los componentes bioactivos.

Muchos componentes de los alimentos pueden interferir con la bioactividad del componente alimentario bioactivo añadido. Por lo tanto, el procedimiento de encapsulación protege el componente bioactivo durante todo el período de procesamiento, el almacenamiento y el transporte (Gibbs et al., 1999).

Al elegir un sistema de encapsulación con una alta eficiencia de paquete, siempre es esencial elegir un sistema que se puede incorporar fácilmente en la comida sin interferir con la textura y el sabor de la comida. Y, por último, podría ser necesario diseñar el sistema de encapsulación como el componente bioactivo es liberado en un sitio específico del tracto gastrointestinal.

1.2.5. Microcápsula

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 μm . 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 (Anal & Singh, 2007; Saez et al., 2007).

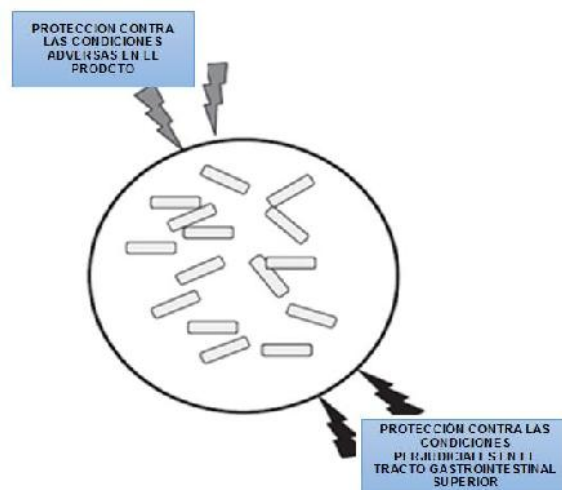


Figura 2: Protección de las cápsulas para los componentes bioactivo de los alimentos tomado de Paul de Vos, 2010

Las microcápsulas se han diferenciado de las microesferas principalmente por la distribución del principio activo. En el primer

caso, el núcleo puede ser de naturaleza líquida o sólida incluido en una especie de reservorio recubierto por una película del material. Mientras que, en las microesferas, el principio activo se encuentra altamente disperso en forma de partículas o moléculas en una matriz. La obtención de un tipo de estructura u otra depende de las propiedades físico-químicas del principio activo y de la matriz, así como de la técnica empleada para su preparación (Lopretti et al., 2007).

Asimismo, pueden estar constituidas por una membrana simple, múltiples capas e incluso núcleos múltiples cuya matriz puede ser del mismo material o una combinación de varios tal como se muestra en la Figura 3 (Gibbs et al., 1999).



Figura 3: Tipos de microcápsulas tomado de Gibbs et al., 1999

1.2.5.1. Procesos para preparar microcápsulas

La microencapsulación, es un proceso basado exclusivamente en fenómenos físicos, otros usan reacciones químicas de polimerización para producir la pared de la cápsula, y otros combinan los métodos físicos y químicos. Como existen muchos tipos de microencapsulación se van a clasificar de acuerdo con la bibliografía consultada en dos grupos:

Procesos de microencapsulación de Tipo A, basados en procesos químicos: Entre los procesos de microencapsulación de tipo A se encuentra: coacervación compleja, polímero-polímero incompatible, y proceso de inyección sumergido.

Procesos de microencapsulación de Tipo B, basado en procesos físicos. Secado por atomización (spray drying), enfriamiento tras atomización (spray chilling), recubrimiento en lecho fluidizado, disco giratorio con orificios múltiples (Vilstrup, 2004).

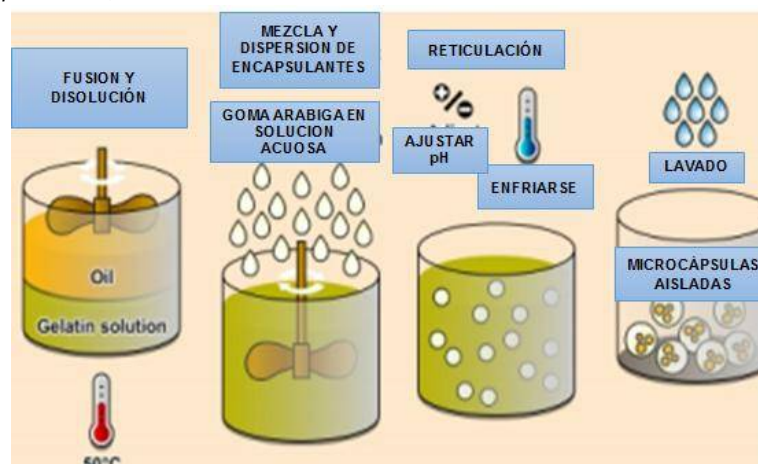
1.2.5.2. Microencapsulación por métodos químicos

✓ Coacervación compleja

La coacervación compleja es el proceso de separación de fases que tiene lugar de forma espontánea cuando en un medio acuoso se mezclan dos o más coloides que presentan carga opuesta (policación y polianión), como consecuencia de la atracción electrostática que sufren. En los procedimientos de microencapsulación por coacervación compleja se utilizan generalmente combinaciones de una proteína y un polisacárido, en concreto gelatina y goma arábiga (goma acacia) respectivamente. (Hellman, 2000 citado en Caiez, 2012).

En el proceso de microencapsulación por coacervación el aspecto más importante que hay que tener en cuenta es el control del pH, ya que determina la ionización de ambos coloides, así como la proporción relativa en que se mezclan éstos y la concentración polimérica total.

Figura 4: Formación de microcápsulas por coacervación compleja tomado de Hellman, 2000 citado por Lozano, 2009



Polímero – polímero incompatible

Se basa en inducir la separación de fases añadiendo un polímero “incompatible” con el polímero formador de cubierta. Es incompatible el polímero que presenta una mayor solubilidad en el disolvente que el propio polímero de recubrimiento, no teniendo, en cambio, afinidad por el material que se va a encapsular. Por lo tanto, a medida que se añade el polímero incompatible, se produce la desolvatación del recubrimiento, que se separa y deposita alrededor de las partículas suspendidas en el medio. (Hellman, 2000 citado en Caez, 2012).

✓ Procesos de inyección sumergida

Varios procesos de microencapsulación por métodos químicos utilizan la fuerza centrífuga o boquillas de dos-fluidos sumergidas para formar las microcápsulas.

En un proceso, una copa perforada con una serie de los agujeros conteniendo la fase acuosa, se sumerge en un baño del aceite. La fase del agua de esta emulsión es una disolución concentrada de un polímero soluble en agua. La gelatina es un ejemplo específico. Se rota la copa, que está sumergida en el aceite, de tal modo que en la fase del aceite se forma una corriente de gotitas de una emulsión aceite/agua. Controlando la temperatura del baño del aceite, la fase externa de las gotitas de la emulsión se seca y gelifican para crear cápsulas de aceite-cargados del gel que pueden ser aisladas y ser secados. Cuando están aisladas las cápsulas consisten en un número de gotitas pequeñas del material activo dispersadas a través de una matriz del material de la pared. (Lozano, 2009).

Este proceso fue desarrollado en 1942 para producir las cápsulas que mejoraron la estabilidad de oxidación de vitaminas y de aceites de los pescados (Vilstrup, 2004).

1.2.5.3. Microencapsulación por métodos físicos

✓ Recubrimiento en lecho fluido

Una metodología de secado por pulverización modificado que amplía el campo de aplicación es la metodología de recubrimiento en lecho fluido (**Figura 5**). En esta tecnología los componentes bioactivos de los alimentos se suspenden en el aire y las moléculas de la matriz se pulverizan sobre los componentes bioactivos. Esto forma una cápsula.

La elección de moléculas de la matriz es más amplio que el de secado por atomización tradicional. Pueden ser grasas, proteínas, hidratos de carbono, sino también emulsionantes. Incluso puede ser aplicado para dar productos secos por pulverización o un núcleo sensible de por ejemplo aceites como un segundo revestimiento. También es útil para aplicar una capa adicional de moléculas para liberación dirigida en el intestino. En principio, el núcleo es siempre sólido.

Figura 5: Cámara de Würster tomado de Hellman, 2000 citado por Caez, K; Jaraba, N. 2012.



Este procedimiento lo desarrolló inicialmente Würster. El aparato en el que se lleva a cabo, se denomina cámara de Würster y consiste en una columna vertical, estrecha en la parte inferior y más ancha en la superior.

La microencapsulación se realiza introduciendo una corriente de aire desde el fondo; la velocidad del aire en la parte más estrecha de la columna es considerable, de tal manera, que las partículas que van

entrando en esta zona, son de inmediato levantadas hacia la parte superior.

En la parte más ancha de la columna, la velocidad del aire disminuye notablemente haciendo que el aire no sea capaz de sostener las partículas en suspensión, provocando la caída de estas hacia la zona central o región de trabajo. La velocidad de la corriente de aire en la zona de trabajo puede ser regulada mediante toberas colocadas a una cierta altura.

✓ **Disco giratorio con orificios múltiples**

Este procedimiento aprovecha la fuerza centrífuga para proyectar el material activo contra la película del material que formará la cubierta de la microcápsula. Al chocar las partículas del material activo contra la película, esta las envuelve produciendo la microencapsulación.

Este procedimiento de microencapsulación se lleva a cabo en un aparato que consiste, esencialmente, en un disco giratorio que tiene dispuestos orificios en su parte externa.

El material activo se introduce en el sistema mediante tolvas de alimentación y por medio de un dispositivo que los conduce hasta el centro del disco. Al girar esta, la fuerza centrífuga proyecta el material activo a la periferia, impulsándolo hacia los orificios que están dispuestos en la parte externa del cilindro.

Por su parte el material de recubrimiento se introduce por dispositivos que lo hacen circular en la periferia del cilindro justo en la salida de los orificios que este posee. Al chocar las partículas con la película de recubrimiento se produce un englobamiento del material activo y cuando las fuerzas centrifugas de la masa del material activo y del material de recubrimiento sobrepasan la fuerza de cohesión de la

película, se forman pequeñas cápsulas que se proyectan hacia fuera (Vilstrup, 2004 citado en Caez, 2012).

1.2.6. Los zumos y su microencapsulación

El secado por atomización de los zumos de frutas es una operación de proceso en un solo paso que transforma los zumos en un producto en polvo. La formulación en polvo facilita el transporte al reducir el peso, y también preserva el producto de la degradación bacteriana al disminuir drásticamente la actividad de agua.

Los zumos presentan por naturaleza un elevado contenido de azúcares como glucosa y fructuosa y ácidos orgánicos como ácido cítrico, málico y tartárico, lo que les confiere una característica diferente a la hora de conseguir que por eliminación de su contenido en agua se transforme en una presentación en polvo.

Estos compuestos tienen temperaturas de transición vítrea bajas y ya sea con los secadores por atomización utilizados en la industria alimentaria para transformar disoluciones, emulsiones o dispersiones de un producto (estado líquido) en productos en polvo, o bien con el uso de liofilizadores, nos encontramos con los problemas de pegajosidad (stickiness) y de elevada higroscopicidad con los productos obtenidos.

El término “stickiness” hace referencia a los fenómenos de cohesión partícula – partícula y de adhesión partícula – pared que presentan polvos obtenidos, que dificulta su presentación en estado polvo y mancha las paredes de los cilindros de pulverización.

Al quedar en la pared del compartimiento de secado como un jarabe da lugar a bajas producciones del producto y a problemas

operacionales. La cohesión es una propiedad interna del polvo y una medida de las fuerzas que mantienen unidas las partículas, mientras que la adhesión es una propiedad interfacial y una medida de las fuerzas que mantienen las partículas unidas a otro material. (Lozano, 2009).

1.2.7. Agentes encapsulantes

Las dificultades tecnológicas que se presentan durante el secado de jugo de frutas y otros productos con altos contenidos de azúcar, se deben a la elevada higroscopicidad y termo-plasticidad a altas temperaturas y humedades (Adhikari et al., 2004). Por esta razón, en las últimas décadas, se ha incrementado la adición de algunos materiales como Maltodextrina, gomas, pectinas, silicato de Calcio y carboxy-metilcelulosa, entre otros, para la producción de polvos tanto alimenticios, como farmacéuticos y cosméticos, con el fin de encapsular componentes activos.

El encapsulante se constituye en una barrera entre el componente en la partícula y el medio ambiente, la cual lo protege del oxígeno, agua, luz y contacto con otros ingredientes, además de controlar la difusión. La eficiencia de la protección depende de la composición, estabilidad de la estructura y condiciones de operación durante la producción y uso de las partículas (temperatura, pH, presión, humedad). La barrera la conforman compuestos de cadena que crean una red con propiedades hidrofílicas o hidrofóbicas dependiendo del producto.

El polvo final tiene una composición específica del componente activo, pero además tiene buenas propiedades para su manejo, capacidad de mezclarse con agua y con otros polvos (tamaño, densidad y forma).

Las propiedades de un polvo también dependen de las propiedades del material de la pared como por ejemplo de la cantidad relativa de

lípidos que permanecen sin encapsular en la superficie de la partícula (Fuchs et al., 2006; Garcia & Lopez, 2012).

Los agentes encapsulantes más comunes son proteínas como la gelatina y la leche; gomas como la arábica, la acacia y el alginato; carbohidratos como la sucrosa, las maltodextrinas, almidones modificados, ciclodextrinas; celulosa, lípidos, grasas, ceras, lecitinas y fibras. Las maltodextrinas son utilizadas principalmente en materiales que presentan dificultades para su deshidratación, tales como jugo de frutas, condimentos y endulzantes, ya que reducen los problemas de adherencia y aglomeración durante el almacenamiento, mejorando así la estabilidad del producto.

Las propiedades deseadas para un producto, dependen de su uso final, y los parámetros más importantes que inciden sobre estas propiedades, son la temperatura y la humedad durante el proceso y durante el almacenamiento. La formulación del encapsulante influye en las propiedades del polvo, y en el control de fenómenos como la transición vítrea, la fusión, la cristalización y el endurecimiento (Fuchs et al., 2006).

La mayor dificultad durante el secado por atomización de productos ricos en azúcares como los jugos de frutas, vegetales y mieles, es su pegajosidad. Esta característica se atribuye a los bajos pesos moleculares de los azúcares presentes tales como la fructuosa, glucosa y sacarosa y de los ácidos orgánicos como el málico y el tartárico, componentes que constituyen más del 90% de los sólidos de jugos de frutas y pulpas (Adhikari et al., 2004).

La deshidratación por atomización de frutas sin encapsulante puede ocasionar que se pegue a las paredes, se caramelize o que queme (Masters, 2002).

La encapsulación es entonces importante durante el secado, ya que además permite retener los aromas y sabores de los productos, cualidades importantes para calificar la calidad de los alimentos. Si bien, la liofilización es un sistema que aminora estas pérdidas arrojando productos de muy buena calidad por la alta retención de aromas y sabores, es una técnica costosa y requiere mucho tiempo de proceso. Es por ello que el uso de encapsulantes, es una práctica tecnológica importante cuando se utilizan otros sistemas de secado (Fuchs et al., 2006).

Tabla 3

Tipos de cubiertas de encapsulantes

TIPO DE COBERTURA	COBERTURA ESPECIFICA
GOMAS	Goma arábica, agar, alginato de sodio, carragenina
CARBOHIDRATOS	Almidón, dextranos, sacarosa
CELULOSAS	CMC, etilcelulosa, acetilcelulosa
LIPIDOS	Ceras, parafinas, aceites
PROTEINAS	Gluten, caseína, albumina
MATERIALES ORGANICOS	Sulfato de calcio, silicatos

Fuente: Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación (2006)

- Gomas:

Son generalmente insípidas, pero pueden tener pronunciado en el gusto y sabor de alimentos, son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y es muy versátil para la mayoría de los métodos de encapsulación (Madene, 2006; & Murúa, 2009). Como por ejemplo:

- Goma arábica

Es un polisacárido de origen natural que se extrae de la resina de árboles subsaharianos (Acacia senegal y Acacia seyal) como parte del proceso de cicatrización de éstos conocido como gummosis. Químicamente se trata de un polisacárido con cantidades variables de D-galactosa, L-arabinosa, L-ramnosa

y algunos ácidos derivados como el ácido D-glucorónico o el 4-O-metil-D-ácido glucorónico. Dentro de las principales aplicaciones que tiene la goma arábica se encuentran: Películas protectoras para sabores, colores y vitaminas, en donde los sabores secados por aspersión o encapsulados que actualmente se prefieren al uso de los almidones modificados (Reineccius, 1991).

- **Carbohidratos:**

Son extensivamente empleados en la encapsulación, se utiliza la técnica de secado por aspersión para ingredientes alimenticios como soporte de encapsulamiento, dentro de este amplio grupo se encuentran los almidones, maltodextrinas y gomas (Madene, 2006; & Murúa, 2009).

- **Maltodextrinas:**

La FDA (Food and Drug Administration) lo define como un polímero sacárido nutritivo no dulces, compuesto de monómero de D-glucosa, obtenido a partir del almidón de maíz, por hidrólisis ácida y/o enzimática, y con dextrosa equivalente inferior a 20. Se presenta como un sólido amorfo color crema hasta marrón, soluble en agua fría e insoluble en alcohol (Thies, 1996).

La maltodextrina, se utiliza en la industria como humectante y espesante, para estabilizar alimentos con muchas grasas, para dispersar ingredientes secos, para favorecer el secado por aspersión de sabores, jugos de frutas u otros productos difíciles de secar, y como fuente de carbohidratos en bebidas energéticas (Reineccius, 1991).

- **Lípidos:**

Dentro de los principales agentes encapsulantes de carácter lipídico están: grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, parafinas, aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya; son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando una encapsulación uniforme (Yañez, 2002 citado en García & Lopez, 2012).

- **Proteínas:**

Alimentos hidrocoloides son ampliamente utilizados como microencapsulantes, por ejemplo: proteínas alimenticias como caseinato de sodio, proteínas de lactosuero, aislados de proteína de soya (Madene, 2006 & Murúa, 2009), ceras (Fuchs, 2006), gluten, grenetina (Yañez, 2002 citado en García & Lopez, 2012), caseínas, soya, trigo (Saenz, 2009) y gelatina (kwak et al., 2001), este último utilizado por las buenas propiedades de emulsificación, formación de películas, solubilidad de agua y biodegradabilidad (Favaro, 2010).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Población y Muestra

2.1.1. Población:

Arándanos azules (*Vaccinium corymbosum*) la variedad Biloxy, procedentes del fundo Agroindustrias San Juan del Distrito de Chongoyape – Chiclayo.

2.1.2. Muestra:

12 kg de arándanos azules.

2.2. Lugar de trabajo

Esta investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Alimentos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque y en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de Nuevos Productos de la Universidad Nacional del Santa – Nuevo Chimbote, en un periodo de tiempo de 05 meses calendarios.

2.3. Materia prima e insumos

Se utilizó 12 Kg de Arándanos azules (*Vaccinium corymbosum*) de la variedad Biloxy, procedentes del fundo Agroindustrias San Juan del Distrito de Chongoyape – Chiclayo.

2.4. Materiales y reactivos

2.4.1. Reactivos e insumos

- Ácido ascórbico.
- Acido oxálico (solución al 0.4%)
- Hidróxido de sodio (0.1N)
- Fenolftaleína.
- Carragenina

- Goma arábica.
- 2,6 diclorofenolindifenol.
- 2,2-difenil-1-picrilhidracilo.

2.4.2. Materiales complementarios

- Vasos de precipitación de 100 ml, 300 ml
- Matraz aforado de 1000 ml
- Matraz de 1000 ml
- Placas de petri
- Pipetas de 10 ml
- Morteros

2.4.3. Equipos e instrumentos

- Spray Dryner, Ic40d, Code 991650.
- Espectrofotómetro Uv, Marca Jasco, V-670.
- pH-metro mod. P4-506.
- Balanza analítica. Typ U3600, Sartorius.
- Estufa eléctrica, mod. U9600.

2.5. Métodos

2.5.1. Análisis de la materia prima

Se realizaron análisis fisicoquímicos de la materia prima (arándano) y su producto final. Los métodos utilizados se detallan a continuación

Análisis fisicoquímicos de la materia prima

Se procedió a tomar muestras representativas de la materia antes de ser atomizada, y se realizaron los respectivos análisis:

Tabla 4.*Análisis Físicoquímicos*

Análisis Físicoquímico	Método / Instrumento
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD	AOAC – N°981.05 (1980)
DETERMINACIÓN DE ACIDEZ	AOAC – N°950.07 (1984)
DETERMINACIÓN DE PH	AOAC – N°935.15 (1980)
SÓLIDOS SOLUBLES	Refractómetro ABBE

Fuente: Elaboración propia (2016)

❖ **Determinación del contenido de vitamina C por espectrofotometría:**

La determinación de vitamina C fue determinada en zumo, basado en la reducción del colorante 2,6 diclorofenolindifenol (**Methods of VitaminAssay, 1974**).

Para realizar la determinación de vitamina C se tuvo en cuenta lo siguiente:

Estándares de trabajo (E.T.): Tomar alícuotas de 1, 2, 3, 4 y 5 ml de ácido ascórbico al 0.1% y llevar a volúmenes de 100 ml con una solución de ácido oxálico al 0.4%. Estas soluciones enumeradas del 1 al 5 contendrán 1, 2, 3,4 y 5mg de ácido ascórbico por 100 ml respectivamente.

Preparación de la curva estándar de Vitamina C:

- Encendemos el equipo del Espectrofotómetro Uv –Visible.
- En la pantalla del escritorio de la computadora hacemos click en el icono spectra Manager.

- c) Programamos en el icono Quantitative Calibration los parámetros a lo que deseamos medir la longitud de onda en este caso 520 nm, guardamos el método.
- d) Luego doble click en Quantitative Analysis, seleccionamos file – new ok buscamos el método en la data en donde guardamos abrir y el equipo está listo para operar.
- e) Paralelamente, preparamos 4 tubos prueba enumerarlos del I al IV y agregar lo siguiente:
 - I, 10ml de agua destilada
 - II, 1ml de ácido oxálico al 0.4% + 9 ml de solución Coloreada.
 - III, 1ml de ácido oxálico al 0.4% + 9 ml de agua destilada.
 - IV, 1ml de E. T. N° 1 + 9ml de solución coloreada.
- f) Hacer las lecturas de absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm de la siguiente manera:
 - Ajustar a cero la absorbancia usando I.
 - Leer la absorbancia del tubo II (L1)
 - Ajustar a cero la absorbancia con la solución del tubo III.
 - Leer la absorbancia del tubo IV (L2)

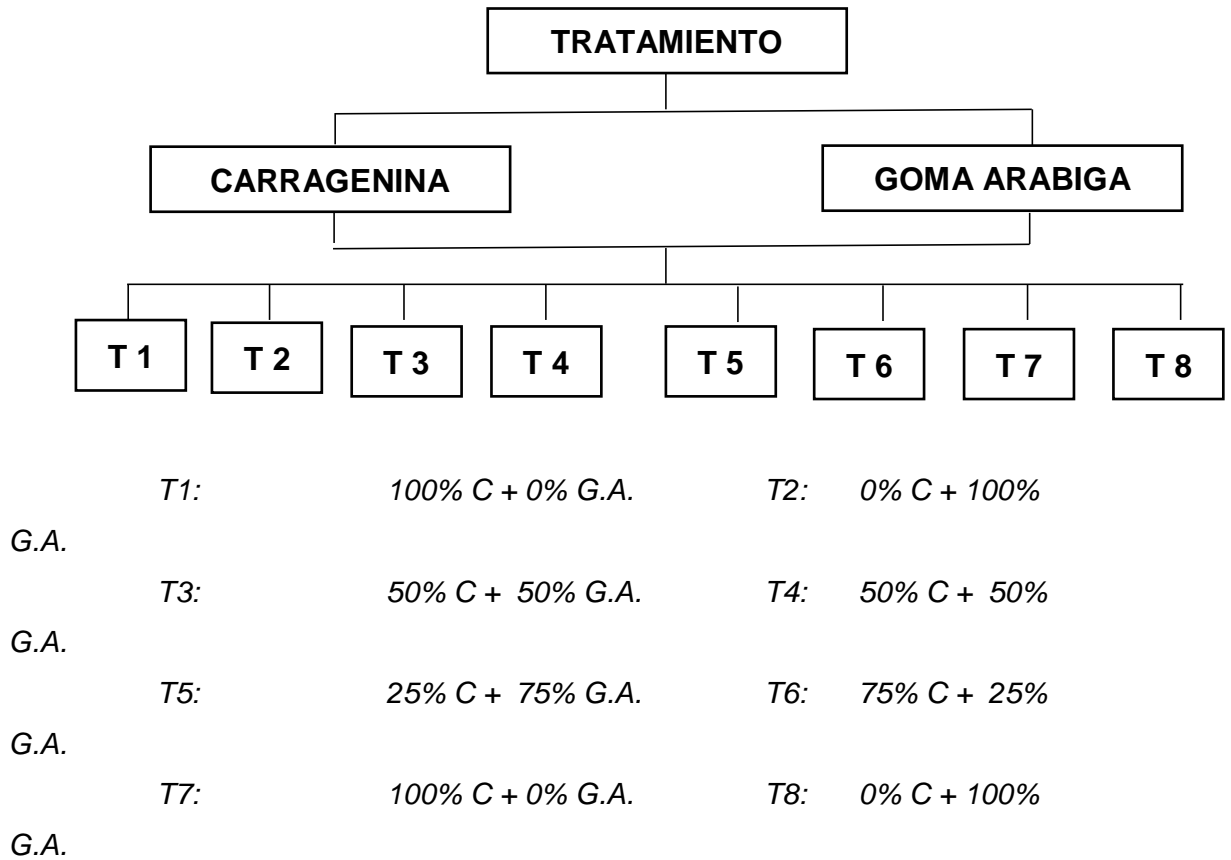
Las lecturas de L1 y L2 deben hacerse en 15 segundos después de su preparación.

Construir la curva estándar con las concentraciones 1, 2, 3, 4 y 5 de Ac. Ascórbico (mg/100ml) en la abscisa y la absorbancia.

2.6. Metodología Experimental de la investigación

El diseño experimental que se empleó fue un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial 2 X 4, tal como se muestra en el diagrama experimental:

Figura 6: Diagrama del diseño experimental. Tomado de



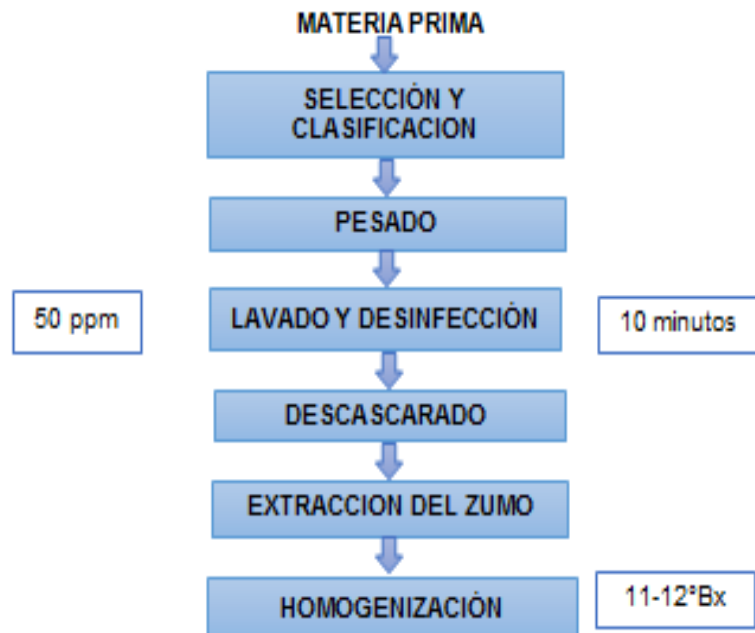
Fuente: Design – Expert 7

Se realizaron 8 tratamientos con 3 repeticiones, dichos resultados fueron sometidos a análisis fisicoquímicos evaluándose sólidos solubles, acidez titulable, pH y humedad y los resultados se sometieron a un análisis estadístico a un nivel de significancia de 5%.

2.6.1. Proceso para el acondicionamiento del zumo de arándano previo al atomizado:

a) Obtención del zumo de arándano

Figura 7. Diagrama de bloques de la obtención del zumo de arándano y su homogenización



Fuente: Elaboración propia (2015)

- **Materia Prima**

El fruto con el cual se trabajó como materia prima es el arándano tipo blueberry. Antes de realizar el proceso de extracción del zumo, es conveniente realizar un conjunto de operaciones que garantice estos objetivos.

- **Selección de Materia Prima**

Es la etapa en la que se separa los frutos dañados para lograr una muestra homogénea como: color y textura.

- **Pesado**

Luego de seleccionar los frutos de arándano, se pesó el fruto y se trabajó con una determinada cantidad para realizar todos los análisis correspondientes.

- **Lavado y desinfección**

Para la eliminación de agentes contaminantes en la superficie del fruto con agua potable, posteriormente se sumergió a la fruta en una solución de 5 litros de agua y 5 ml de hipoclorito de sodio (50ppm/10 min).

- **Descascarado**

Se procede a descascararlo manualmente, ello con la finalidad que las propiedades presentes en la cáscara del arándano no interfieran en los resultados. Debido a que el objetivo es analizar del zumo de la pulpa del arándano. Siendo así, la pulpa del arándano la parte útil con el fin de que al obtener el zumo se puedan realizar los análisis correspondientes en especial la determinación de vitamina C. Ya que al realizar análisis del zumo con cáscara no se logra cumplir con los objetivos a los que se desea llegar.

- **Extracción del zumo**

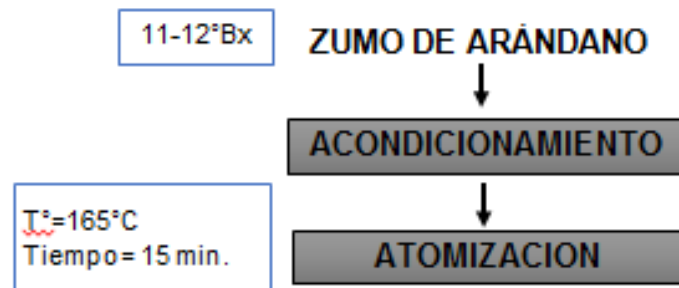
Se realizó la extracción con un exprimidor de mano, con la finalidad de extraer el jugo en su totalidad y luego separar los sólidos a través de un colador, llegando a obtener de 150 a 170 ml de muestra.

- **Homogenización de muestra**

Después de obtener el zumo del arándano, se separan 150 ml y se homogeniza con el encapsulante con el cual se va a trabajar. Esto se lleva a cabo en una licuadora; y se agrega el encapsulante poco a poco, para así obtener una mezcla completa y homogénea y no se observen brumos; ya que esto dificultaría el proceso de atomizado.

b) Obtención experimental del zumo de arándano atomizado

Figura 8. Diagrama de bloques de la obtención experimental del zumo de arándano atomizado



Fuente: Elaboración Propia (2015)

- Acondicionamiento

El zumo de arándano homogenizado con los encapsulantes, es acondicionado en un vaso de alimentación del atomizador la cual estará cubierta con papel aluminio para evitar que la luz ingrese.

- Atomización

Se realiza el proceso de secado por este sistema a una temperatura de 165°C aproximadamente por 15 minutos, hasta ver que ya se haya consumido toda la muestra homogenizada.

2.6.2. Evaluación fisicoquímica de los tratamientos

Se realizaron los análisis fisicoquímicos de todos los tratamientos: Humedad inicial, humedad final, vitamina C, pH y acidez titulable.

2.7. Plan de análisis estadístico de datos

Se permite visualizar mediante un diseño bifactorial un modelo estadístico en función de las variables independientes (factores) así como su interacción, para cada una de las variables dependientes (variables respuesta).

Se evaluó el porcentaje de retención de vitamina C en función a una temperatura óptima ya establecida de 165°C, con la mezcla de 2 agentes encapsulantes (goma arábica y carragenina) a diferentes concentraciones tal como se muestra en la siguiente tabla, con un total de 8 corridas.

Tabla 5:

Matriz para la evaluación estadística en la etapa de atomización del zumo de arándano.

Std	Run	Component 1	Component 2	Response 1
		A:Goma Arábica	B:Carragenina	Humedad
		%	%	%
7	1	0	100	4
4	2	75	25	3
1	3	100	0	5
3	4	0	100	3
5	5	25	75	3
6	6	100	0	5
2	7	50	50	4
8	8	50	50	5

Fuente: Design-Expert 7

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Caracterización fisicoquímica y proximal de la materia prima

Al seleccionar la materia prima; se tuvo en cuenta las características organolépticas: el color azul oscuro que es característico, los grados brix y pulpa firme, separando los frutos dañados; teniendo como materia prima inicial 12 kg de arándanos azules para iniciar la investigación.

Se llevó a cabo un lavado y desinfectado, sumergiendo a la fruta en una solución de 5 litros de agua y 5 ml de hipoclorito de sodio (50ppm) por 10 minutos, luego se procedió al pelado de los arándanos, para luego ser exprimido con la ayuda de un extractor y separar los sólidos a través de un colador logrando obtener 7 litros.

Tabla 6:

Análisis fisicoquímicos del zumo de arándano

COMPONENTES	Cantidad (/100g de zumo)
Humedad	83.66 %
Acidez Titulable	0.89 %
Ph	3.325
Sólidos Solubles	13.10°Bx
Sólidos Totales	16.34 %
Vitamina C	6.26 mg

Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Nuevos Productos de la Universidad Nacional del Santa – Nuevo Chimbote (2015)

Los resultados mostrados fueron tomados por diferentes instrumentos de medida:

En el caso del contenido de humedad fue cuantificado por pérdida de peso de una muestra secada en estufa a temperatura de 55°C hasta alcanzar un peso constante, según el método AOAC (Asociación de los químicos analíticos oficiales N°981.05 (1980)); obteniendo como resultado 83,66% de humedad el cuál casi concuerda con la humedad presentada por Dinamarca et al. (1986).

El porcentaje de sólidos solubles se determinó directamente por lectura en el refractómetro de precisión ABBE, los resultados obtenidos variaron no muy significativamente ya que los frutos escogidos estaban todos en un estado de maduración homogéneo de color azul intenso obteniendo como promedio 13, 10°Bx. En trabajos anteriores, frutos de color verde rosa en la zona peduncular, registraron valores iguales o superiores a 10°Brix (Feippe et al., 2010).

El resultado obtenido en esta investigación se encuentra dentro del rango que oscila entre los 10 y 15° Brix, lo cual esta descrito para el fruto maduro por Buzeta (1997). La cercanía al límite superior del rango puede atribuirse al procesamiento, puesto que al hacer este análisis no fue directamente después de su cosecha y la materia prima fue refrigerada lo que cambio un poco.

El nivel de sólidos solubles no puede ser considerado un parámetro indicador del estado óptimo de desarrollo a cosecha, dada su poca variación y diferenciación entre estados y durante la post-cosecha. También se debe considerar que la fruta con menos porcentaje de color azul logra valores de acuerdo a los límites mínimos de calidad exigidos.

El pH fue determinado con un potenciómetro que fue calibrado inicialmente a través de soluciones tampón patrones de pH 4.01 a 7.00 en un pH-metro digital, según el método AOAC (Asociación de los Químicos Analíticos Oficiales – USA) N° 935.15 (1980).

El pH del zumo de arándano obtenido fue de 3,325; este resultado se encuentra en el rango que presenta Flores (2014) entre 3.0 y 3.4.

La acidez total titulable se determinó con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N y se expresó en gramos de ácido cítrico por 100 gramos de muestra, según el método AOAC (Asociación de los Químicos Analíticos Oficiales) N° 950.07 (1984). Obteniendo como resultado 0,89% de acidez titulable que a diferencia

de lo que mencionen los autores Caruso y Ramsdell (1995) establecen valores de hasta 1.2% por lo cual se encontraría dentro del rango para este fruto.

Durante el período de almacenamiento a temperatura ambiente, que siguió a la conservación refrigerada, se registraron cambios importantes en los valores de acidez los cuales disminuyeron significativamente cada vez que se hacían análisis para las respectivas muestras.

La determinación de vitamina C fue en zumo, basado en la reducción del colorante 2,6 diclorofenolindifenol (Methods of Vitamin Assay, 1974), obteniendo como resultado 8,26 mg/100 ml de muestra que comparándolo no está muy lejano de lo que menciona la base de datos de los nutrientes de la USDA sobre el arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) el cual indica un contenido de vitamina C de 9,7 mg.

3.2. Acondicionamiento del zumo de arándano para la atomización

El análisis de esta investigación fue usar 2 tipos de encapsulantes (carragenina y goma arábica) a distintas concentraciones en la muestra acondicionada.

La aplicación de estos agentes es necesario dado que los compuestos que constituyen el zumo de arándano, tienen temperaturas de transición vítrea bajas y ya sea el empleo de secadores por atomización utilizado para fines de esta investigación donde se transforma disoluciones, emulsiones o dispersiones de un producto (estado líquido) en productos en polvo, sirve para evitar estos problemas de pegajosidad (stickiness) y de elevada higroscopicidad.

Tabla 7*Proporciones de agentes encapsulantes: carragenina y goma arábica*

TRATAMIENTOS	CARRAGENINA	GOMA ARABIGA
1	100%	0%
2	0%	100%
3	50%	50%
4	50%	50%
5	25%	75%
6	75%	25%
7	100%	0%
8	0%	100%

Fuente: Design Expert 7

En la tabla se observa un total de 8 corridas en el proceso de atomizado para el zumo de arándano más las concentraciones de encapsulantes añadidas respectivamente.

Las concentraciones de dichos encapsulantes (carragenina y goma arábica) fueron una de nuestras variables dependientes, y lo que se deseó mostrar fue con qué porcentaje de cada uno se logró obtener una mayor retención de la vitamina C de dicho zumo.

Estas concentraciones que se observan expresadas en porcentaje (%) estuvieron relacionadas con los sólidos solubles (%Brix) del zumo de arándano a encapsular.

Como por ejemplo una de nuestras muestras a encapsular de 150 ml tuvo como resultado 12,6 °Brix; tomando como referencia el 50% C + 50% GA, nos indica que se añadirá la mitad de cada encapsulante. Esto sería 6,3 g de carragenina más 6,3 g de goma arábica sobre el zumo de arándano para así proceder a ser atomizada dicha muestra.

3.3. Secado por atomización

Al realizar el secado por atomización, los agentes encapsulantes se incorporaron al zumo de arándano concentrado cuya muestra fue de 150 ml, ayudándonos de una licuadora para una mejor homogenización.

Dicha muestra, fue colocada en el vaso de alimentación del equipo de atomización, al cual cubriremos con papel de aluminio para evitar cualquier contacto con la luz.

Para realizar las pruebas de atomización se consideró los siguientes parámetros:

Tabla 8

Parámetros para la atomización del zumo de arándano encapsulado

PARÁMETROS	VALOR
Velocidad de aire caliente	60 m/seg
Q alimentación	0.127 ml/seg
Presión del aire comprimido	2 bar
Temperatura de secado	165°C

Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Nuevos Productos de la Universidad Nacional del Santa (2016)

3.4. Caracterización del zumo de arándano atomizado

En la Tabla 9 y Tabla 10, se muestran los resultados de análisis físico-químico realizado al zumo de arándano atomizado especificando la mayor retención de Vitamina C con cada tipo de encapsulante.

Tabla 9

Análisis físico-químico del zumo de arándano atomizado – Carragenina

Componentes	Cantidad (/100g de zumo atomizado)
Humedad	2.365%
Acidez Titulable	0.18%
Ph	3.89
Sólidos Solubles	11.8°Brix
Vitamina C	4.123

Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Nuevos Productos de la Universidad Nacional del Santa (2016)

Tabla 10

Análisis físico químico del zumo de arándano atomizado – Goma Arábica

Componentes	Cantidad (/100g de zumo atomizado)
Humedad	2.35%
Acidez Titulable	0.17%
Ph	4.05
Sólidos Solubles	11.68°Brix
Vitamina C	4.52

Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Nuevos Productos de la Universidad Nacional del Santa (2016)

3.5. Resultados de la evaluación de los tratamientos

Se evaluó el porcentaje de retención de Vitamina C en función a la dosis y tipo de encapsulante logrando resultados reportados en la Tabla 11.

Tabla 11*Retención de vitamina C*

Tratamientos	Carragenina (%)	Goma Arábica (%)	°Brix	Humedad Inicial(%)	Humedad Final(%)	Vitamina C(g)
1	100%	0%	12.5	88.57%	2.61%	3.75
2	0%	100%	11.4	83.23%	2.57%	4.97
3	50%	50%	11.7	77.37%	1.97%	4.15
4	50%	50%	12.3	77.40%	2.03%	4.23
5	25%	75%	11.0	80.20%	2.45%	5.38
6	75%	25%	12.1	82.51%	2.50%	3.59
7	100%	0%	11.2	88.57%	2.60%	3.64
8	0%	100%	11.6	83.17%	2.53%	4.84

Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Nuevos Productos de la Universidad Nacional del Santa – Design Expert 7 (2016)

En la Tabla 11 se observa que la humedad inicial de los 8 tratamientos están en un rango de 77.37% y 88.57%. Cuyos resultados se obtuvo del promedio de 3 repeticiones por cada tratamiento mencionado.

Así mismo, se observa que a 25% de carragenina y el 75% de goma arábica se obtiene 5,38g de vitamina C de la muestra atomizada correspondiente al tratamiento 5 a diferentes concentraciones en comparación a los demás tratamientos.

Chumpitaz (1995), Reineccius (1991) y Rosenberg (1991) señalan que la goma arábica es el más utilizado en los procesos de micro encapsulamiento por atomización, porque es un buen agente emulsionante, facilita el proceso de secado y muestra una buena retención de compuestos volátiles, por lo general, superior al 85%.

3.5.1. Determinación de Humedad inicial (Hi)

Tabla 12.*Resultado de promedio de Humedad inicial de los tratamientos*

	R1	R2	R3
T1	0.88	0.86	0.92
T2	0.75	0.92	0.83
T3	0.78	0.92	0.83
T4	0.74	0.79	0.79
T5	0.79	0.8	0.82
T6	0.81	0.83	0.84
T7	0.88	0.86	0.92
T8	0.82	0.83	0.85

NOTA: T: tratamientos R: repeticiones

En la Tabla 12 se observan las 3 repeticiones para cada tratamiento analizados en esta investigación que se realizó; así obteniendo un promedio final para la humedad inicial.

Para determinar si existe diferencia significativa realizamos el Análisis de varianza, que se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13*Análisis de Varianza para la Humedad inicial*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0.03085	7	0.004407143	2.25045593	2.6571966
Error	0.031333333	16	0.001958333		
Total	0.062183333	23			

Fuente: Elaboración Propia (2016)

Se observa el análisis de varianza de la humedad inicial, el cual determinó que no existe diferencia significativa, es decir que los porcentajes de encapsulantes no afecta a la humedad inicial.

3.5.2. Determinación de Humedad final (Hf)

Tabla 14.

Resultado de promedio de Humedad final de los tratamientos

	R1	R2	R3
T1	0.02	0.03	0.03
T2	0.03	0.02	0.03
T3	0.02	0.02	0.02
T4	0.03	0.02	0.01
T5	0.01	0.03	0.02
T6	0.03	0.04	0.01
T7	0.03	0.02	0.03
T8	0.02	0.03	0.03
NOTA: T: tratamientos R: repeticiones			

En la Tabla 14 se observan las 3 repeticiones para cada tratamiento analizados en esta investigación que se realizó; así obteniendo un promedio final para la humedad final. Para determinar si existe diferencia significativa realizamos el Análisis de varianza, que se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

Análisis de Varianza para la Humedad final.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0.00025	7	3.57143E-05	0.504201681	2.6571966
Error	0.001133333	16	7.08333E-05		
Total	0.001383333	23			

Fuente: Elaboración Propia (2016)

Se observa el análisis de varianza de la humedad final, el cual determinó que no existe diferencia significativa, es decir que los porcentajes de encapsulantes no afecta a la humedad final.

3.5.3. Determinación de vitamina C.

Tabla 16

Resultado de promedio de contenido de vitamina C de los tratamientos

	R1	R2	R3
T1	3.72	3.67	3.86
T2	4.96	4.99	4.96
T3	4.05	4.32	4.08
T4	4.25	4.16	4.28
T5	5.15	5.26	5.73
T6	3.45	3.39	3.93
T7	3.52	3.62	3.78
T8	4.87	4.67	4.98

T: tratamientos R: repeticiones

En la Tabla 16 se observan las 3 repeticiones para cada tratamiento analizados en esta investigación que se realizó; así obteniendo un promedio final para el contenido de vitamina C.

Para determinar si existe diferencia significativa realizamos el Análisis de varianza, que se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Análisis de Varianza para contenido de vitamina C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	9.5210625	7	1.360151786	41.81865598	2.6571966
Error	0.5204	16	0.032525		
Total	10.0414625	23			

Fuente: Elaboración Propia (2016)

Se observa el análisis de varianza del contenido de vitamina C, el cual determinó que si existe diferencia significativa, es decir que los porcentajes de encapsulantes si afectan a la retención de la vitamina C.

Después de haber realizado el análisis de varianza y haber rechazado la hipótesis nula de que todos los tratamientos son iguales; se procede a realizar la Prueba de Tuckey al 5% de significancia

Tabla 18.*Prueba de Tuckey para el contenido de vitamina C*

TRATAMIENTO	MEDIA	PRUEBA DE TUCKEY PARA TRATAMIENTOS AL 5%		
T5	5.38	A		
T2	4.97		B	
T8	4.84		B	
T4	4.23			C
T3	4.15			C
T1	3.75			D
T7	3.64			D
T6	3.59			D

Fuente: Elaboración Propia (2016)

Por medio de la prueba de Tuckey, observamos que con el 5% de significancia, si hay diferencia significativa en cuando al porcentaje de contenido de Vitamina C, habiendo 4 rangos, eligiéndose el rango “A” por tener mayor porcentaje de Vitamina C, por lo tanto el mejor tratamiento es T5 (25% Carragenina – 75% Goma Árabiga).

IV. CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó las principales características fisicoquímicas del zumo de arándano, obteniendo una acidez titulable de 0.89 gramos de ácido cítrico por 100 gramos de muestra, con una humedad promedio de 83.66%, de pH 3.325 y el de grados brix 13.10%.
- ✓ Se determinaron los tipos de encapsulantes a diferentes concentraciones (estas fueron: 100% carragenina + 0% goma arábica; 0% carragenina + 100% goma arábica; 50% carragenina + 50% goma arábica; 25% carragenina + 75% goma arábica; 75% carragenina + 25% goma arábica), para posteriormente ser hidratadas, según estos análisis obtener la muestra que retuvo la mayor cantidad vitamina C que fue 25% de carragenina más el 75% de goma arábica.
- ✓ De los 8 tratamientos evaluados para encapsular uno de los principales componentes del arándano; los que obtuvieron mayores resultados de encapsulación fueron las concentraciones de 25% de carragenina más el 75% de goma arábica logrando retener la mayor cantidad de vitamina C que fue de 5,38 g en el proceso de atomizado del arándano a una temperatura óptima de aire de 165°C.
- ✓ Se determinó las características fisicoquímicas del zumo de arándano atomizado, obteniendo una humedad inicial de 80.20% y humedad final 2.45%, el promedio de grados brix fue de 11; y en cuanto a la retención de vitamina C fue un promedio de 5,38g.

V. RECOMENDACIONES

- ✓ Al verificarse que en algunas muestras realizadas se dificultaba el trabajo en el proceso de atomización, se recomienda verificar que las concentraciones de encapsulantes usados deben estar totalmente homogenizados, para así ser efectiva la encapsulación.
- ✓ Teniendo en cuenta que siendo la luz un factor que ocasiona pérdida de vitamina C en un fruto cítrico, se recomienda que en el recipiente donde se encuentra la muestra homogenizada preparada para realizar la atomización esté cubierta por papel aluminio para evitar el ingreso de luz al producto y esto no sea un inconveniente en el resultado de encapsulamiento.
- ✓ Siendo la solución coloreada (2.6 diclorofenol indofenol) muy sensible a la luz y temperaturas altas, se recomienda que en el proceso para el análisis de vitamina C el tiempo que debe de transcurrir para medir la muestra debe ser mínimo; menor a 15 segundos por ello que debe mantenerse en refrigeración y en frasco ámbar.
- ✓ Se sugiere que el análisis de la vitamina c de sus muestras se realicen el mismo día ya que al transcurrir el tiempo la vitamina c se degrada; aunque este extremadamente protegido con papel aluminio e incluso en campanas de secado. Esta recomendación es para que tenga precisión en sus medidas y sus datos no sean confusos.
- ✓ Se recomienda realizar otros análisis a las muestras atomizadas, teniendo el arándano una variedad de compuestos los cuales analizar como su actividad antioxidante; análisis de antocianinas o la prueba de colorimetría; para poder jugar con las variables.

- ✓ Realizar pruebas con otros tipos de encapsulantes (agar, alginato de sodio, dextrano, maltodextrina) a otras concentraciones y variando la temperatura de calor de la atomización; para así obtener variación en datos; no solo encapsular la vitamina C, sino también la vitamina A que también es muy notable en el fruto de arándano.
- ✓ Tener en cuenta que de una vez obtenida la materia prima debemos considerar que con el pasar de los días el fruto tiende a perder humedad y a concentrar los compuestos que este tenga, por lo tanto los resultados pueden variar.
- ✓ Se recomienda realizar pruebas de encapsulamiento con otros tipos de frutas cítricas siendo estos fuentes naturales de vitaminas y minerales con grandes propiedades nutricionales beneficiables y aprovechables para la salud.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B., & Troung, V. (2004). Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying; experiments and modelling. *Journal of Food Engineering*; 62, 53-68.
- Agrimundo. (2013). Aumenta la superficie de arándanos. Perú: Recuperado de <http://www.agrimundo.cl/?p=22394>.
- Alvarado, J. (2009). Principios de ingeniería aplicados a los alimentos. Editorial. Secretaria General de la OEA en Ecuador. Quito, Ecuador. pp. 86-97. Recuperado de <http://www.docfoc.com/alvarado-j-2009-principios-de-ingenieria-aplicados-a-alimentospdf>.
- Anal, A. and H. Singh. (2007). Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery: a review. *Trends in Food Science and Technology* 18(5): 240-251.
- AOAC. (1990). Official methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). In K. Helrich (ed). Washington, DC, USA: AOAC. Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Augustin, M. & Hemar, Y. (2009). Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. *Chemical Society Reviews*, 38, 902–912.
- Badui, D. (2006). Química de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Bagchi, D., Sen, C., Bagchi, M. & Atalay, M. (2004). Anti-angiogenic, antioxidant, and anti-carcinogenic properties of a novel anthocyanin-rich berry extract formula. *Biochemistry (Moscow)*, 69, 75-80.
- Barboza, C., & Vega, M. (1996). Deshidratación de Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2000, Pág. 27 – 35, 130 – 135.
- Brazelton, C. (2011). World Blueberry Acreage & Production Report. U.S. Highbush Blueberry Council, pp. 1–51.

- Buzeta, A. (1997). Chile: Berries para el año 2000. Departamento Agroindustrial, Fundación Chile. Santiago, Chile. 135p. Recuperado de: <http://www.ciren.cl/cgi-bin/cedoc/wxis?IsisScript=plus.xis&mfn=010791&base=biblo>
- Caez, K. & Jaraba, N. (2012). Microencapsulación del jugo de mango para la obtención de un concentrado con la utilización de maltodextrina como material pared. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingenierías. Cartagena de Indias, Colombia.
- Candia, N., Ramirez, M., Vargas, Y. & Gaete, L. (2015). Ultrasonic spray drying vs high vacuum and microwaves technology for blueberries. International Congress on Ultrasonics, 2015 ICU Metz.
- Caruso, F.L & Ramsdell, D.C. (1995). Compendium of Blueberry and Cranberry Diseases St. Paul, Minnesota (US): APS Press, 1995. 87 p.
- Castagnini, J., Betoret, E. & Fito, P. (2015). Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. LWT – Food Science and Technology 64 (2), 1289 – 1296.
- Castillo P. & Miranda L. (2002). Cinética de la degradación de la Vitamina C en el jugo concentrado y congelado de maracuyá. [Consultado el 13 de Octubre de 2011]. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2054/1/4073.pdf>.
- Chumpitaz, L (1995). Microencapsulación del aceite esencial de naranja por atomización. Tesis para optar el grado de Magíster. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Universidad Estatal de Campinas, Sao Paulo-Brasil.
- Day, L., Seymour, R. B., Pitts, K. F., Konczak, I., & Lundin, L. (2009). Incorporation of functional ingredients into foods. Trends in Food Science & Technology, 20(9), 388e395.

- Del Rio, D., Borges, G. & Crozier, A. (2010). Berry flavonoids and phenolics: Bioavailability and evidence of protective effects. *British Journal of Nutrition*, 104, S67-S90.
- Desai, G. & Park, H. (2005). Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients, *Drying Technology*, 23: 7, 1361 — 1394
- Dinamarca, P., Poblete, R., & Sánchez, A. (1986). Aspectos técnico-económicos en la producción de berries. Santiago de Chile, Fundación Chile, Departamento Agroindustrial. Publicación técnica N° 16. 28p.
- Drug Information for the Health Care Professional (1997). USP DI. Printer Rand MacNilly, Massachusettes. 17th Edition.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols. Article in *Trends in Food Science & Technology* 21(10):510-523 · October 2010 with 241 Reads. Recuperado de: <https://espace.curtin.edu.au/handle/20.500.11937/33724>.
- Faria, A., Oliveira, J., Neves, P., Gameiro, P., Santos, C., de Freitas, V. (2005). Antioxidant properties of prepared blueberry (*Vaccinium myrtillus*) extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6896e6902.
- Favaro, C. (2010). The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids* 24(4):336-340. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/248425184_The_use_of_spray_drying_technology_to_reduce_bitter_taste_of_casein_hydrolysate.
- Feippe, A.; Ibañez, .F; Calistro, P.; Pereira, C. & Lado, J. (2010). Efecto del estado de madurez a la cosecha sobre la calidad de arándanos de exportación. Jornada de Divulgación: avances de Resultados de Investigación en Arándanos. Serie de actividades de Difusión N° 607, INIA Salto Grande e INIA Las Brujas. Recuperado de :

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17162010000200008

- Feldman, J. (2008). Plan de Internacionalización la factibilidad de internacionalizar el campo argentino, Caso: El Cultivo de Arándano Argentino. Stanford Journal of Microfinance, Volume 1.
- Flores, F., Singh, R., Kerr, W., Pegg, R., & Kong, F. (2014). Total phenolics content and antioxidant capacities of microencapsulated blueberry anthocyanins during in vitro digestion. Article (PDF Available) in Food Chemistry 153:272–278 · June 2014 with 80 Reads.
- Flórez J., Armijo J. A. & Mediavilla A. (1999) Vitaminas liposolubles e hidrosolubles. Farmacología humana. 3rd ed. Barcelona: Editorial Masson, S.A.; 1999. p. 991-1005.
- Frontela, C., Canali, R. & Virgili, F. (2010). Empleo de compuestos fenólicos en la dieta para modular la respuesta inflamatoria intestinal. Gastroenterología y Hepatología, 33, 307-312.
- Fuchs, M. C. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. Journal of Food Engineering 75(1): 27-35.
- García, A. & Lopez, A. (2012). Bipolímeros utilizados en la encapsulación. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos 6 – 1 (2012): 84 – 97.
- Gibbs, B. F., Kermasha, S., Alli, I., & Mulligan, C. N. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. International Journal of Food Science and Nutrition, 50, 213–224.
- Giongo, L., Poncetta, P., Loretto, P., & Costa, F. (2013). Texture profiling of blueberries (*Vaccinium* spp.) during fruit development, ripening and storage. Article in Postharvest Biology and Technology 76:34–39.
- Gómez T, C. & González P, S. (2009). Estudio comparativo de los procesos de liofilización y secado por atomización para cítricos. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería.

Departamento de Ingeniería Química, Santafé de Bogotá (Colombia), 361 p.

- Hammami, C., & René, F. (1997). Determination of freeze-drying process variables for strawberries. *Journal of Food Engineering*, 32(2), 133–154
- Jiménez, D., Ortega, A., Lozada, J., Pérez, M., Vernon, E., & Welti, J. (2011). Color and chemical stability of spraydried blueberry extract using mesquite gum as wall material. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6), 889–894. Recuperado de: <https://www.mysciencework.com/publication/show/9a297cc0c80bd9078b610d3867a0ea50>.
- Kailasapathy, K. (2002). Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential applications. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 3, 39–48. Recuperado de: <http://www.caister.com/ciim/v/v3/05.pdf>.
- Kwak, H. (2001). Microencapsulation of β -galactosidase with fatty acid esters. *Journal Dairy Science* 84: 1576-1582.
- Krikorian, R., Shidler, M. D., Nash, T. A., Kalt, W., Vinqvist-Tymchuk, M. R., Shukitt-Hale, B. (2010). Blueberry supplementation improves memory in older adults. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 3996-4000.
- Lehninger, A. (1999). *Bioquímica*. Barcelona – España Editorial Omega. 20p.
- Lehninger A. L. (1995) *Vitaminas y coenzimas. Las bases moleculares de la estructura y función celular*. 2nd ed. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.; 1995. p. 341-70.
- Lim, K., Ma, M., & Dolan, K. (2011). Effects of Spray Drying on Antioxidant Capacity and Anthocyanidin Content of Blueberry By-Products. *Journal of Food Science*, 76(7), H156–H164. Recuperado de: file:///D:/Downloads/PJFNS_66_1_pp_11-16.pdf.

- Lopretti, M., Barreiro, F., Fernandes, I., Damboriarena, A., Ottati, C & Olivera, A. (2007). Microencapsulación de compuestos de actividad biológica. Publicación Anual del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Cap. 2,19 – 23. Recuperado de: <file:///D:/Downloads/22-40-1-SM.pdf>.
- Lozano-Berna M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de opuntia stricta mediante secado por atomización. Universidad Politecnica de Cartagena. Escuela técnica superior de ingeniería industrial. España. P-p 3-4, 21-24. Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/954/pfc3022.pdf?sequence=1>.
- Madai B. & Jorge A. (2012). Microencapsulación de saborizantes mediante secado por atomización. Instituto de Investigación Para La Industria Alimentaria – La Habana – Cuba. Recuperado de: <https://docs.google.com/file/d/0B476jmP8wnvhQTlYaDFENGI5SHc/edit>.
- Madene, A. J. (2006). Flavour encapsulation and controlled release – a review. International Journal of Food Science and Technology 4(1): 1 – 21. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/53137380/Flavour-encapsulation-and-controlled-release>.
- Marchema Chanduví, Ruben, Rodríguez Miranda, Giancarlo. (2011). Estudio comparativo de la deshidratación del camu camu mediante atomización y liofilización utilizando agentes encapsulantes en la retención de la vitamina C. Universidad Nacional del Santa – Nuevo Chimbote.
- Masters, K. (2002). Spray Drying in practice. Charlottendlund, Denmark: Ed. Spray Dry Consult International ApS. Recuperado de: <file:///D:/Downloads/Spray%201.pdf>.
- Ministerio de producción, trabajo y turismo de la provincia de corrientes. (2008). La guía para exportar desde Corrientes. Sector Frutas Finas: Arándanos. Argentina. Recuperado de:

http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/proyectograduacion/archivos/91.pdf.

- Mujumdar, A. (-3. (1995). Handbook of industrial drying. New York. p.p. 263-309: Ed. Marcel Dekker. Recuperado de: http://www.arunmujumdar.com/file/Publications/books/ME5202_2011_Mujumdar.pdf.
- Murúa, B. C. (2009). Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying. Journal of Food Engineering 91(3): 380– 386. Recuperado de: <file:///D:/Downloads/2.pdf>.
- Naidu, K.A. (2003). Vitamin C in human health and disease is still a mystery?. Nutr J. 2003; 2:7.
- Ofek, I., Goldhar, J., Zafriri, D., Lis, H., Adar, R. & Sharon, N. (1991). AntiEscherichia coli adhesin activity of cranberry and blueberry juices. New England Journal of Medicine, 324, 1599.
- Olsson, M. E., Gustavsson, K. E., Andersson, S., Nilsson, Å. & Duan, R. D. (2004). Inhibition of cancer cell proliferation in vitro by fruit and berry extracts and correlations with antioxidant levels. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 7264-7271.
- Paul de Vos, Marijke M. Faas, Milica Spasojevic, Jan Sikkema (2010). Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. Pag. 20: 292 – 302. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694609002167>.
- Reque, P., Steffens, R., Jablonski, A., Flôres, S., Rios, A. & Jong, E. (2014). Cold storage of blueberry (Vaccinium spp.) fruits and juice: anthocyanin stability and antioxidant activity. J. Food Composit. Anal. Res. 33:111-116. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/259516820_Cold_storage_of_blueberry_Vaccinium_spp_fruits_and_juice_Anthocyanin_stability_and_antioxidant_activity.

- Reineccius, (1991). Carbohydrates for flavor encapsulante. Food Technology, 1991, vol.45, n°3, p.144-149.
- Sáenz, C. S. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). Food Chemistry 114(2): 616–622. Recuperado de: <http://hyd.hbstl.org.cn/uploadfiles/EHWIO4GQ1300244502005.pdf>.
- Santos, P. & Silva, M. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables. Drying Technology, 26:1421-1437. Recuperado de: <http://ucanr.edu/datastoreFiles/608-216.pdf>.
- Sapers, G., Burguer, A., Phillips, J. & Jones, S. (1987). Color and composition of highbush blueberry cultivars. Journal of American Society for Horticultural Science. 109 (1): 105-111.
- Seeram, N. P. (2008). Berry fruits for cancer prevention: current status and future prospects. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(3), 630e635.
- Thies, C. (1996). A survey of Microencapsulation processes. New York: Microencapsulation. (Ed. por S. Benita), pp.1-20. Marcel Dekker.
- Vilstrup, P. (2004). Microencapsulation of Food Ingredients. . Surrey, UK: Ed. Leatherhead International Limited.
- Wu, X., J. Kang, C. Xie, R. Burris, M.E. Ferguson, T.M. Badger, S. Nagarajan (2010). Dietary blueberries attenuate atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice by upregulating antioxidant enzyme expression, J. Nutr. 140. 1628–1632.
- Yañez, J. J. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. Revista Avance y Perspectiva 21: 313-319.
- Yi, W., Fischer, J., Krewer, G., & Akoh, C. C. (2006). Phenolic compounds from blueberries can inhibit colon cancer cell proliferation and induce apoptosis. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(18), 7320e7329.