



**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**Escuela Académico Profesional De Ingeniería Agroindustrial
Y Comercio Exterior**

TESIS

**MICROENCAPSULACIÓN Y SU EFECTO EN LA
RETENCIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE
DE LA MASHUA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*)
SECADA POR ATOMIZACIÓN- LAMBAYEQUE
2014.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO
EXTERIOR**

AUTORES:

Bach. Saavedra Baca, Josabeth Del Carmen

Bach. Távara Guerrero Cynthia Paola

ASESOR

Mg. Lourdes Jossefyne Esquivel Paredes

Pimentel, Enero 2017

La Microencapsulación y su efecto en la retención de la capacidad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) secada por atomización y liofilización

Aprobación del proyecto

Saavedra Baca Josabeth del Carmen
Autor

Távora Guerrero Cynthia Paola
Autor

Mg. Lourdes Jossefyne Esquivel Paredes
Asesor Metodológico

Mg. Lourdes Jossefyne Esquivel Paredes
Asesor Especialista

Mg. Mechato Anastasio Augusto Antonio
Presidente de Jurado

Mg. Castillo Martínez William Esteward
Secretario de Jurado

Mg. Lourdes Jossefyne Esquivel Paredes
Vocal de Jurado

DEDICATORIA

Esta investigación es dedicada a mis padres quienes me han apoyado para poder llegar hasta esta instancia de mis estudios y a mi esposo Jhoel por brindarme su comprensión, amor y aliento para continuar en este camino.

Josabeth Saavedra

A mis padres por todo el esfuerzo y sacrificio para brindarme todo el amor, la comprensión, el apoyo incondicional y la confianza cada momento de mi vida y sobre todo en mis estudios.

Cynthia Távara

AGRADECIMIENTO

A dios por derramar sus bendiciones y llenarme de su fuerza para vencer todos los obstáculos desde el principio de mi vida.

Cynthia Távora

A Dios, quien me guía por el camino del bien, me da la fuerza para seguir adelante y no desmayar ante los obstáculos que se me presentan, enseñándome a encarar las adversidades y nunca desfallecer en el intento.

Josabeth Saavedra

Mg. Lourdes Esquivel Paredes por si apoyo total, paciencia y su amistad desde los inicios de este proyecto.

Josabeth y Cynthia

INDICE

Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
INTRODUCCION.....	x
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. Situación Problemática.....	12
1.2. Formulación del Problema.....	13
1.3. Delimitación de la Investigación	13
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación.....	14
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	16
1.6. Objetivos de la Investigación.....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de Estudios:.....	17
2.2. Estado del arte	21
2.3. Bases teórico científicas	23
2.3.1. La mashua.....	23
2.3.2. Los agentes encapsulantes y la microencapsulación	28
2.3.3. La actividad antioxidante	35
2.3.4.2. Factores que afectan las propiedades de los productos secados por atomización:.....	42
2.3.6. Definición de términos básicos	52
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	54
3.1. Tipo y diseño de la investigación	54
3.1.1. Tipo de investigación:.....	54
3.1.2. Diseño de la investigación:.....	55
3.2. Población y muestra.....	55
3.2.1. Población:	55
3.2.2. Muestra:	55
3.2.3. Unidad experimental:	56
3.3. Hipótesis.....	56
3.4. Variables – Operacionalización:.....	56

3.4.1.	Atomizado del extracto de mashua	56
3.4.2.	Operacionalización:	57
3.5.	Métodos y técnicas de la investigación:	57
3.5.1.	Materia prima:.....	57
3.5.2.	Reactivos e insumos:.....	57
3.5.3.	Materiales complementarios:.....	57
3.5.4.	Equipos e instrumentos:	58
3.5.5.	Proceso para el acondicionamiento de la materia prima y atomizado del extracto de mashua:	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Características químicas de la mashua variedad amarilla.....	74
Tabla 4.2 Características físicas de la mashua fresca variedad amarilla (5).....	75
Tabla 4.3 Clasificación botánica de la Mashua variedad amarilla (6).....	75
Tabla 4.4 Matriz experimental decodificada de los tratamientos para la atomización de zumo de mashua concentrada.(7)	89

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 4.3 Obtención del zumo concentrado (5).....	75
Figura 4.4 Concentración de zumo de mashua (6).....	77
Figura 4.5 Obtención de zumo de mashua concentrada atomizada y liofilizada (7).....	79
Figura 4.6 Acondicionamiento de los tratamientos (zumo concentrado de mashua-encapsulantes) (8).....	80
Figura 4.7 Atomización de mashua (9).....	82
Figura 4.8 Liofilización de mashua (10).....	83
Figura 4.9 Muestras liofilizadas enumeradas según tratamiento experimental (11).....	87
Figura 4.10 Determinación de la capacidad antioxidante de la mashua (12).....	88
Figura 4.11 Liofilización del zumo mashua (13).....	89

Resumen

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), es un tubérculo andino peruano que posee bondades importantes para el cuerpo humano, atribuibles a ello, se hace notar la presencia de antioxidantes, cuya sustancia tiene por función principal retardar o prevenir la acción de los agentes oxidantes, haciendo que la oxidación pueda ser iniciada principalmente por la presencia de los radicales libres (agente oxidante, los cuales se generan cuando la molécula pierde un electrón). No obstante a la caracterización de la mashua por su capacidad antioxidante, es de precisar que las condiciones en el proceso productivo hacen muchas veces que se generen pérdidas en su capacidad antioxidante hidrofílica natural; esto debido a su baja resistencia contra el oxígeno, catálisis ion de metal, temperaturas altas, luz, secado y grado higrométrico. Por tanto, se debe buscar parámetros óptimos de secado para minimizar la pérdida de estos compuestos bioactivos. Es por ello que el objetivo del trabajo fue determinar en qué medida el empleo de microencapsulantes tuvo un efecto en la retención de la capacidad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) secada por atomización y liofilización. Se trabajó con mashua oriunda de la ciudad de Huancayo, de la cual se determinó en base humedad, las características químicas de la misma, obteniéndose: la cantidad de cenizas 0.59%, el 0.56% de fibra, un alto contenido de humedad de 88.76%, azúcares reductores equivalente a 33.635 mg y un contenido de capacidad antioxidante de 474.858 µg Eq. Trolox /g. Lo cual debido a la presencia de almidones en el zumo de mashua, y sometido a altas temperaturas en el proceso de secado, se formó la gelatinización de azúcares; lo cual dificultó la retención de la capacidad antioxidante.

Palabras claves: Mashua, Capacidad Antioxidante, Oxidación, Trolox.

Abstract

The mashua (*Tropaeolum tuberosum*), is a Peruvian Andean tuber that possesses essential for the human body, attributable to it, it is noted the presence of antioxidants whose substance has the main function to delay or prevent the action of oxidizing agents, Oxidation can be initiated mainly by the presence of free radicals (oxidizing agent, which are generated when the molecule loses an electron). In spite of the characterization of the mashua by its antioxidant capacity, it is necessary to point out that the conditions in the productive process often cause losses in its natural hydrophilic antioxidant capacity; This is due to its low resistance against oxygen, metal catalysis, high temperatures, light, drying and hygrometric degree. Therefore, optimum drying parameters should be sought to minimize the loss of these bioactive compounds. It is for this reason that the objective of the work was determined to what extent the use of microencapsulants had an effect on the retention of the antioxidant capacity of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) spray dried and lyophilization. It was worked with the caterpillar of the city of Huancayo, from which the chemical characteristics of the Huancayo base were determined, obtaining: the amount of ash 0.59%, the 0.56% of fiber, a high moisture content of 88.76% , Reducing sugars equivalent to 33,635 mg and an antioxidant capacity content of 474.858 μg Eq. Trolox / g. Due to the presence of starches in the mashua juice, and subjected to high temperatures in the drying process, the gelatinization of sugars was formed; This impedes the retention of antioxidant capacity.

Key words: Mashua, Antioxidant Capacity, Oxidation, Trolox.

INTRODUCCION

En la actualidad se ha incrementado la preocupación de las personas por encontrar productos naturales con beneficios para la salud, unas de las sustancias fitoquímicas benéficas encontradas en los alimentos son los antioxidantes los cuales tienen un gran beneficio para la salud ya que disminuyen el estrés oxidativo neutralizando los radicales libres, estos antioxidantes poseen una gran variedad de compuestos, los más representativos son los polifenoles compuestos que poseen varios anillos fenólicos, dentro de estos compuestos se encuentran los taninos, flavonoides y carotenoides, los primeros se asocian principalmente al vino de uva, los segundos a frutos de color llamativo como las fresas, cerezas, zarzamoras, entre otras y los terceros a tubérculos como la mashua.

A los compuestos antioxidantes se les atribuyen muchos beneficios como su actividad anticancerígena, antiinflamatoria neuroprotectora, etc., con esto nos podemos dar cuenta que los seres humanos contamos con una riqueza inigualable en nuestros alimentos naturales y que muchas veces no es aprovechada ni valorada.

Hoy en día gracias a los estudios nutricionales se ha determinado cuáles son los nutrientes esenciales y las cantidades que de cada uno de ellos se necesitan para cubrir necesidades nutritivas (aunque sometidas a continuos procesos de revisión) y escapar así del riesgo de padecer enfermedades carenciales; esto se puede llevar a cabo haciendo uso de procesos tecnológicos que permitan su mejor aprovechamiento en beneficio al ser humano.

Por otro lado la microencapsulación es una técnica de obtención que crea 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.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se llevó acabo el presente trabajo de investigación aplicando la microencapsulación como técnica esencial en el método de secado por atomización y liofilización para posteriormente analizar la capacidad antioxidante de la mashua; la cual desempeña un papel muy importante en el contexto de un desarrollo sustentable.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación Problemática

En la actualidad es preciso notar el creciente interés por el consumo de alimentos que además de nutrir tengan un impacto favorable en la salud (es decir que tenga la capacidad de actuar más directamente frente a las enfermedades degenerativas); esta característica es cumplida especialmente por la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), tubérculo que ocupa el cuarto lugar dentro de los cultivos andinos que se siembran en la superficie actual de la serranía peruana de alto rendimiento (70 toneladas por hectárea); sin embargo se cultiva solo en pequeñas parcelas del ande peruano, por campesinos que conocen de forma empírica las bondades de este tubérculo.

Las bondades de este tubérculo, son atribuibles a la presencia de la capacidad antioxidante, cuya sustancia tiene por función principal retardar o prevenir la acción de los agentes oxidantes (McDonald-W. et al. 2006), siendo que la oxidación puede ser iniciada principalmente por la presencia de los radicales libres (agente oxidante, los cuales se generan cuando molécula pierde un electrón); si bien éstos bajo un número limitado y controlado producen un resultado benéfico para el sistema inmunológico del organismo, sin embargo cuando este número aumenta y se inestabiliza producen resultados negativos al destruir o dañar las moléculas (Cox, S. 2001), como alteraciones del aparato circulatorio y otras enfermedades graves como el cáncer, el SIDA y el envejecimiento precoz (**MONINA, 2014**).

Las enfermedades degenerativas presentan en la actualidad una grave amenaza para la existencia de la raza humana; de acuerdo con la OMS (**Organización Mundial de Salud, 2013**) el acontecimiento de ciertas enfermedades en el mundo es alarmante; enfermedades tales como las

cardiacas, infartos, el cáncer, enfermedades respiratorias y la diabetes, son responsables de 63% de las muertes en el mundo. De acuerdo con el **INEI (2013)** “Se registran hasta 45 mil nuevos casos de cáncer al año”.

Frente a esta situación es preciso afirmar que se puede adoptar medidas preventivas desde la alimentación en base a la ingesta de alimentos como los tubérculos, en este caso la mashua, los cuales presentan propiedades nutritivas, demostrados ampliamente por estudios realizados por la **Organización Mundial de la Salud, el Centro de Control y Prevención de Enfermedades y la Sociedad Americana de Cáncer (2010)**, quienes alientan a la población a comer cinco porciones al día de frutas, debido a sus componentes anticancerígenos.

No obstante a la caracterización de la mashua por su capacidad antioxidante, es de precisar que las condiciones en el proceso productivo hacen muchas veces que se generen pérdidas en su capacidad antioxidante hidrofílica natural; esto debido a su baja resistencia contra el oxígeno, catálisis ion de metal, temperaturas altas, luz, secado y grado higrométrico. Por tanto, se debe buscar parámetros óptimos de secado para minimizar la pérdida de estos compuestos bioactivos. **(Cuya, 2009)**

Frente a la problemática antes precisada es que surge la necesidad de realizar la presente investigación para tesis, la que consistirá en demostrar el efecto significativo de la microencapsulación en base al método de secado por atomización y liofilización.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto de la microencapsulación en la retención de la capacidad de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) secada por atomización y liofilización?

1.3. Delimitación de la Investigación

El proyecto fue ejecutado en el área de Desarrollo Tecnológico de la

“Universidad Nacional del Santa”, los análisis fisicoquímicos y organolépticos fueron realizados en los Laboratorios de: Universidad Nacional del Santa, ubicada en la Av. Pacífico 508, departamento de Ancash- Nuevo Chimbote.

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

El énfasis en el consumo de los tubérculos oriundos de los Andes, como la Mashua, es uno de los criterios que justifica a la presente investigación, dado que estos previenen enfermedades renales y hepáticas debido a que funcionan como antibióticos naturales frente a estas dolencias. Además son fuente importante de proteínas, carbohidratos, vitamina c y aportan más fibra que la papa.

Al iniciarse el nuevo milenio, una nueva era en el área de las ciencias de los alimentos y de la nutrición se ha hecho presente cada vez con mayor intensidad: la tendencia por el consumo de productos que contengan antioxidantes, que acepta el papel de los componentes alimenticios, como nutrientes esenciales para el mantenimiento de la vida y de la salud.

Por otro lado los efectos del procesamiento de los alimentos son frecuentemente el resultado de diferentes eventos los cuales tiene lugar consecutivo o simultáneamente. Siendo uno de ellos los cambios importantes de sus propiedades, tales como sabor, color, degradación de vitaminas, componentes activos y textura.

Inicialmente considerados la idea de la microencapsulación que en la actualidad se aplica para preservar y/o proteger una amplia variedad de alimentos como: agentes saborizantes, enzimas, ácidos, bases, agentes fermentadores, antioxidantes, colorantes, entre otros **(Gibbs et al., 1999)**. Lo cual conllevaría a mantener los beneficios de los alimentos para la

salud.

Las bondades de este tubérculo, son atribuibles a la presencia de la capacidad antioxidante, su esencial importancia radica en que bloquean los radicales libres, los cuales si bien bajo un número limitado controlado de estos resultado benéficos para el sistema inmunológico del organismo, sin embargo cuando este número aumenta y se inestabiliza producen resultados negativos, como alteraciones del aparato circulatorio y otras enfermedades graves como el cáncer, el SIDA y el envejecimiento precoz.

Frente a este problema es que sale a relucir la importancia de la tecnología de secado de alimentos, las cuales son ampliamente conocidas; sin embargo es objeto de estudio de la presente investigación frente a la problemática precisada el método de secado por atomización, el cual es un proceso de deshidratación, pero se considera también de encapsulación ya que puede producir partículas que atrapan el material a cubrir, por definición, corresponde a la transformación de un fluido en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado en caliente. En cuanto a la liofilización, es el proceso de deshidratación por aire caliente, que permite una reducción inicial de la humedad, presentando al final del proceso una estructura porosa, sin muestras de encogimiento y una buena capacidad de rehidratación. Por todo ello, se considera un método de conservación atractivo. Sin embargo la importancia del secado radica en que al reducir el contenido de humedad, previene el crecimiento de microorganismos y minimiza las demás reacciones que los deterioran, así mismo los alimentos secos se pueden almacenar a temperaturas ambiente por largos periodos de tiempo; además este método reduce el peso y en algunos casos el volumen; lo que incluye en una reducción importante de los costos de empaque, almacenamiento y transporte.

1.5. Limitaciones de la Investigación

- Existen pocos laboratorios certificados para realizar los procesos de secado por atomización, liofilización y análisis de capacidad antioxidante.
- Ciertos reactivos que se utilizaron son de venta fiscalizada y otros son importados por ello su entrega requiere de meses de espera.

1.6. Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Determinar en qué medida el empleo de microencapsulantes tiene un efecto en la retención de la capacidad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) secada por atomización y liofilización.

Objetivos Específicos

Determinar la dosis de microencapsulantes que permite la retención de la capacidad antioxidante de la mashua atomizada.

Determinar el tipo de microencapsulantes que permite la mayor retención de la capacidad antioxidante de la mashua atomizada.

Determinar la temperatura que permita la mayor retención de la capacidad antioxidante de la mashua atomizada.

Determinar la dosis de microencapsulantes que permite la retención de la capacidad antioxidante de la mashua liofilizada.

Determinar el tipo de microencapsulantes que permite la mayor retención de la capacidad antioxidante de la mashua liofilizada.

Determinar la temperatura optima que permita la mayor retención de la capacidad antioxidante de la mashua liofilizada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios:

Artículo científico: Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios.

Autor y año: Muñoz, Ramos, Ortiz y Castañeda, 2007.

Fuente: Revista de la Sociedad Química del Perú, 3(73), p. 142-149.

Resumen:

La investigación evaluó la capacidad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos en la parte comestible de aguaymanto, carambola, tomate de árbol, yacón, tumbo costeño, tumbo serrano, noni, camu -camu y guinda, siendo la capacidad antioxidante determinada por dos métodos: usando ABTS encontrando valores de 0,01 a 27,66 mg TE/100g de muestra y aplicando el método DPPH usando coeficiente de inhibición IC 50 obteniendo valores de 3,45 a 7057,99 mg/mL, siendo el camu -camu de mayor ARP con 289,29 mg/mL. El contenido de compuestos fenólicos totales usando el método Folin- Ciocalteu encontraron valores entre 2,16 y 2393,72 mg GAE/100g de materia fresca. La concentración de flavonoides y ácidos fenólicos libres fue determinada por HPLC-RP, siendo los más altos valores de clorogénico y ácido ferúlico 81,47 y 188,72 mg/kg de peso fresco, respectivamente. Los valores máximos de los otros compuestos fenólicos lo presentaron el noni con 42,63 mg/kg de cafeico, 60,23 mg/kg de rutina, el camu-camu con 0,55 mg/kg de morina, el tumbo serrano con 0,05 mg/kg de kaenferol. La capacidad antioxidante obtenida por los métodos de DPPH y ABTS está correlacionada con el contenido de compuestos fenólicos totales.

Tesis: Secado por Atomización de zumo de granada.

Autor y año: Miravet (2009).

Fuente: Escuela técnica superior de ingeniería industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena, con la finalidad de optar al grado de Master en Ingeniería Ambiental y Procesos Químicos y Biotecnológicos; realizada en Cartagena, Colombia.

Resumen:

Para llevar a cabo la microencapsulación fueron necesarios reactivos como, maltodextrina, nutrioso, beneo p95 y principalmente reactivos de la materia prima, como el zumo concentrado clarificado de granada, polvo comercial de zumo de granada; así mismo se utilizó la técnica de cromatografía líquida de alta resolución; para la determinación de los fenoles totales, se han utilizado reactivos como, el precisado por Folin-Ciocalteu (marca Merck -Germany) y el ácido gálico con una pureza mayor a 98%; la actividad antioxidante del zumo y del polvo de granada se ha determinado usando reactivos como, ABTS, Peroxidasa, Trolox, H₂O. Entre las principales conclusiones a las que se arribó se tiene que: a) Las partículas encapsuladas son esferas huecas con un diámetro en torno a las 10 micras. La observación del tamaño de las partículas concuerda con los resultados obtenidos por medidas de tamaño de partículas por dispersión de la luz, en las que el tamaño de partícula más abundante corresponde a unas 9 o 10 micras; así mismo un alto caudal de alimentación (1.08 L/h), provoca un aumento del tamaño de partícula, este aumento es debido a la mayor velocidad de alimentación, que da lugar a la entrada de más cantidad de producto; en las muestras de nutriosa se compararon microencapsulados con distinta proporción encapsulante/zumo (0.75, 1.0, 1.25 y 1.5), observándose una mayor higroscopicidad de estos polvos, y que ésta disminuye al aumentar la proporción de nutriosa y b) Según el análisis de la higroscopicidad de las muestras, las muestras en las que se utiliza como encapsulante nutriosa se tiene una mayor higroscopicidad que las muestras en las que se

utiliza maltodextrina como encapsulante. Además, no se observan diferencias de higroscopicidad con el mismo encapsulante a diferente temperatura. Estos resultados indican que el producto en polvo obtenido tiene que ser conservado en condiciones de humedad controlada.

Tesis: Obtención y caracterización de inulina entrecruzada como agente encapsulante de α -tocoferol

Autor y año: Vega (2011).

Fuente: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química de la Universidad de Chile, con la finalidad de optar al título de Químico Farmacéutico; realizada en Santiago, Chile.

Resumen:

El objetivo de la tesis fue, estudiar el efecto del entrecruzamiento químico de la inulina (dos grados: InE1e InE2) como agente encapsulante sobre el porcentaje de encapsulación y evaluar el comportamiento de liberación de AT desde las microcápsulas obtenidas bajo condiciones óptimas en solventes modelos hidrofóbico (n-hexano) e hidrofílica (agua-tween 80), utilizando inulina nativa (InN) como control; las microcápsulas fueron elaboradas mediante secado por atomización, utilizando un secador mini spray-dryer Büchi modelo B-290; el análisis estadístico se realizó en base a un diseño estadístico central compuesto 2^2 más estrella, considerando como variables independientes: la razón AT/agente encapsulante (1:10 – 1:30) y la temperatura del aire de entrada al secador (160-200 °C) y como variable dependiente el porcentaje de encapsulación de AT; se desarrollaron 10 experimentos para cada sistema estudiado (AT-InN, AT-InE1y AT-InE2); y se utilizó la metodología de superficie respuesta para optimizar la variable dependiente. Del estudio se concluyó que: a) El porcentaje de encapsulación de AT aumentó significativamente ($p < 0,05$) con el aumento del grado de entrecruzamiento de la inulina, mejorando la interacción AT-polímero; y b) Se demostró la factibilidad de encapsular

AT, por la técnica de secado por atomización, utilizando tanto inulina nativa como entrecruzada. Estas micropartículas permitirían la funcionalización de alimentos hidrofóbicos (grasas y aceites) e hidrofílicos (sopas, yogurt, jugos, etc).

Artículo científico: Microencapsulación de saborizantes mediante secado por atomización.

Autor y año: Bringas y Pino (2012).

Fuente: Instituto de Investigación Para La Industria Alimentaria, realizada en la ciudad de La Habana, Cuba.

Resumen:

Muchos de los saborizantes en la industria alimentaria son usados en estado sólido. Los soportes son las matrices comunes utilizadas para atrapar los compuestos volátiles mediante diferentes procesos. Este trabajo revisa las tecnologías más empleadas y hace énfasis en la microencapsulación mediante secado por atomización por ser el principal proceso empleado en la producción de saborizantes microencapsulados. Los principales parámetros que afectan la retención de los compuestos volátiles durante la microencapsulación de saborizantes mediante secado por atomización son: contenido de sólidos del material de alimentación (emulsión), peso molecular y presión de vapor de los compuestos volátiles, tipo de soporte (polímeros naturales o sintéticos) usado, concentración de saborizante, viscosidad del material de alimentación, proceso de atomización, velocidad del aire de secado y mezclado, temperaturas de entrada y salida del aire, humedad relativa del aire de entrada, tamaño del glóbulo de la emulsión y de la gota atomizada, así como la temperatura de entrada de la emulsión. Este proceso tiene asegurado su dominación al incluir la disponibilidad equipamiento, bajo costo del proceso, amplia opción de soportes, buena retención de los compuestos volátiles, así como buena estabilidad en el producto seco. En

conclusión, el secado por atomización ha sido y continua siendo el principal método para producir saborizantes microencapsulados. Si se tiene cuidado en la adecuada selección de condiciones de operación del secador, se obtendrá un producto de alta calidad a un costo relativamente bajo.

Artículo científico: Cinética de deshidratación por liofilización de maíz para la elaboración de botanas.

Autor y año: Márquez y Vergara (2009).

Fuente: Universidad de las Américas Puebla, realizada en la ciudad de Cholula, Puebla, México.

Resumen:

Se determinaron las cinéticas de deshidratación por liofilización de granos de maíz salado y acidificado, para la obtención de botanas. Previamente se determinaron las concentraciones necesarias de aditivos para obtener el sabor deseado, estableciéndose un tiempo de cocción. Se establecieron diferentes temperaturas y distintos tiempos. La humedad final del producto liofilizado fue menor al 10 %.

2.2. Estado del arte

Tesis: “Efecto de secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* R & P)”

Autor y año: Cuya (2009)

Fuente: Escuela de post grado de la Universidad Nacional Agraria La Molina, realizada en Lima, Perú y presentada a la, con la finalidad de optar al grado de Magíster Scientiae.

Resumen:

Entre las metodologías utilizadas para los diversos parámetros son identificables, el método 2,2, Difenil-1-Picril Hidracilo (DPPH), método adaptado de Brand et al. (1995); para la determinación de la isoterma de

desorción se siguió la metodología utilizada por Gionovanelli (2001) y Bell and Labuza (2000), consiste en tomar una masa conocida de muestra (fresca), la que se deja equilibrar con la atmósfera producida por una disolución saturada de sal de humedad relativa conocida dentro de un recipiente herméticamente cerrado; para determinar la curva de secado y velocidad de secado se utilizó la metodología propuesta por Geankoplis (1998), consiste en un experimento de secado por lotes, generalmente se expresan como peso total W del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos t horas en el periodo de secado. De la investigación se concluyó que: a) En el proceso de secado en bandeja, de las rodajas de mashua, se demostró que existe dos periodos de secado (constante y decreciente), para las tres temperaturas de secado; b) La mayor retención de actividad antioxidante hidrofílica de la mashua, mediante el secado en bandeja, se obtuvo con la temperatura de 40°C; c) En el secado por atomización la mayor retención de actividad antioxidante hidrofílica de la mashua se obtuvo cuando se realizó esta operación a 160°C, 30 000 rpm (velocidad del rodete del atomizador) y cuando se utilizó un 10% de encapsulante; y d) Entre los métodos usados para el secado de la mashua. El método de secado por atomización resultó con mayor retención de actividad antioxidante hidrofílica en contraste con el método de secado en bandeja que se obtuvo la menor retención.

Artículo científico: Microencapsulación de saborizantes mediante secado por atomización.

Autor y año: Bringas y Pino (2012).

Fuente: Instituto de Investigación Para La Industria Alimentaria, realizada en la ciudad de La Habana, Cuba.

Resumen:

Muchos de los saborizantes en la industria alimentaria son usados en estado sólido. Los soportes son las matrices comunes utilizadas para

atrapar los compuestos volátiles mediante diferentes procesos. Este trabajo revisa las tecnologías más empleadas y hace énfasis en la microencapsulación mediante secado por atomización por ser el principal proceso empleado en la producción de saborizantes microencapsulados. Los principales parámetros que afectan la retención de los compuestos volátiles durante la microencapsulación de saborizantes mediante secado por atomización son: contenido de sólidos del material de alimentación (emulsión), peso molecular y presión de vapor de los compuestos volátiles, tipo de soporte (polímeros naturales o sintéticos) usado, concentración de saborizante, viscosidad del material de alimentación, proceso de atomización, velocidad del aire de secado y mezclado, temperaturas de entrada y salida del aire, humedad relativa del aire de entrada, tamaño del glóbulo de la emulsión y de la gota atomizada, así como la temperatura de entrada de la emulsión. Este proceso tiene asegurado su dominación al incluir la disponibilidad equipamiento, bajo costo del proceso, amplia opción de soportes, buena retención de los compuestos volátiles, así como buena estabilidad en el producto seco. En conclusión, el secado por atomización ha sido y continúa siendo el principal método para producir saborizantes microencapsulados. Si se tiene cuidado en la adecuada selección de condiciones de operación del secador, se obtendrá un producto de alta calidad a un costo relativamente bajo.

2.3. Bases teórico científicas

2.3.1. La mashua

- a. Definición:** La mashua (***Tropaeolum tuberosum*** (Radón & Pavón), es uno de los tubérculos más importantes después de la papa, olluco y oca; se cultiva en los valles húmedos de la zona andina de Perú, Colombia, Argentina, Ecuador y Bolivia (**Nacional Research Council, 1989**). Según **Meza et al. (1997)**

mencionan que la planta hereditaria es de la Meseta Peruano-Boliviano. Pero ahora puede encontrarse en lugares tan lejanos como Canadá, Europa y Nueva Zelanda (**Nacional Reserach Council, 1989**). Entre los tubérculos andinos, la mashua es de mayor rendimiento, se encuentra entre 9 y 70 TM/ha (**Caicedo, 1999**). Crece en alturas de 3000 a 4000 msnm, pero la planta produce sus mejores cosechas y alto rendimiento entre 3500 y 3800 msnm (**Hernández y León, 1992**). Según **Tineo (1993)** menciona que los rendimientos de la mashua supera a la papa de dos por uno y crece en suelos pobres y sin fertilizantes.

b. Valor nutritivo

La mashua contiene una cantidad elevada de aminoácidos esenciales como lisina, aminoácido limitante en muchos cereales y leguminosas (**Espinoza et al., 2002**).

La mashua cuyo nombre botánico es *Tropaeolum tuberosum* Radón & Pavón, presenta la composición química que se indica en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1
Composición química de la mashua (g/100g)

Componentes	Base húmeda			Base seca	
	(1) Rango	(2) Promedio	(3) Promedio	(4) Promedio	(5) Promedio
Humedad (%)	79,10 - 8,8	87,4	86,00	78,3 - 92,4	
Carbohidratos (g)		9,8	11,00		78,6
Proteína (g)	1,13 - 2,65	1,5	1,6	6,9 - 15,7	11,4
Grasa (g)		0,7	0,6	0,1 - 1,4	4,3
Cenizas (g)	0,56 - 1,08	0,6	0,8	4,2 - 6,5	5,7
Fibra (g)		0,9	0,8	7,8 - 8,6	
Azúcares (g)	5,37 - 9,33				
Potasio (mg)	1,28 - 1,76				
Fósforo (mg)	0,61 - 0,83	29,00	42,00		300
Calcio (mg)		12,00	7,00		50
Hierro (mg)		1,00	1,2		8,6
Vitamina A (mg)			15,00		214
Tiamina (mg)		0,10	0,06		0,46
Riboflavina (mg)		0,12	0,08		0,57
Niacina (mg)		0,67	0,6		4,3
Vitamina C (mg)		77,5	67,00		476

Fuentes: (1) Tapia (1984); (2) Collazos et al. (1993); (3) Meza et al. (1997) (4) King (1986), citado por Ramallo (1999) y (5) National Reserch Council (1989)

c. Capacidad antioxidante: La capacidad antioxidante hidrofílica de los tubérculos de mashua, se encuentra en un rango de 955 a 9800 μg Eq. Trolox /g, expresado en base húmeda (bh) y determinado por el método ABTS. Los genotipos ARB-5241, DP-02-24 y ARV- 5366 muestran alto contenido de capacidad antioxidante hidrofílica con valores de 9 800, 9 309 y 7 867 μg Eq. Trolox /g (bh) por ABTS, respectivamente. Los resultados indican que el genotipo de mashua ARB-5241 es comparado con arándano (cultivar premier de capacidad antioxidante hidrofílica con un valor de 9 575 μg Eq. Trolox /g (bh) por ABTS), que es considerado una de las frutas con alto contenido de capacidad antioxidante (**Campos et al., 2006 y Ríos, 2004**).

Los genotipos que presentaron valores altos son: ACH con 2 453,73 μg Eq. Trolox /g (bh) determinado con

DPPH y 4 798,51 μg Eq. Trolox /g (bh) determinado por ABTS; DP-0224 con 2 156,59 μg Eq. Trolox /g (bh) determinado por DPPH y 4 006,63 μg Eq. Trolox /g (bh) determinado por ABTS y MP-033 presento 1 637,50 μg Eq. Trolox /g (bh) hallado con DPPH y 3 389,3 μg Eq. Trolox /g (bh) obtenido con ABTS, todos de coloración morada. Para todos los casos la capacidad antioxidante cuantificada por el método del ABTS resultaron ser mayores que con el DPPH, llegando a ser hasta un 72% mayor **(Temoche et al., 2004)**.

La capacidad antioxidante hidrofílica de la mashua, está relacionada con el contenido de antocianinas totales y contenido de compuestos fenólicos totales. La baja correlación de antocianinas totales con capacidad antioxidante hidrofílica ($r = 0,48$, $p = 0,11$); y la alta correlación entre contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante hidrofílica ($r = 0,84$; $p = 0,00$), la mayoría son probablemente debido a la presencia de diferentes compuestos fenólicos en los tubérculos de mashua **(Campos et al., 2006)**.

Entre los cultivares de color púrpura, ARB-5241 fue el único que presentó una alta correlación entre antocianinas y capacidad antioxidante ($r = 0,89$, $p < 0,01$). Los cultivares de color púrpura DP-02-24 y AGM-5109, presentaron una relación pobre, indicando que, otros compuestos fenólicos pueden predominar, el efecto antioxidante. Una significativa correlación fue observada entre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales, para los cultivares DP-0224, ARB-5241, AGM-5109, M6COL2C, DP-0215 Y

DP-0203 ($0,691 < r < 0,911$, $p < 0,01$). Estas diferencias en el coeficiente de correlación, sugiere una importante diferencia entre los cultivares que podrían ser relacionado para diferentes perfiles de antioxidante y compuestos fenólicos. **(Chirinos et al., 2007)**.

Ríos (2004) menciona que, el genotipo ARB-5241 presentó una alta capacidad antioxidante hidrofílica, a pesar de no reportar un alto contenido en antocianinas, pero si mayor contenido en fenólicos totales. Sin embargo, los genotipos DP-0215 y MCOL2C los cuales presentaron un bajo contenido de compuestos fenólicos en comparación al genotipo AGM-5109 de coloración morada, presentaron una capacidad antioxidante hidrofílica similar.

Chirinos et al. (2007) mencionan que la baja y/o correlación negativa de otros cultivares pueden indicar diferencias, en los promedios y perfiles de compuestos fenólicos y/o la presencia de otros compuestos bioactivos, que puede contribuir a la capacidad antioxidante incluyendo ácido ascórbico y glucosinolatos.

Moyer et al. (2002) citado por **Ríos (2004)** menciona que, al evaluar 32 genotipos de grosellas (Ribes) observaron una baja relación, entre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante hidrofílica, lo que se debería al alto contenido de ácido ascórbico que presenta esta fruta, lo cual contribuye a la capacidad antioxidante más no al contenido de compuestos fenólicos.

Navas et al. (1993); Collazos et al. (1993) y Meza et al.

(1997) mencionan que, la mashua presenta un contenido inusual de ácido ascórbico, de aproximadamente 75; 77,5 y 67mg/ 100g respectivamente. Expresado en base húmeda.

2.3.2. Los agentes encapsulantes y la microencapsulación

a. Los agentes encapsulantes

Definición: Son sustancias capaces de formar estructuras alrededor de los compuestos bioactivos (núcleo), llamadas paredes, que protejan al núcleo contra el deterioro y liberación bajo condiciones deseadas. **(Parra, 2011)**

Tipos

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)**

Carbohidratos: son extensivamente empleados en la encapsulación, se utiliza la técnica de secado por aspersion para ingredientes alimenticios como soporte de encapsulamiento, dentro de este amplio grupo se

encuentran los almidones, maltodextrinas y gomas **(Madene, Scher y Desobry, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009)**.

Almidón: almidones basados en ingredientes (almidones modificados, maltodextrinas, β -ciclodextrinas) son muy utilizados en la industria alimenticia **(Madene, Scher y Desobry, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009)**; dentro de los almidones más importantes se destacan el de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*), tapioca (*Manihot esculenta*) **(Yañez, 2002; Fuchs, 2006; Lokuwan, 2007)** e inulina. **(Sáenz, 2009)**

El almidón nativo y modificado de tapioca, y maltodextrinas ha sido investigado por su habilidad de ser utilizado como material de pared para la encapsulación de β -caroteno. Tiene amplia distribución de tamaño, comparado con el almidón nativo y maltodextrinas. **(Lokuwan, 2007)**

Maltodextrinas: se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrinas es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original **(García et al., 2004)**, está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la

industria de alimentos **(Madene, Scher y Desobry, 2006; Sáenz, 2009)**.

Gomas: son generalmente insípidas, pero pueden tener un efecto 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, Scher y Desobry, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009)**. Como ejemplos se tienen goma de algarrobo, guar, goma de tamarindo, goma gelana y xantana **(Morkhade y Joshi, 2007)**; una aplicabilidad ha sido en inmovilización de células bacterianas, para lo cual se han utilizado alginatos y carragenina **(McMaster, Kokott y Mazutti, 2005)**. La goma arábica, un polímero natural biodegradable ha sido utilizado como una matriz para encapsular enzimas como la endogluconasa producida por la bacteria *Thermomonospora*. La endogluconasa mostró un cambio en la temperatura óptima (50-55 °C) y un incremento considerable en el pH y estabilidad comparado con la enzima libre, además también protegió la actividad de la enzima en presencia de detergentes realizando la vida útil. Mezclas de goma arábica y maltodextrinas también han mostrado promesa como transportadores de sólidos, proporcionando viscosidad por ejemplo en la microencapsulación de aceite de cardamomo por secado por aspersión **(Bertolini, Siani y Grosso, 2001; McMaster, Kokott y Mazutti, 2005; Madene, Scher y Desobry, 2006)**.

Proteínas: alimentos hidrocoloides son ampliamente utilizados como microencapsulantes, por ejemplo: proteínas alimenticias como caseinato de sodio, proteína de lactosuero, aislados de proteína de soya (**Madene, Scher y Desobry, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009**), ceras (**Fuchs, 2006**), gluten, grenetina (**Yañez, 2002**), caseína, soya, trigo (**Sáenz, 2009**) y gelatina (**Kwak, Ihm y Ahn, 2001**), este último utilizado por sus buenas propiedades de emulsificación, formación de películas, solubilidad de agua y biodegradabilidad. (**Favaro et al., 2010**)

Antioxidantes: vitaminas liposolubles (por ejemplo, vitamina A, D, E, K y carotenos) y vitaminas hidrosolubles como vitamina C pueden ser encapsuladas utilizando varias tecnologías. Para la encapsulación de vitamina C, la aspersion por enfriamiento, por congelamiento o recubrimiento de lecho frío, pueden ser utilizada, para posteriormente ser añadida a alimentos sólidos, como barras de cereales, galletas o pan (**Schrooyen, Meer y Kruif, 2001**).

La vitamina E o tocoferol muestra buena estabilidad en la ausencia de oxígeno; en contraste, la velocidad de degradación de esta vitamina se incrementa en presencia de oxígeno molecular y puede ser especialmente rápida cuando radicales libres están presentes, para evitar esta degradación se puede encapsular el tocoferol protegiéndolo contra la pérdida por la oxidación durante almacenamiento a 35 °C por un periodo menor de 3 meses utilizando una matriz hidrofílica para obtener partículas hidrosolubles. Una vez

encapsulado, la adición de α -tocoferol (100 ppm) retrasa la oxidación de aceite de pescado encapsulado en caseinato de sodio con carbohidratos (25-50% p/p de aceite) (**Shantha, Weerakkody y Augustin, 2009**); sin embargo, medidas adicionales (empaquetamiento, atmósferas neutras) son recomendadas (**Fuchs, 2006**). Aparte del encapsulamiento de aceites, el tocoferol basado en microcápsulas de alginatos de sodio, ha sido utilizado como material natural, resistente contra el fluido gástrico simulado (**Li et al., 2009**).

Se han elaborado microencapsulados a partir de un gran número de frutas y verduras, por ejemplo: jugos de vegetales como tomate, pepino, zanahoria, lechuga, remolacha, espinaca, apio y perejil (**García et al., 2004**).

Sustancias volátiles como aceites de naranja, aldehídos cinámicos, etil buturato, etilpropionato, entre otras pueden ser encapsuladas utilizando goma arábica y maltodextrinas. Este procedimiento puede limitar la degradación de los compuestos mencionados, por pérdidas durante el procesamiento y almacenamiento. (**Krasaekoopt, Bhandari y Deeth, 2003; Madene, Scher y Desobry, 2006**)

El quitosano: Estudios recientes aluden la importancia del quitosano como material encapsulante; según **Lopretti et al. (2007)**, tanto el peso molecular, como el grado de desacetilación (representando la porción de unidades desacetiladas) son características que hacen del quitosano un excelente material encapsulante, las cuales son determinadas por las condiciones de

reacción mediante el proceso de preparación de éste.

En particular el peso molecular del quitosano (50-2000 KDa) influye notablemente sobre el tamaño, potencial zeta, morfología y comportamiento de liberación de controlada de compuestos bioactivos de las microcapsulas, así como en la eficiencia de encapsulación, cuando este compuesto es usado, como material encapsulante. **(Desai y Park, 2006)**

Como resultado de sus características el quitosano muestra un alto potencial para la conservación efectiva de diversos compuestos bioactivos, además de una liberación selectiva de estos compuestos. **(Ivanovska et al., 2012)**

La adición de sales en una mezcla con quitosano, incrementa la solubilidad de los microgránulos, además de modificar las propiedades de las partículas. Específicamente la adición de acetato incrementa el contenido de humedad y disminuye la densidad en los gránulos de quitosano-acetato respecto a los elaborados con una mezcla de quitosano y ascorbato. El empleo de agentes entrecruzadores (por ejemplo tripolifosfato) a la solución del biopolímero con sales, hace posible la modificación de la estructura de las micropartículas. **(Adamiee y Modrzejewska, 2005)**

b. La microencapsulación

Definición: La microencapsulación puede ser considerada como una forma especial de empacaren la

que un material en particular puede ser cubierto de manera individual para protegerlo de factores que puedan causar deterioro, tales como: oxígeno, humedad o luz. En un sentido amplio, la microencapsulación provee un medio de envasar, separar y almacenar materiales en escala microscópica, esto protege al material sensible, extendiendo su vida en anaquel **(Re, 1998 citado por Pedroza, 2002)**.

La microencapsulación hoy en día se aplica para preservar y/o proteger una amplia variedad de alimentos como: agentes saborizantes, enzimas, ácidos, bases, preservantes, agentes fermentadores, antioxidantes, colorantes, entre otros **(Gibbs et al., 1999)**. El material que es cubierto se refiere como fase interna y el material que recubre es llamado pared y generalmente no reacciona con el material a encapsular **(Balassa & Brody, 1968 citado por Pedroza, 2002)**.

Las microcápsulas presentan una amplia variedad de estructuras, algunas son de geometría esférica con una fase interna continua rodeada por una pared también continua (estructura de partícula simple), mientras que otras pueden tener una geometría irregular y pueden tener la fase interna distribuida en una matriz de material de pared múltiple (estructuras agregadas) **(Gibbs et al., 1999)**.

El microencapsulamiento involucra la incorporación de varios ingredientes dentro de una capsula de aproximadamente 5 a 300 micras de diámetro **(Lee, 1996 citado por Gibbs et al., 1999)**.

El encapsulamiento: Para preparar las microcápsulas hay numerosas técnicas, y se ha sugerido que podrían identificarse más de 200 métodos en la literatura de patentes (**Magdassi & Vinetsky, 1996; Brazel, 1999** citado por **Pedroza, 2002**). No obstante algunos autores clasifican a los métodos de encapsulación en, físicos o mecánicos y químicos. Como métodos químicos pueden citarse: Coacervación compleja, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica y atrapamiento en liposomas. (**Gibbs et al., 1999**)

Entre los métodos físicos se encuentran; el secado por atomización y la encapsulación por lecho fluidizado, como los más comunes. (**Gibbs et al., 1999**)

2.3.3. La actividad antioxidante

Durante los últimos años, existe un interés sostenido y creciente en el uso de los antioxidantes para el tratamiento de enfermedades y la importancia del rol de los antioxidantes de la dieta en la prevención del desarrollo de algunas patologías (**Cañas y Buschiazzo, 2000**). La patogénesis de muchas enfermedades crónicas es el involucramiento del estrés oxidativo y antioxidante. (**Frei, 1999**)

Las Especies Oxigénicas Reactivas (ROS), son Radicales Libres (RL), es decir especies moleculares activas, dotadas de un electrón desapareado en un nivel energético superior y por tanto dotadas de propiedades paramagnéticas, lo que les confiere una alta e indiscriminada reactividad. (**González et al., 2001**)

Los radicales libres son compuestos altamente tóxicos, que en condiciones normales se generan en los sistemas biológicos, como productos finales del proceso de la respiración celular. **(Desmachelier, 1997)**

La producción del radical libre ocurre continuamente dentro de las células, como una función normal de las células. Sin embargo, el exceso de producción del radical libre que se origina de las fuentes endógenas o exógenas, generan un estado denominado estrés oxidativa **(Young y Woodside, 2001; Wang et al., 1996)**. Durante este proceso se producen daños químicos (oxidación) de moléculas estructurales, entre ellos lípidos, proteínas, glúcidos, ácidos nucleicos, etcétera, y con ello originan muchas enfermedades. **(Sánchez et al., 2002 y Wang et al., 1996)**

Ante el estrés oxidativa, el organismo responde con la defensa antioxidante, pero en determinadas ocasiones puede ser insuficiente, desencadenando diferentes procesos fisiológicos y fisiopatológicos. En la actualidad son muchos los procesos relacionados con la producción de radicales libres como son: mutagénesis, cáncer, arteriosclerosis, infarto de miocardio, diabetes, enfermedades inflamatorias, trastornos del sistema nervioso central, envejecimiento, enfermedades crónicas, enfermedad de la arteria coronaria, obesidad, cataratas varios desórdenes neurodegenerativos, Alzheimer, etc. **(Wen-Chi et al., 2001; Frei, 1999; Lee y Shibamoto, 2002; Gonzáles et al., 2001)**.

No cabe duda que todos los sistemas biológicos en ambientes oxigenados han desarrollado mecanismos de defensa, tanto a nivel fisiológico como bioquímico. Entre ellos destacan, a nivel bioquímico, la defensa antioxidante que puede ser enzimático o no enzimático, así como sistemas reparadores de moléculas. **(González et al., 2001)**

Los antioxidantes, son pequeñas moléculas que se encuentran presentes dentro y fuera de la célula (Frei, 1999). Los antioxidantes enzimáticos son: superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPx) y DT-diaforasa; los antioxidantes no enzimáticos son: vitamina E, vitamina C, β -caroteno, ferritina, ceruloplasmina, selenio, glutatión reducido (GSH), manganeso, ubiquinona, zinc, ácido úrico, flavonoides, polifenoles, isoflavones, catequinas, etc. **(González et al., 2001; Frei, 1999; Cañas y Buschiazzo, 2000).**

En el organismo, se produce un equilibrio entre oxidantes / antioxidantes, cuando este equilibrio se rompe a favor de los oxidantes, se produce un estrés oxidativo el cual está implicado en muchos procesos fisiopatológicos (enfermedades, envejecimiento celular, etc.). Por tanto, es de vital importancia el consumo de alimentos que contengan antioxidantes para mantener el equilibrio entre oxidantes y antioxidantes **(González et al., 2001).**

Los antioxidantes previenen el daño del tejido, inducido por radicales libres, previniendo la formación de radicales, secuestrándole, o previniendo su

descomposición y protegiendo contra el daño oxidativo **(Young y Woodside, 2001; Lee y Shibamoto, 2002)**.

En respuesta a estos daños, han desarrollado una compleja defensa antioxidante, y los antioxidantes dietarios comprenden una gran parte de esta defensa. Esto sugiere, que la ingesta elevada de nutrientes antioxidantes de fuentes dietéticas ofrecen ventajas para la salud **(Cañas y Buschiazzo, 2000)**.

Hay muchos resultados epidemiológicos que revelan una asociación entre las persona que tienen una dieta rica en frutas y hortalizas, hay una disminución en el riesgo de contraer estas enfermedades **(Wen-Chi et al., 2001)**. Pero no indican que frutas y hortalizas que debemos ingerir. Por consiguiente, es necesario identificar, la biodisponibilidad relativa, absorción y bioactividad de las frutas y hortalizas más benéficas **(Halvorsen et al., 2002)**. Además, no hay un antioxidante universal; diferentes compuestos actúan en diferentes líneas de defensa contra las Species Oxigénicas Reactivas (ROS).

Estos pueden basarse en su modo de acción como antioxidantes y/o su localización dentro de la célula. Muchos antioxidantes se saben que operan sinérgicamente para proporcionar una barrera efectiva contra la oxidación. **(Young y Lowe, 2001; Young y Woodside, 2001)**

Altas concentraciones de vitamina C pueden prevenir mutaciones inducidas por la oxidación en células

humanas (Lutsenko et al., 2002). Vitamina C realmente secuestra al oxígeno reactivo y especies de nitrógeno y por eso puede prevenir el daño oxidativa de macromoléculas como ADN, lípidos y proteínas. **(Carr y Frei, 1999)**

Fennema (2000) menciona que, debido a su estructura química, los compuestos fenólicos resultan ser eficaces donadores de electrones o átomos de hidrógeno, atribuyéndole a esta conformación estructural el alto potencial antioxidante.

La efectividad de los carotenoides como antioxidante depende de su interacción con otros co-antioxidantes, especialmente las vitaminas E y C. Sin embargo, los carotenoides pueden perder su efectividad como antioxidantes a altas concentraciones o altas presiones parciales de oxígeno. **(Young y Lowe, 2001; Paolini et al., 2001)**

Los antioxidantes de las frutas y verduras protegen contra las enfermedades relacionadas con el estrés oxidante, los resultados de los ensayos de investigación con compuestos únicos como las vitaminas E y C o β -caroteno no ha apoyado este efecto de protección **(Carr y Frei, 1999; Frei, 1999; Paolini et al., 2001)**. La razón de estos ensayos clínicos ineficientes sería que los efectos protectores de frutas y hortalizas provienen de la acción de compuestos antioxidantes menos conocidos o de una acción conjunta de antioxidantes de los alimentos. **(Shi et al., 2001)**

En el caso de los alimentos debe tenerse en cuenta que la actividad antioxidante es dependiente de una multitud de factores, incluidas las propiedades coloidales de los substratos, las condiciones y etapas de oxidación, así como la posible localización de los antioxidantes y substratos en las distintas fases presentes en el alimento. **(Gonzales, 2001)**

También deberíamos esperar una acción conjunta de los numerosos antioxidantes presentes en la dieta, desde las estructuras físicas excesivamente complejas que conforma un individuo. **(Halvorsen et al., 2002)**

Shi et al. (2001) indican que, es necesaria una variedad de antioxidantes para mantener el nivel adecuado de redox en un sistema biológico no-homogéneo, lo que sería similar a las coordinadas reacciones redox que ocurren durante la cadena respiratoria en la mitocondria.

Prior y Cao (2000) realizaron estudios, y cuantificaron, detalladamente en las plantas dietarios una cantidad bien conocida, de antioxidantes como el β -caroteno, α -tocoferol, y vitamina C. Sin embargo, los datos actuales sugieren que solo conocemos una parte relativamente pequeña de antioxidantes de muchos alimentos.

Halvorsen et al. (2002) mencionan que, sería mucho más sencillo probar los efectos protectores de uno o una cantidad limitada de antioxidantes, quizás nunca encontremos una asociación si son bioactivos o trabajan sinérgicamente numerosos y quizás cientos de

antioxidantes dietarios, como los carotenoides, ácidos polifenólicos, sulfuros, flavonoides, Lignanos, etc. Así, la cantidad total que donan electrones (es decir, reductores) en la dieta proveniente de las combinaciones de antioxidantes individuales que ocurrirían en los alimentos, sería un mejor concepto que los antioxidantes dietarios individuales.

Pocorny y Schmidt (2001) mencionan que, existe una desventaja de los antioxidantes naturales por su baja resistencia contra el oxígeno, particularmente bajo la exposición a la luz, temperaturas altas y secado. Los cambios de antioxidantes continúan durante el almacenamiento de los alimentos.

2.3.4. El secado por atomización

2.3.4.1. Aspectos generales: Este método es ampliamente utilizado para encapsular ingredientes alimenticios y es el más económico (**Risch, 1995; Re, 1998 citado por Pedroza, 2002**). Este proceso es en sí, uno de deshidratación, pero se considera también de encapsulación ya que puede producir partículas que atrapan el material a cubrir. Por definición, corresponde a la transformación de un fluido en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado en caliente (**Pedroza, 2002**).

El proceso consiste de la preparación de la emulsión o suspensión del material a encapsular en una solución de encapsulante, la atomización y la deshidratación de las partículas atomizadas. La adecuada selección del

atomizador y el agente encapsulante, son factores críticos. Una de las grandes ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que es apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (5 a 30 s). **(Gibbs et al., 1999; Deasy, 1983 citado por Pedroza, 2002)**

Zilberboim et al. (1986) citado por **Gibbs et al. (1999)** mencionan que la técnica de encapsulamiento es un método común para trabajar con productos termosensibles, permite convertir materiales líquido en sólidos o en formas pulverulentas más prácticas, protege el material activo y extiende la vida en anaquel.

2.3.4.2. Factores que afectan las propiedades de los productos secados por atomización:

Características inherentes del material de alimentación: Bangs y Reineccious (1981) encontraron evidencias que las características de los sólidos son más importantes que el contenido de sólidos. La propia naturaleza del material influye en la calidad del producto final obtenido.

Christensen (1970) menciona que los productos secados por atomización, con bajo porcentaje de sólidos solubles tienen dificultades para secar, recolecta en pequeñas cantidades de muestra, la muestra recolectada en el secador es viscosa e higroscópica y difícil de manipular.

Los productos más difíciles de secar por atomización, son aquellos en que los sólidos totales contienen poco soporte celulósico o amiláceo y contienen azúcares o componentes que producen sólidos higroscópicos. **(Casp y Abril; 1999)**

La extrema higroscopicidad combinada con la naturaleza termoplástica de tales productos da origen a problemas de deposición en las paredes y obstaculiza el manipuleo subsiguiente de los productos. Las dos formas más fructíferas de aproximación hacia la solución de estos problemas parece ser el uso de aditivos como coadyuvantes de secado **(Brennan et al., 1971)**

Concentración del material: Durante el proceso de secado cada pequeña gota será transformada en una partícula de polvo y cuanto más alta sea la concentración de sólidos, más grande será la cantidad de polvo en comparación con la cantidad de agua evaporada. Consecuentemente será una ventaja secar atomización a los líquidos con alto contenido de sólidos. **(Domina 1985 citado por Finney et al., 2002)**

El aumento en el contenido de sólidos puede llevar al material a un incremento en la viscosidad. La viscosidad es otra característica de los materiales que son secadas por atomización, que influyen, en el producto final. Es conocido que viscosidades incrementadas producen partículas grandes y huecas, que resultan con una densidad aparente baja **(Seltzer y Settlemyer, 1949; Marshall, 1954 citado por Bangs y Reineccius, 1981)**

Los sólidos de alimentación, son considerablemente importantes determinan la retención de sabor. **(Finney et al., 2002)**

La explicación a esta coincidencia puede darse de la misma forma que al aumentar el contenido de sólidos, es decir mientras más alta es la temperatura de secado y/o más alta la concentración de sólidos de la carga, más corto es el periodo de secado constante **(Real, 1965 citado por Bangs y Reineccious, 1981)**

Rosenberg et al. (1985) citado por **Sarmiento (2003)** observaron en capsulas de dextrosa equivalente (DE) 20, que la superficie de las partículas tenían poros, grietas y abolladuras profundas, por lo que al encapsular un material volátil o un ingrediente oxido-sensitivo se obtendrá un producto pobre. Por otro lado **Main (1978)** citado por **Sarmiento (2003)** observó que las microcápsulas formadas con goma arábica y maltodextrinas presentaban superficies externas con algunas abolladuras, pero libres de poros y grietas.

La temperatura: En lo que respecta a la temperatura de alimentación; **Tavella (1972)** menciona que la viscosidad es reducida con el incremento de la temperatura, y con ello las gotas producidas en secado por atomización son menores.

En lo que respecta a la temperatura de ingreso y salida del aire del secador; la retención del sabor está influenciada por la entrada y salida de la temperatura de aire. En general, una entrada bastante alta de la

temperatura de aire permitir formación rápida de una membrana del semipermeable en la superficie de la gota pero aún no es tan alto para causar daño por calor al producto seco **(Thijssen 1972; Rulkens y Thijssen 1972 citado por Finney et al., 2002)**. Las gotas son secadas, a la temperatura de bulbo húmedo.

Por esta razón el aire de secado a muy altas temperaturas puede ser tolerado en un secador, con un mínimo dado a los componentes sensibles al calor. **(Goula y Adamopoulos, 2005)**

(Thijssen 1972) menciona que el grado de hueco o vacío de la partícula será incrementado con incremento de la temperatura. Un incremento en la temperatura de ingreso eleva la capacidad evaporativa del secador a niveles constantes de aire, promoviendo la formación de partículas ligeramente más grandes, que secado a temperaturas bajas, debido a que el secado rápido promueve el endurecimiento de la capa exterior de la partícula y un subsiguiente atrapamiento de la humedad residual, causando expansión y los productos secan a una estructura más porosa, y con ello promueven una reducción en la densidad aparente **(Verhey 1972 a,b citado por Finney et al., 2002)**

Finney et al. (2002) observaron en microfotografías que, las muestras obtenidas con temperatura (170°C) de entrada baja, presentaron partículas con ondulaciones y afiladas en la superficie de la partícula seca. En contraste con la superficie muy lisa observada para muestras obtenidas a una temperatura (220°C) de

entrada alta. Por otro lado, las partículas obtenidas a temperatura de entrada alta presentaron el área de la superficie pequeña, que la temperatura de la entrada baja. El tipo de atomización no parecía causar mucha diferencia en la forma entre las muestras.

Las partículas pequeñas son normalmente más densas que las partículas grandes. El polvo más denso es más compacto tiene la permeabilidad bajo al oxígeno y, por consiguiente, una vida en anaquel más larga. Sin embargo, no sólo es la densidad que está involucrado, sino también el tamaño de las partículas, geometría, y porosidad que influyen en la permeabilidad de la matriz al oxígeno y finalmente en la vida en anaquel del producto. **(Buffo y Reineccius 2000 citado por Finney et al., 2002)**

Rulkens y Thijssen (1972) citado por **Finney et al., (2002)** mencionan que la retención del sabor está influenciada por la entrada y salida de la temperatura del aire. En general, una entrada bastante alta de la temperatura de aire permitir formación rápida de una membrana semipermeable en la superficie de la gota. Pero aún no es tan alto para causar daño por calor al producto seco.

Reineccius (2001) citado por **Finney (2002)** mencionan que la porosidad de la partícula al oxígeno es el factor mayor que determina vida en anaquel de polvos deshidratados por atomización. Finney et al., (2002) observaron una reducción sustancial en la retención del sabor, con una entrada elevada

temperatura de aire, y mencionan que las características físico químicas, la estabilidad y vida en anaquel, del producto final, dependen principalmente de la porosidad de partículas secas.

La influencia de las temperaturas del aire de entrada y salida ha recibido mucha atención por varios investigadores. **(Rosenberg, 1990)**

Es recomendable que la temperatura del aire de entrada sea alta para permitir rápida formación de una membrana semipermeable alrededor de la gota al secarse, pero no puede ser tan alta que cause daño térmico al producto seco. **(Shiga, 2004)**

Las temperaturas del aire controlan el contenido de humedad del producto en polvo. En la medida que se incrementa la temperatura del aire de entrada y disminuya la diferencia de temperatura del aire en el secador disminuirá la humedad en el producto. Esto es debido a la humedad relativa del aire de salida en el secador. Al incrementar la temperatura de aire tomará una mayor humedad y por consiguiente el producto quedará con menos humedad. **(Reineccius, 2006)**

Se han informado temperaturas del aire de entrada entre 160 y 210°C con altas retenciones de volátiles durante el secado por atomización. Temperaturas de entrada superiores a 210°C causan disminución de la retención de volátiles. Sin embargo, otros autores han microencapsulado productos entre 280 y 350°C. Parece ser que la humedad del aire en el secador es un resultado de combinaciones de las temperaturas de

entrada y salida, siendo este factor gobernante más que las simples temperaturas. **(Reineccius, 2004)**

La influencia de la temperatura del aire de salida con relación a la retención de volátiles no ha sido bien estudiada. Si esta es inferior a 60°C, el producto se obtiene con mayor humedad, además de que el proceso se hace más largo y por tanto, el tiempo de permanencia del producto en el secador es mayor. Se ha demostrado que la retención de volátiles poco hidrosolubles, tales como el diacetilo, se incrementa con el aumento de la temperatura del aire de salida, posiblemente debido a que temperaturas de salida más altas (a valores fijos de temperatura de entrada del aire) causan una menor humedad del aire dentro del secador. Una baja humedad resulta en un secado más rápido y por tanto, en una mayor retención de volátiles. **(Reineccius, 2006)**

La influencia de las temperaturas de aire de secado parece ser menos importante cuando se encapsulan saborizantes poco volátiles, tales como el aceite de naranja a altas concentraciones (aproximadamente 20% en base sólidos), que con el diacetilo a bajas concentraciones (del orden de mg/kg). De acuerdo a Reineccius (2006), el incremento en la retención de volátiles.

La mayoría de los estudios reportados sobre el efecto de las temperaturas de entrada y salida se han basado en combinaciones puntuales de estas sin considerar su interacción. **(Rosenberg, 1990)**

Las técnicas de superficie de respuestas son una metodología estadística que permiten determinar, experimentalmente, aquellos niveles de los factores en investigación que producen una respuesta óptima bajo la consideración de los factores principales (temperaturas del aire) y sus interacciones. **(Bringas-Lantigua, 2011)** evaluaron con esta metodología el efecto de las temperaturas del aire de entrada (160 a 200°C) y de salida (80 a 100°C) en la microencapsulación del aceite esencial de mandarina. La optimización indicó que 200°C como temperatura del aire de entrada y 80°C como temperatura del aire de salida fueron las mejores para lograr máximos en la velocidad de evaporación, retención de aceite volátil y eficiencia de microencapsulación.

2.3.5. El secado por liofilización

2.3.5.1. Aspectos generales: El proceso de liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos que permite prolongar el tiempo de vida útil conservando las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con la calidad. Consiste en la eliminación del agua de un producto por sublimación del agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones remanentes de agua no congelable **(Abdelwahed, 2006, citado por Ayala, 2010)**. La sublimación ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo se encuentran por debajo del punto triple del agua. La liofilización se considera uno de los mejores métodos de conservación

de las propiedades organolépticas y nutricionales de productos biológicos. Los productos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, bajos cambios de volumen y de forma, alta capacidad de rehidratación, aumento en su porosidad y por presentar un estado vítreo. La porosidad influye fuertemente en la capacidad de rehidratación de los vegetales deshidratados; a mayor porosidad mayor capacidad de rehidratación. La capacidad de rehidratación se puede considerar como una medida del daño estructural o celular ocurrido durante el secado o la deshidratación del alimento. En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado **(Alaya, 2010)**.

La congelación debe ser muy rápida con el objeto de obtener un producto con cristales de hielo pequeños y en un estado amorfo. La etapa de secado se realiza a presiones bajas para permitir la sublimación del hielo. La sublimación sólo puede conseguirse si la temperatura y la presión parcial de vapor del agua (hielo) son inferiores a las del punto triple del agua.

Etapas: Se realiza a temperaturas inferiores a la de solidificación total, o sea, el producto debe estar congelado a temperaturas entre 10 y 15 °C por debajo de su temperatura auténtica para evitar la formación de coágulos de H₂O. **(Grajales, 2005, citado por Parzanese, 2012)**.

- Congelación inicial: Es una operación previa y obligatoria. El tiempo de duración depende de varios factores como la cantidad, concentración y naturaleza propia del producto. En líneas generales podemos decir

que una congelación adecuada es la base de que el producto liofilizado presente óptimas condiciones de aspectos, conservación de sus propiedades originales y rápida rehidratación.

- Sublimación o desecación primaria: Es la etapa en la que la mayor parte del agua libre pasa a vapor. Los parámetros temperatura, presión y tiempo pueden ser modificados independientemente pero están íntimamente relacionados, no es posible modificar, sin que se afecten los otros **(Marani, 1997)**, por lo que en todo momento deben ser considerados conjuntamente y analizados sus efectos.
- Desorción o desecación secundaria: Su misión es eliminar las últimas trazas de vapor de agua, evaporando el agua no congelada ligada al producto. Se lleva a cabo a una temperatura inferior a la de desnaturalización del producto y se logra una humedad final hasta valores inferiores al 1 %. **(Parzanese, 2012)**

2.3.5.2. Factores que afectan las propiedades de los productos secados por liofilización:

Aspectos Tecnológicos: el secado por liofilización tiene dos características principales:

- La ausencia de aire y la temperatura baja, previene el deterioro debido a la oxidación química del producto.
- Los productos que se descomponen o que padecen cambios en estructura, texturas, apariencia o sabor como consecuencia de la alta temperatura en el secado convencional, pueden ser secados bajo vacío con un mínimo daño. **(Barboza, 1996, citado por Orrego, 2013)**

La presión: su incremento aumenta la transferencia de calor a expensas de una mayor resistencia a la transferencia de masa.

La temperatura: es importante la temperatura de las placas calefactoras que afecta la velocidad de la transferencia de calor de la superficie del material o de la muestra. **(Falade, 2008)**

2.3.6. Definición de términos básicos

Antioxidante: Son sustancias existentes en determinados alimentos que actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades.

Agente encapsulante: Materiales capaces de formar una cubierta alrededor de una enzima o bacteria.

Encapsulación: La encapsulación o microencapsulación se define como el revestimiento de líquidos, sólidos o gases con una capa delgada protectora o pared de algún material, la cual inhibe la volatilización del compuesto en cuestión protegiéndolo del deterioro químico.

Higroscopicidad: Es la característica de algunas sustancias de absorber la humedad siempre presente en la atmósfera, conservándola en su interior en forma de agua.

Radical libre: Son átomos o grupos de átomos que, en su composición, cuentan con un electrón que no está aparejado y

que se encuentra en capacidad de aparearse, por lo que son altamente reactivos e inestables.

Secado por atomización: Es el proceso de pulverizar una solución o suspensión en una corriente de aire caliente que los deshidrata en forma casi instantánea.

Secado por liofilización: Es un proceso de secado que se basa en sublimar el hielo de un producto congelado. El agua del producto pasa, por tanto, directamente de estado sólido a vapor sin pasar por el estado líquido, para lo cual se debe trabajar por debajo del punto triple del agua, 0.01°C y 4.5 mmHg.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación:

Según el fin que se persigue: Se clasifica como *Investigación aplicada*, al respecto Tamayo (1999), sostiene que el nivel de investigación es aplicada porque busca la utilización de los conocimientos que se adquieren, encontrándose estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última. De igual forma en la presente investigación se busca aplicar las bases teóricas respecto de la microencapsulación en base al secado por atomización y liofilización para aumentar la retención de la capacidad antioxidante de la mashua y que en todo caso permita contribuir con la solución del problema de la mayoría de alimentos debido a su baja resistencia contra el oxígeno.

Según el nivel, o profundidad de la investigación: Se clasifica como *Investigación explicativa*, en concordancia con Hernández, Fernández Y Baptista (2003), la definen como una investigación que “Pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian” (p. 124). Esto es concordante dado que se tiene por objetivo establecer las causales del aumento o disminución de la retención de la capacidad antioxidante de la mashua, en base al control experimental de los factores que intervienen en el proceso de microencapsulación en base al secado por atomización y liofilización, factores tales como la temperatura y la humedad.

3.1.2. Diseño de la investigación:

El diseño utilizado para la presente investigación es el experimental de estímulo creciente, es decir se sometió a varios estímulos crecientes de temperatura a la mashua, frente a la mashua fresca, la cual conformó el grupo testigo (puesto que no fue sometida a tratamiento alguno de secado); los resultados de retención de la capacidad antioxidante fueron comparados con la muestra testigo, (la mashua fresca, sin tratamiento).

De otro lado se diseñó un diseño experimental comparativo, al hacer constante la temperatura y dado que la dosis del encapsulante será la misma para los diversos agentes encapsulantes, se dispuso de un escenario pertinente para determinar el agente que pudiera producir un efecto significativo en la retención de la capacidad antioxidante.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población:

La población de estudio estará definida por la mashua amarilla (*Tropaeolum tuberosum*) procedente de Huancayo -Departamento de Junín, de la cual se obtendrá muestras frescas y se conformará muestras secas, las cuales serán sometidas a diversos estímulos de temperatura y de actividad biológica de microencapsulación, según tipo de encapsulante.

3.2.2. Muestra:

En el atomizado: 20 kg de mashua de la variedad Zapallo año.

En el liofilizado: 15 kg de mashua de la variedad Zapallo año.

3.2.3. Unidad experimental:

En el atomizado: 150 ml de zumo de mashua concentrado.

En el liofilizado: 100 ml de zumo de mashua concentrado.

3.3. Hipótesis

H_i: El empleo del 50% de quitosano como agente microencapsulante permitirá la retención de hasta el 70% de capacidad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) atomizada y liofilizada.

H₀: El empleo del 50% de quitosano como agente microencapsulante no permitirá la retención de hasta el 70% de capacidad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) atomizada y liofilizada.

3.4. Variables – Operacionalización:

3.4.1. Atomizado del extracto de mashua

Variable independiente:

Dosis de encapsulante

Tipo de encapsulante

Temperatura del aire

Variable dependiente:

Capacidad antioxidante.

3.4.2. Operacionalización:

Tabla 3.1

Operacionalización de variables

Operación	Variables	Dimensión	Rangos	Instrumento	
Atomizado y Liofilizado	A: Temperatura de aire en la atomización	°C	160°C y 180°C	Termómetro	
	Independiente	Tipo de agentes encapsulante	Actividad biológica	Almidón de Maíz Quitosano Goma arábica	Balanza
		Dosis de agente encapsulante	%	0-50	Balanza
	Dependiente	Capacidad antioxidante	%	955 - 9800 µg Eq. Trolox /g	Curva de calibración Espectrofotómetro

Fuente: Elaboración propia

3.5. Métodos y técnicas de la investigación:

3.5.1. Materia prima:

Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

3.5.2. Reactivos e insumos:

Encapsulante (almidón de maíz, quitosano y goma arábica)

Metanol

2,2 difenil- 1- Picrilhidracil

Agua destilada

Trolox

Papel filtro rápido

Papel filtro N° 04

3.5.3. Materiales complementarios:

Vasos de precipitado. 250 ml, 100ml

Probetas 10ml, 50ml, 500ml, 1000ml

Pipetas 0,5ml, 1ml, 5ml, 10ml

Micropipetas 100ul-1000ul ,1000ul-5000ul

Fiolas 10ml, 50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1000ml

Espátulas

Pinzas

3.5.4. Equipos e instrumentos:

SprayDryner, IC40D, code 991650.

Espectrofotómetro UV, Marca Jasco, V-670.

Lector multimodal de microplacas BioTek, 42550BB

Liofilizador Labconco™ Stoppering Tray Dryers for FreeZone™

Balanza analítica. Typ U3600, Sartorius.

Balanza de precisión. Practrum 2101- 1S, Sartorius

Estufa eléctrica, mod. U9600.

Refractómetro ABC

Licuo extractor, 3168-051, Oster

Centrifuga Sigma 2-16PK, Sartorius

Agitador

Rotavapor Heidolph Spray Dryner, IC40D, CODE 991650.

3.5.5. Proceso para el acondicionamiento de la materia prima y atomizado del extracto de mashua:

A) Obtención del extracto de mashua

1. Selección y clasificación:

Tuvo como objetivo separar la mashua con signos de deterioro, libre de golpes y magulladuras, arrugas, cicatrices, rajaduras y manchas verdes.

2. Pesado:

Se realizó en una balanza de precisión modelo Practrum 2101- 1S, Sartorius.

3. Lavado y desinfección:

A fin de retirar cualquier tipo de materia extraña adherida a

la superficie de la raíz con la ayuda de una escobilla. Se empleó agua potable fría en aspersion, para luego sumergir en una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm por 10 minutos a fin de reducir la carga microbiana.

4. Pelado:

Se procedió a retirar una delgada capa de cáscara de la mashua de manera de trabajar sólo con la pulpa del tubérculo.

5. Cortado y lavado:

Debido a su forma geométrica (cilíndrica) la mashua fue cortada por la mitad, con la ayuda de cuchillos de acero inoxidable, seguido de un ligero lavado con agua potable.

6. Licuo-extracción:

Llevada a cabo en un extractor de frutas, marca Oster modelo 3168-051, con la finalidad de obtener el extracto de la mashua.

7. Filtración:

Para la eliminación de partículas en suspensión y facilitar el secado por atomización, se realizó en una malla de N° 70(250µm).

8. Sedimentación:

Para separar las partículas sólidas dispersas en el zumo de mashua, por acción de la gravedad, durante dos horas bajo condiciones de refrigeración.

9. Centrifugado:

En una centrífuga Sigma, modelo 2-16PK, SARTORIUS;

para promover la precipitación de las partículas más finas aun presentes en el zumo de mashua; observándose la formación de dos fases claramente distintas (almidón-liquido) formadas en los tubos de ensayo durante la centrifugación.

10. Concentración

Con la finalidad de aumentar la concentración de sólidos solubles del zumo de mashua, se concentró en un rotavapor HEIDOLPH, hasta llegar a los 21°Brix, las condiciones de trabajo fueron temperatura 60°C, presión de trabajo 60 mmHg, bomba de vacío 250 mBar, con una rotación de 50 rpm.

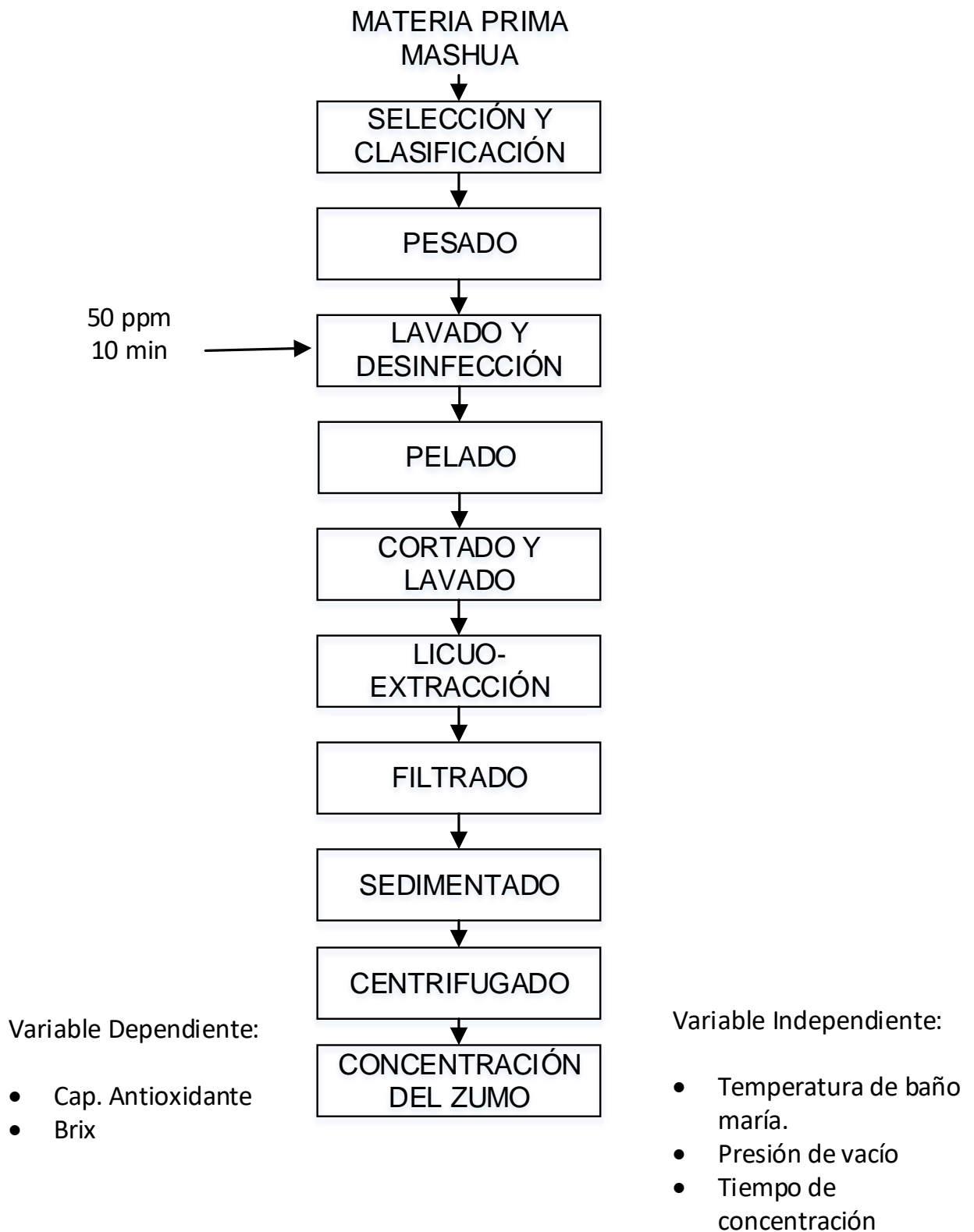


Figura 3.1
 Diagrama de flujo de la obtención de zumo de mashua
 Fuente: Elaboración propia

B) Obtención experimental del zumo de mashua atomizado y liofilizado:

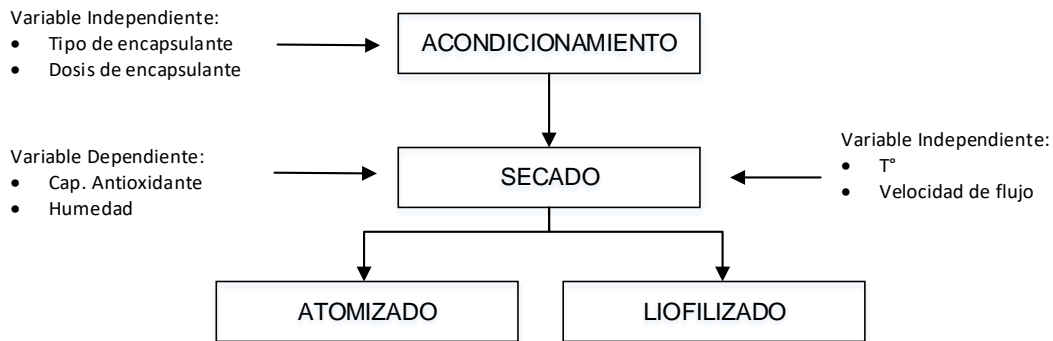


Figura 3.2

Diagrama de flujo para la obtención de harina de mashua atomizada y liofilizada.

Fuente: Elaboración propia

1. Acondicionamiento:

Obtenido el zumo de mashua concentrado se añadió los encapsulantes en las dosis establecidas en la Tabla 3.1. Para luego ser sometidas a ambas técnicas de secado.

Se utilizó un agitador magnético con calentador para la homogenización solido-líquido.

2. Secado

a. Atomización:

Llevada a cabo en el Spray Dryner, modelo IC40D, CODE 991650; para ello se empleó 200 ml de zumo concentrado para cada tratamiento experimental registrado en la Tabla 3.1, donde se indican a su vez las condiciones operacionales de secado.

b. Liofilización:

La liofilización se realizó en el equipo Labconco™ modelo Stoppering Tray Dryers for FreeZone™; empleando una muestra equivalente a 150 ml acondicionadas con los agentes encapsulantes en las proporciones indicadas en la Tabla 3.1,

bajo las siguientes condiciones operacionales, realizándose una congelación rápida hasta llegar a -35 °C, y la sublimación se llevó a cabo a -75°C.

C) Determinación de la capacidad antioxidantes en los tratamientos experimentales:

La cuantificación de la capacidad antioxidante se llevó a cabo en el equipo lector multimodal de micro placas modelo 42550BB.

1. Metodología para determinar la actividad antioxidante hidrofílica por espectrofotometría utilizando el método DPPH

- 1.1. Se colocó 5g de muestra y añadió uno de los siguientes solventes: Metanol (25 ml) solo para fenoles. Isopropanol / hexano (10ml / 15 ml) solo para carotenoides.
- 1.2. Se mezcló con el homogenizador Ultra–Turrax hasta una consistencia uniforme (1/2-1min) y mezclar por 15min. Si el ensayo es para extractos hidrofílicos (fenoles), se almacena por 12- 24 hrs a 3-4°C (refrigerado). Si el ensayo es para extractos lipofílicos (Carotenoides), entonces se procede directamente al paso 1.3.
- 1.3. Antes de tomar una alícuota para el análisis, se centrifugó el homogenizado por 20min a 15 000 rpm.
- 1.4. Se separó el sobrenadante en un tubo Eppendorf para la medida de la actividad antioxidante. Guardándose la fase orgánica (para carotenoides) y luego guardar ambos tubos cubiertos con papel de aluminio para su posterior análisis.
- 1.5. El sobrenadante se guarda -20°C para análisis

posteriores.

- 1.6. Se llevó el espectrofotómetro a cero con metanol.
- 1.7. Se asegura la absorbancia inicial a 515 nm de la solución diluida de DPPH que es alrededor de $1,1 \pm 0,02$.
- 1.8. Con una micropipeta se añadió una alícuota de 150µL de la muestra (puede ser acuoso o fase orgánica) con 2 850µL de la solución diluida de DPPH dentro de un vial de plástico limpio, se corre un blanco con 150µL del solvente puro (de acuerdo a la solución de extracción) hasta obtener un factor de corrección (debido a la solución).
- 1.9. Se dejó que la muestra y el DPPH reaccionen en un agitador en la oscuridad y cerrar los viales. La temperatura ambiente debe ser 20°C.
- 1.10. En diferentes intervalos de tiempo (15 min.) se transfiere la solución a una cubeta de vidrio limpia. Se golpeó la cubeta hasta eliminar las burbujas y tomar la lectura del espectrofotómetro 515 nm.
- 1.11. Se repiten las lecturas a través del tiempo hasta que se observe que no hay cambios significativos en la absorbancia. El punto final de la absorbancia es usado para calcular la actividad antioxidante.

D) Análisis fisicoquímicos en la muestra optimizada:

1. Determinación de la humedad

La determinación del contenido de humedad se determinó por efecto de la gravimetría en estufa a temperatura de 55°C, según el método AOAC (Asociación de los Químicos Analíticos Oficiales) N°981.05 (1980).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100 \quad \longrightarrow \quad \text{Ec. 01}$$

Dónde:

P1 = peso de la placa más la muestra.

P2 = peso de la placa más la muestra seca.

m = peso de la muestra.

2. Determinación de pH:

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

3. Determinación de sólidos totales:

El porcentaje de sólidos totales se obtuvo por la diferencia de 100 menos el porcentaje de humedad.

4. Determinación de cenizas

El método para determinar cenizas, se basa en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo, según el método AOAC (Asociación de los Químicos Analíticos Oficiales) N° 923.03 (2005).

$$Cenizas \% = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad Ec. 02$$

Dónde:

m₂ = masa del crisol con las cenizas en gramos.

m₁ = masa del crisol con la muestra en gramos.

m₀ = masa del crisol vacía en gramos

5. Determinación de proteínas

La determinación de proteínas se realizó por el método Kjeldahl, según el método AOAC (Asociación de los Químicos Analíticos Oficiales) N°701.02 (1984); el cual se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, al cual se le dan las valoraciones respectivas.

$$\% N = \frac{14 \times N \times V \times 100}{m \times 1000} \quad \text{Ec. 03}$$

$$\% \text{ Proteína} = \frac{14 \times N \times V \times 100 \times \text{factor}}{m \times 1000} \quad \text{Ec. 04}$$

Dónde:

V = 50 mL H₂SO₄ 0.1 N – gasto NaOH 0.1 o gasto de HCL 0.1 N

m = masa de la muestra en gramos.

6. Determinación de Fibra

La determinación de fibra corresponde a la incineración del residuo orgánico que queda después de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en condiciones específicas, según el método AOAC (Asociación de los Químicos Analíticos Oficiales) N° 701.03 (1990).

$$\% \text{ Fibra} = C \times \frac{100 - \% \text{ Humedad muestra original}}{100} \quad \text{Ec. 05}$$

7. Determinación de Azúcares reductores

Para la determinación de azúcares reductores se basa en la cantidad de una sustancia (ley de Beer) disuelta midiendo la cantidad de radiación absorbida por la misma, según el método AOAC (Asociación de los Químicos Analíticos Oficiales) N° 701.02 (1984).

$$\log = \frac{I_0}{I} = abc$$

Dónde:

I_0 = radiación incidente o radiación transmitida por el blanco.

I = radiación transmitida por la muestra.

$$\log = \frac{I_0}{I} = \text{absorbancia de la muestra}$$

Ec. 06

Dónde:

a = coeficiente de absorbancia (absortividad) –las unidades

dependen de las unidades utilizadas para la determinación de la concentración.

b = longitud de la celda usualmente en centímetros.

c = concentración de la muestra en unidades apropiadas.

3.6. Descripción del(os) instrumentos(s) utilizado(s):

SprayDryner, IC40D, code 991650.

El sistema secado por atomización (Spray Dryner), es usado para la preservación de los alimentos. Mediante este proceso simple y ultra rápido, se consigue secar sólidos y sólidos solubles, con alta calidad preservando las características esenciales de los mismos.

El proceso se caracteriza en pulverizar el fluido dentro de una cámara sometida a una corriente controlada de aire caliente. Este fluido es atomizado en millones de micro gotas individuales mediante un disco rotativo o boquilla de pulverización. A través de este proceso el área de la superficie de contacto del producto pulverizado se aumenta enormemente y cuando se encuentra dentro de la cámara con la corriente de aire caliente de secado produce la vaporización rápida del solvente del producto, generalmente agua, provocando frigerías en el centro de cada micro gota donde se encuentra el sólido, que seca suavemente sin gran choque térmico, transformándose en polvo y terminando el proceso con la colecta del mismo.

Espectrofotómetro UV, Marca Jasco, V-670.

La espectrofotometría es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones químicas y bioquímicas. El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia.

Lector multimodal de microplacas Biotek, 42550BB.

La lectura multimodal es el método de análisis que utiliza un sistema de detección de fluorescencia utiliza filtros de interferencia y espejos dicróicos para el mejor nivel de desempeño en aplicaciones de investigación y tamizaje. Su dedicado sistema para detección en absorbancia está basado en un monocromador, lo cual le permite ofrecer el mayor nivel de flexibilidad en esta modalidad de lectura. Además, al utilizar elementos ópticos dedicados para cada una de sus modalidades de detección.

Balanza analítica. Typ U3600, SARTORIUS.

Es un instrumento utilizado en el laboratorio, que sirve para medir la masa. Su característica más importante es que poseen muy poco margen

de error, lo que las hace ideales para utilizarse en mediciones muy precisas. Las balanzas analíticas generalmente son digitales, y algunas pueden desplegar la información en distintos sistemas de unidades.

Refractómetro Manual 0-80% Brix

Modelo: RHBO80

Procedencia: China

Tan solo basta verter una gota de muestra sobre el prisma y la lectura del resultado se muestra en la escala inmediatamente.

Este refractómetro presenta una perilla ajustable, la escala es de fácil lectura y permite el ajuste a cero de la escala.

Rango de medición: 0 a 80% Brix

Resolución: 1% Brix

Evaporador rotatorio, HEIDOLPH.

Es un aparato que se utiliza en los laboratorios químicos para evaporar solventes. Los principales componentes de un rota vapor son:

- Un sistema de vacío que consiste en una bomba de vacío y un controlador.
- Un recipiente para evaporación, que rota, el cual puede calentarse en un baño caliente.
- Un condensador con un recipiente colector.

El sistema trabaja porque con el vacío disminuye la presión y por lo tanto disminuye el punto de ebullición del solvente que se desea evaporar. Esto permite que el solvente sea removido sin la necesidad de aplicar calor excesivo al sistema.

Liofilizador Labconco™ Stoppering Tray Dryers for FreeZone™

Labconco™ taponado Bandeja secadores para Sistemas Freeze-Dry FreeZone™ son para su uso con los 6, 12, o modelos FreeZone 18L liofilizar y muestras a granel de tope en vacío.

- Consta de una cámara de vacío visualizaciones Panel frontal LCD sistema en mbar, Pa, o torr y del sistema y de la sonda temperaturas en ° C o ° F.

- Tiene 3 estantes de procesamiento cabida a botellas de suero, viales, ampollas o estantes extraíbles para permitir otros recipientes más grandes (las muestras pueden ser pre-congelados en estos estantes).
- Gabinete está construido de acero inoxidable cepillado y acero con recubrimiento de polvo blanco con detalles en azul; con 1.9 cm de espesor de acrílico claro puerta de visión
- Temperatura programable hasta cinco segmentos diferentes; también incluye rampa de temperatura.
- Sistema de refrigeración libre de CFC 1hp y el calentador 1000w para la refrigeración y calefacción estantería
- Temperatura del fluido que circula a través de los canales en los estantes se puede ajustar de -40° a $+40^{\circ}$ C $\pm 1^{\circ}$ C del punto de ajuste.

3.7. Plan de análisis estadístico de datos:

El tipo de estudio de superficies de respuesta, modelo cuadrático, diseño D-óptimo funciona, en primer lugar especificando un modelo matemático aproximado que define la forma funcional de la relación entre la respuesta (Y) y las variables independientes. Siguiendo, generar un conjunto de puntos posibles candidatos sobre la base de este modelo. Por último, a partir de estos candidatos seleccionar el subconjunto que maximiza el determinante de la matriz $X'X$ (**Atkinson y Donev 1992**). De modo, que permitirá el análisis y modelado en función de las variables independientes (factores), así como su interacción, para cada una de las variables dependientes (variables respuesta). En la mayoría de problemas de la MSR, forma relación entre la respuesta y variables independientes cuando esta es desconocida (**Hurtado, 2008**).

La Metodología de Superficies de Respuesta (RSM) es un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en el tratamiento de problemas en los que una respuesta de interés está influida por varios factores de carácter cuantitativo. El propósito inicial de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta

y, a continuación, determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos. El objetivo final es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta (**Fernández, 2010**).

Para el modelo del plano estadístico de pruebas experimentales se utilizará el software Design-Expert 8.0 Trial Program y Microsoft Excel.

En la Tabla 3.1 se muestra el diseño estadístico D-óptimo, tipo de estudio "Response Surface" (superficie respuesta) con un diseño de modelo "Quadratic" (cuadrático), desarrollando 17 "runs" (tratamientos experimentales). El "factor" variables independientes (Etapa de Atomización) a utilizarse serán: Temperatura del aire, tipo y dosis de encapsulante, y variable dependiente y/o variable respuesta será: % de capacidad antioxidante.

Tabla 3.2

Matriz decodificada para la evaluación estadística en la etapa de atomización y liofilización del zumo de mashua concentrado.

T	Factor 1 A: Dosis de en %	Factor 2 B: Tipo de Encapsulante	Factor 3 C: Temperatura C
1	50.00	Almidón	160
2	33.29	Quitosano	180
3	21.76	Goma Arábica	180
4	50.00	Goma Arábica	160
5	29.12	Quitosano	180
6	17.55	Goma Arábica	160
7	36.66	Goma Arábica	160
8	30.00	Almidón	180
9	45.62	Almidón	180
10	28.36	Quitosano	160
11	48.75	Quitosano	160
12	16.98	Almidón	180
13	10.00	Quitosano	160
14	33.91	Almidón	160

Fuente: Desing Expert v 8.0

CAPÍTULO IV: ANALISIS, INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Acondicionamiento de la materia prima

a) Diagrama del acondicionamiento de la materia prima

Etapa que se describe en la figura 4.1, empleando mashua de la variedad Zapallo Año, color amarillo, proveniente del Departamento de Junín – Huancayo.

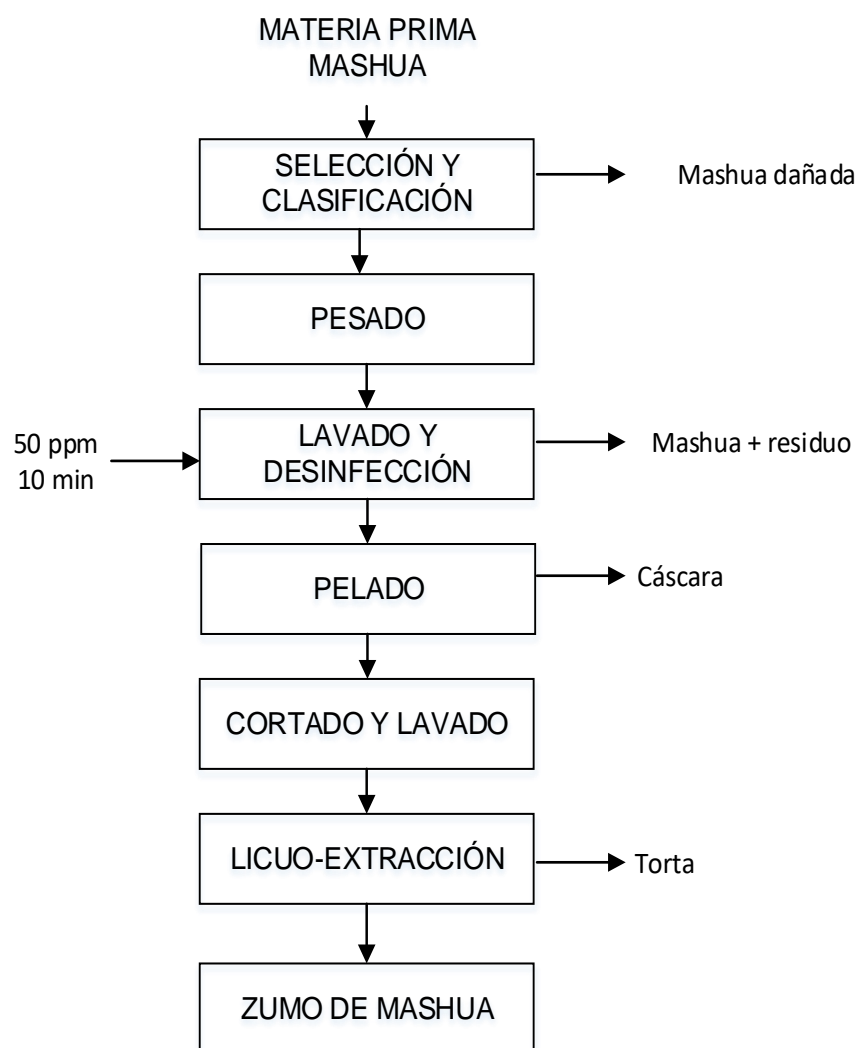


Figura 4.1
Acondicionamiento de la materia prima
Fuente: Elaboración propia



a) Recepción de la mashua



b) Etapa de selección y clasificación de la mashua



c) Pesado de la mashua



d) Lavado y desinfección de la mashua



e) Pelado de la mashua



f) Cortado y lavado de la mashua



g) Licuo-extracción del zumo de mashua

Figura 4.2
Acondicionamiento de la Mashua para la obtención del zumo
Fuente: Planta Piloto USS.

Debido a la cantidad de agua variable entre especies, 86% y 92% (Montaldo, 1972; Estrella 1986), es necesario expresar los valores en base a la materia seca o presentar de manera simultánea el contenido de humedad, para fines de la investigación tal como se indica en la tabla 4.1 la humedad es 78,3 % están próximo a los valores que presenta Urresta y Ruales, 2010, quien a su vez afirma que es importante señalar que otros factores a parte de la variabilidad genética como son las prácticas culturales, el clima, y el tipo de suelo, pueden influir en la características del material en estudio.

Otro valor importante a indicar es el contenido de capacidad antioxidante equivalente a 4 939,9 trolox equiv. /g, tal como reporta Chirinos, Campos y Zevallos, 2006 en el estudio realizado a diferentes genotipos de mashua cuyos valores oscilan entre 483 a 9800 trolox equiv./g. los más altos en comparación a otros cultivos como ollucos y ocas.

Tabla 1.1 Características químicas de la mashua variedad amarilla

Características Químicas	Unidad	Valor
pH	-	5.3
Solidos totales	°Brix	8
Humedad	%	78,3
Capacidad Antioxidante	trolox equiv. /g	4 939,9

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas de la mashua variedad amarilla se indican en la Tabla 4.2 las mismas que son coherentes con los datos presentados por Cuya, 2009.

Tabla 4.2 Características físicas de la mashua fresca variedad amarilla (2)

Características Físicas	Unidad	Valor
Peso promedio de la mashua	(g)	45 rango (14- 94)
Densidad de la mashua fresca (pf)	(kg/m3)	1015.04

Fuente: Elaboración propia

La clasificación taxonómica de este tubérculo fue establecida por Ruiz y Pavón detallada en la Tabla 4.3

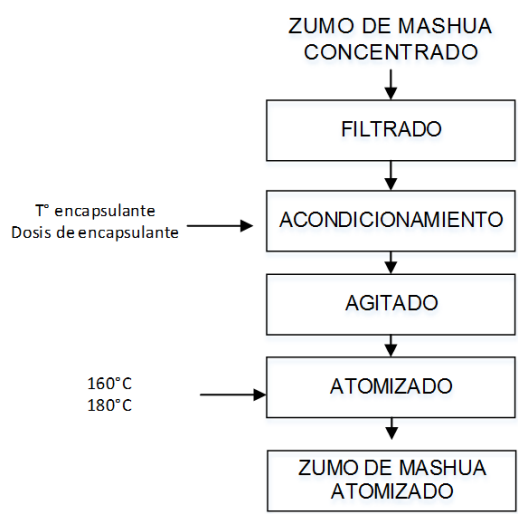
Tabla 4.3 Clasificación botánica de la Mashua variedad amarilla (3).

Reino	Plantae
División	Espermatofita
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Dicotiledoneae
Orden	Brassicales
Familia	Tropaeolaceae
Genero	Tropaeolum
Especie	T.Tuberosum

Fuente: ONG- Perú ecológico

4.2. Obtención del zumo concentrado

Figura 4.3 Obtención del zumo concentrado (1)



Fuente: Elaboración propia

El zumo de mashua obtenido según se detalla en la figura 4.1 presenta un contenido de sólidos solubles de 8 °Brix, debiendo concentrar para lograr la eliminación de agua y hacer más eficiente el secado por atomización y lograr la acción de los agentes encapsulantes. El zumo llegó a concentrarse hasta los 21 °Brix bajo las condiciones detalladas líneas arriba.



a) Zumo de mashua



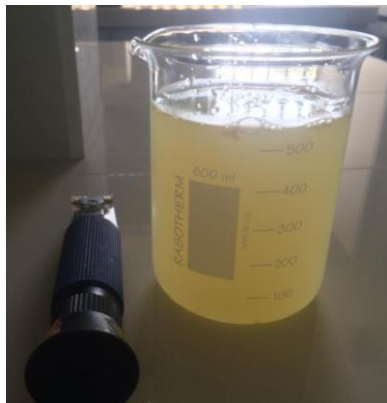
b) Filtrado del zumo



c) Sedimentación del zumo de mashua



E) Centrifugación del zumo



F) Concentración de zumo centrifugado de mashua



G) Zumo de mashua concentrado

Figura 4.4 Concentración de zumo de mashua (2)

Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de productos agroindustriales-UNS

Durante el acondicionamiento de la mashua se apreció una característica particular a la sensación de picor, esto causado por el p-metoxibencil isotiocianato, compuesto específico para las subespecies de *tropaeolum tuberosum* ssp, que también contiene pequeñas cantidades de 2-propilisotiocinato y 2-butil isotiocianato, son los principales isotiocianatos en las sub de *tropaeolum tuberosum* (Johns, 1982). Estos contenidos pueden disminuir con la exposición a la luz solar, por ello que las muestras empleadas fueron sometidas a exposición solar.

Tal como se muestra en la figura 4.4 fue necesario antes de la concentración del zumo de mashua realizar la centrifugación, dado la presencia de almidones corroborado por la prueba de yodo. El zumo de mashua presentó un contenido de almidón de 46,92% considerando al zumo como una solución acuosa de almidón, que al ser calentada los gránulos se hinchan y producen una solución viscosa, más o menos estable al calentamiento. La mashua presenta granos simple, comúnmente simétricos de forma globular o truncado y compuesto por 2 a 3 granos generalmente no iguales. El tamaño varía de 10 a 20 micras, Surco, 2004.; con un 73% de amilo pectina y 27% de amilosa (Badui, 1982).

La presencia de almidones antes de la concentración dificulta la concentración haciendo que la disolución se vuelva más viscosa, dificultando la pérdida de agua y por ende la concentración de los sólidos, para fines de esta investigación no fue posible conseguir la total eliminación de los almidones antes de la concentración, dado que siempre se observó la precipitación posterior a ella.

4.3. Obtención de la mashua concentrada atomizada y liofilizada

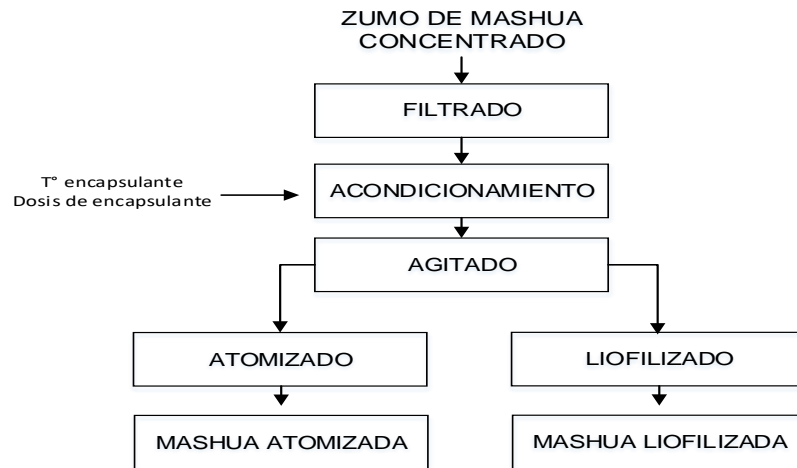


Figura 4.5 Obtención de zumo de mashua concentrada atomizada y liofilizada (3)

Fuente: Elaboración propia



a) Pesado de encapsulantes



b) Homogenización de la mashua concentrada con los encapsulantes



c) Tratamientos experimentales

Figura 4.6 Acondicionamiento de los tratamientos (zumo concentrado de mashua- encapsulantes) (4)

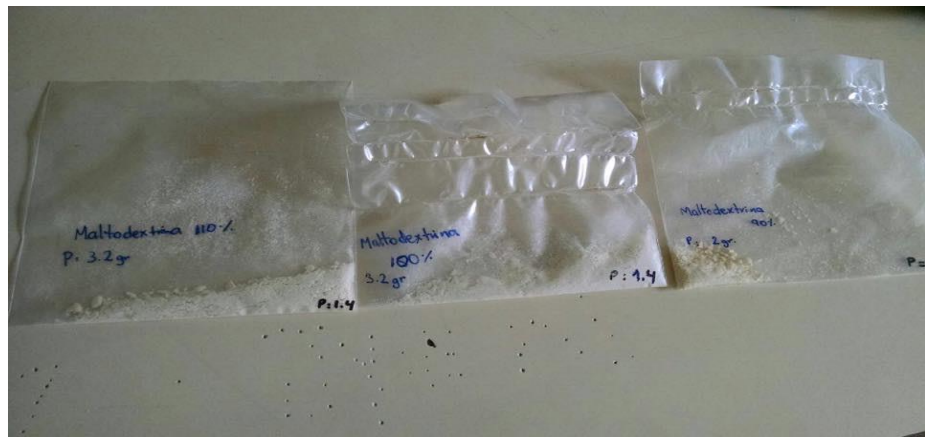
Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de productos agroindustriales-UNS



a) Atomizador Heidolph



b) Mashua atomizada



c) Mashua atomizada saturada con encapsulante

a) Acondicionamiento de pruebas experimentales en el liofilizador



b) Congelacion rápida de las muestras acondicionadas



c) Resultado final de la liofilización de mashua

Figura 4.7 Atomización de mashua (5)

Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de productos agroindustriales-UNS

El secado por atomización de los zumos 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 del agua (Miravet, 2009).

Figura 4.8 Liofilización de mashua (6)



Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de productos agroindustriales-UNS

Los zumos presentan por naturaleza un elevado contenido de azúcares como glucosa y fructosa y ácidos orgánicos como ácido cítrico, málico y tartárico lo que les confiere una característica diferencial a la hora de conseguir que un zumo por eliminación de su contenido en agua se transforme en una presentación en polvo, y que para mantener todos estos atributos deban emplearse según el tipo de uso una serie de agentes que contribuyan a su retención posterior al secado.

La aplicación de estos agentes es necesario dado que los compuestos que constituyen el zumo de mashua, 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. El término “stickiness” hace referencia a los fenómenos de cohesión partícula-partícula y de adhesión partícula-pared que podría haber presentado el polvo seco finalmente obtenido, dificultando su presentación y ocasionado mancha las paredes de los cilindros de pulverización como lo manifiesta Dolinsky , 2000.

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, siendo esto último lo que se busca lograr.

La mayor causa de la pegajosidad en polvos amorfos de zumos es la acción plastificante del agua en la superficie, que da lugar a la adhesión y cohesión (Boonyai, 2004). El objetivo que se plantea es conocer la mejor relación encapsulante/zumo para conseguir la mejor retención de capacidad antioxidante en la microencapsulación del zumo de mashua.

Inicialmente se piensa que es la proporción de encapsulante/zumo las que debían corregirse sin embargo los resultados continuaron evidenciando un producto pegajoso, llegando a confirmar que no se trataba de problemas en la proporción; el tipo de agente encapsulante representa un factor importante según el tipo de zumo a encapsular, sin embargo estudios realizados por Suárez, 2014 indican que la maltodextrina

favorece la deshidratación, proporcionando microcápsulas con contenido de humedad inferiores (1,4%) y con quitosano humedades mayores de hasta 7,19%, reafirmando que si es influyente las características químicas de encapsulantes en microencapsulación, por ende debería poderse encapsular las muestras trabajadas.

Estudios realizados por López, 2001 indica que la existencia de taninos condensados de 2210 mg/100g expresados como equivalentes de catequina, valor anormal dentro de variedades de mashua, son compuestos fenólicos altamente polimerizados que forman complejos con las proteínas y así las hacen no digeribles, además interactúan con las enzimas disminuyendo su actividad. También pueden formar complejos con otros compuestos de las plantas como son los polisacáridos, mono y oligosacáridos, ácidos nucleicos, elementos metálicos, de esta manera disminuyen el valor nutricional de los alimentos (Butler y Bos, 1993).

La propiedad más conocida de los compuestos polifenólicos es su capacidad de enlazarse y precipitar las proteínas demás puede formar complejos con cationes metálicos como hierro y cobre, de esta manera interfieren en la biodisponibilidad de macro y micronutrientes. Las raíces y tubérculos que presentan elevados contenidos de taninos condensados podrían interferir en la absorción de los macro y micronutrientes. (Butler y Bos, 1993), siendo esto una explicación a los resultados obtenidos que dificultarían la microencapsulación.

Los taninos en las muestras de mashua podrían ser el inhibidor de alfa amilasas predominante puesto que dependiendo del contenido de taninos condensados, es mayor o menor el porcentaje de inhibición. (López, 2001).

Los tratamientos experimentales fueron acondicionados para la atomización y liofilización como se representa en la figura 4.6, logrando obtener un producto pegajoso que al transcurrir el tiempo endurecía, haciendo imposible la cuantificación de la capacidad antioxidante.

La madurez implica cambios en los compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante, influye directamente en el contenido de compuestos fenólicos, la presencia de compuestos bioactivos en mayor cantidad en el fruto produce mayor capacidad antioxidante, por lo cual esta propiedad se incrementa también con la maduración (Cáez, 2011), poniendo en evidencia que la muestra trabajada aún no se encontraba en el estadio que permita cuantificar la capacidad antioxidante. Figura 4.11 que representa la lectura de la capacidad antioxidante





Figura 4.9 Muestras liofilizadas enumeradas según tratamiento experimental (7)

Fuente: Laboratorio de Operaciones unitarias y automatización -UNS

Los tratamientos del zumo concentrado de mashua presentan las características observadas en la figura 4.19, están presenten las misma proporción de agente encapsulante que para el secado por atomización, obteniendo un producto con los mismo resultados.

4.4. Determinación de la capacidad antioxidante



A) Reactivo DPPH diluido



B) Trolox preparado



C) Preparacion de muestras



D) Agitacion en incubacion



E) analisis de capacidad antioxidante en el lector multimodal

Figura 4.10 Determinación de la capacidad antioxidante de la mashua (8)

Fuente: Instituto de investigación-UNS

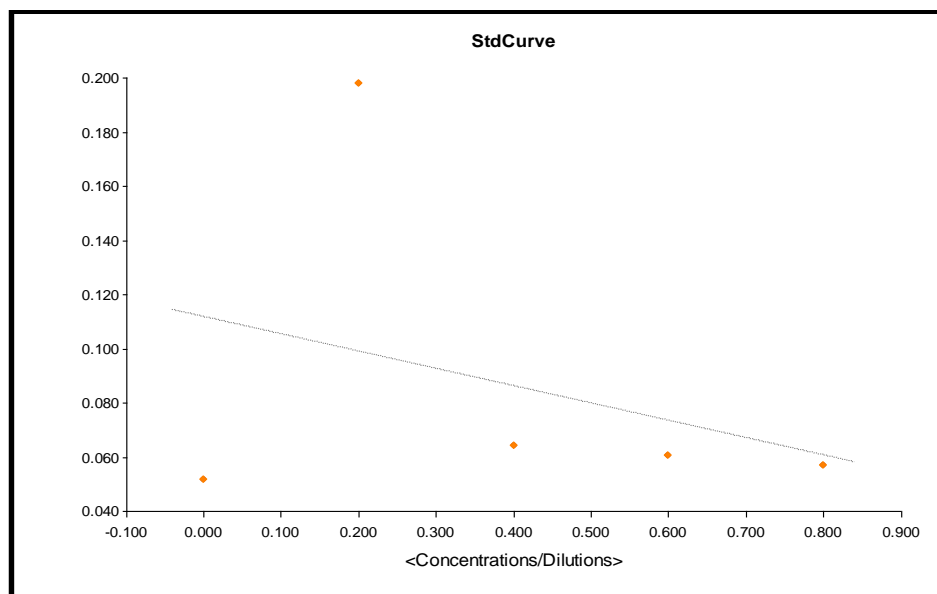


Figura 4.11 Liofilización del zumo mashua (9)

Fuente: Instituto de Investigación UNS

4.5. Evaluación estadística

Tabla 4.4 Matriz experimental decodificada de los tratamientos para la atomización de zumo de mashua concentrada.(4)

Tratamientos	Zumo de mashua	Tipo de Encapsulantes	Dosis de encapsulantes en %	Temperatura °C
1	200 ml	Almidón	50	160
2	200 ml	Quitosano	33.29	180
3	200 ml	Goma Arábica	21.76	180
4	200 ml	Goma Arábica	50	160
5	200 ml	Quitosano	29.12	180
6	200 ml	Goma Arábica	17.55	160
7	200 ml	Goma Arábica	36.66	160
8	200 ml	Goma Arábica	21.76	180
9	200 ml	Almidón	30	180
10	200 ml	Almidón	45.62	180
11	200 ml	Quitosano	28.36	160
12	200 ml	Quitosano	48.75	160
13	200 ml	Almidón	16.98	180
14	200 ml	Quitosano	10	160
15	200 ml	Almidón	33.91	160

Fuente: Desing Expert 8.0

CONCLUSIONES

- Se determinó en base humedad, las características químicas de la mashua, obteniéndose: la cantidad de cenizas 0.59%, el 0.56% de fibra, un alto contenido de humedad de 88.76%, azúcares reductores equivalente a 33.635 mg y un contenido de capacidad antioxidante de 474.858 μg Eq. Trolox /g
- La maduración de la mashua influyo directamente en el contenido de compuestos fenólicos, la presencia de compuestos bioactivos, lo cual en mayor cantidad produce mayor capacidad antioxidante.
- La variedad de mashua utilizada se encontró fisiológicamente madura, determinándose posteriormente durante el proceso de concentración la presencia de alto contenido de almidón lo que origino que la solución se vuelva más viscosa, debido a que no se erradico totalmente los almidones presentes en el zumo.
- Debido a la aun presencia de almidones en el zumo de mashua, y sometido a altas temperaturas en el proceso de secado, se formó la gelatinización de azucares; lo cual dificulto la retención de la capacidad antioxidante.
- La pegajosidad que se encontró durante el secado por atomización y liofilización se debió a acción plastificante del agua en la superficie del zumo y alto contenido de taninos, lo cual son inhibidores que interfieren en la absorción de macro y micronutrientes. Motivo por el cual no se logró obtener la harina de mashua y por ende el análisis de capacidad antioxidante.

RECOMENDACIONES

- Siempre tomar en cuenta la mejor forma de acondicionamiento de la materia prima.
- Emplear técnicas que permitan la eliminación de almidón que puedan ocasionar problemas posteriores en las siguientes etapas del proceso.
- Realizar investigación acerca de los encapsulantes a emplear y la aplicación más efectiva que pueda existir para mejorar la retención de la capacidad antioxidante de la mashua.
- Hacer uso de la harina de mashua atomizada como alimento funcional.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Ademiec, J. Modrzejewska, Z. (2005). Some structural properties of spray dried chitosan microgranules. *Drying Technology*, 23, 1601-1611.
- Bertolini, A., A. Siani and R. Grosso. 2001. Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 780-785.
- Bringas-Lantigua, M., Expósito-Molina, I., Reineccius, G.A., López-Hernández, O. y Pino, J.A. (2011). Influence of spray-dryer air temperatures on encapsuled mandarin oil. *Drying technology*, 29(5), 520-526.
- Caicedo, C. (1999). *Estudio y promociones de las tuberosas andinas dentro del agro ecosistema andino en ecuador*. Alimentos del mundo andino. Centro internacional de la papa.
- Campos, D.; Noratto, G.; Chirinos, R.; Arbizu, C.; Roca., W y Cisneros-Zevallos, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1481-1488.
- Cañas, M y Buschiazzo, H. (2000). *Antioxidantes: suplemento o dieta*. Publicado en Femeba. Año VI N° 57, pp.8-9.
- Casp, V. y Abril, R. (1999). *Procesos de conservación de alimentos*. España: Ediciones Mundi Prensa.
- Chirinos, R.; Campos, D.; Arbizu, C.; Rogez, H.; Rees J-F; Larondelle., Noratto, G y Cisneros-Zevallos, L. (2006). Effect of genotype, maturity stage and

post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 437-446.

Collazos, C.; Philip, W.; Viñas, E.; Alvistur, J.; Urquieta, A.; Vazques, J; Urquieta, A; Vasquez, J; Dias, C; Quiroz, A; Roca, A; Mark, H; Brandfield, R; Herrera, N; Faching, A; Robles, N; Hernandez, E y Arias, M. (1993). *Composición de alimentos de mayor consumo en el Perú*. 6ª ed. Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición.

Carr, A y Frei, B. (1999). Does vitamin C act as a pro-oxidant under physiological conditions. *The FASEB Journal*, 13, 1007-1020.

Desai, K. G. y Park, H. J. (2006). Effect of manufacturing parameters on the characteristics of vitamin C encapsulated tripolyphosphate-chitosan microparticles prepared by spray-drying. *Journal of Microencapsulation*. 23(1): 91-103.

DESMACHELIER, C. (1997). Total reactive antioxidant potential (TRAP) and total antioxidant reactivity (TAR) of medicinal plants used in Southwest Amazonian (Bolivia and Peru). *International Journal of Pharmacognosy*, 35 (4), 288-296.

Espinoza, S.; Monteghirfo, M.; Alvarez, J y Arnao, I. (2002). *Análisis electroforético unidimensional y bidimensional de las proteínas de Tropaeolum tuberosum (Mashua)*. Lima: Centro de investigación de Bioquímica y nutrición, laboratorio de química bioorgánica de la UNMSM.

Favaro, C., A. Santana, E. Monterrey, M. Trindade and F. Netto (2010). The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*, 24(4): 336-340.

- Finney, J; Buffo, R y Reineccius (2002). Effects of type of atomization and processing temperatures on the physical properties and stability of spray-dried flavours. *Journal of food science*, 67(3), 1108-1113.
- Frei, B. (1999). Molecular and biological mechanisms of antioxidant action. *The FASEB Journal*, 13, 963-964.
- Fuchs, M. C. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 75(1): 27-35.
- Krasaekoopt, W., B. Bhandari and H. Deeth. 2003. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yogurt. *International Dairy Journal*, 13(1), 3-13.
- Kwak, H., M. Ihm and J. Ahn. 2001. Microencapsulation of β -galactosidasa whith fatty acid esters. *Journal Dairy Science*, 84. 1576-1582.
- García, G., González, M. Ochoa y Medrano, H. (2004). Microencapsulación del jugo de cebada verde mediante secado por aspersion. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(4), 262-266.
- Gibbs, B.F., Kermasha, S., Ali, I. and Mulligan, C.H. 1999. Encapsulation in the food industry: A review. *International Journal Food Science Nutrition*, 50, 213-224.
- González, M; Muñiz, P y Valls, V. (2001). *Actividad antioxidante de la cerveza: estudios in vitro e in vivo*. Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos, Universidad de Burgos departamento de Pediatría, Ginecología y Obstetricia. Universidad de Valencia.
- Goula A.M., Adamopoulos, K.G. (2005). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT – Food Science and Technology*, 38, 479-487

- Halvorsen, L.; Holte, K; Myrstad, A.; Barikmo, B y Hvattum, E. (2002). *A Systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants*. American Society for Nutritional Sciences. pp. 461-471.
- Hernández, B y León, J. (1992). *Cultivos marginados otra perspectiva de 1492*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación Roma. pp. 150-151.
- INEN. (2013). Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. Perú.
- Ivanovska, T.P., Petrussevska-Tozil, L., Kostoska, M. D., Geskovski, N. y Grosdanov, A. (2012). Microencapsulation of lactobacillus casein in chitosan-Ca-alginate microparticles using spray-drying method. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 31, 115-123.
- Li, B., L. Wang, D. Li, B. Bhandari, S. Jun, Y. Lan, X. Chen and Z. Mao (2009). Fabrication of starch-based microparticles by an emulsification-crosslinking method. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 250–254.
- Loksuwan, J. 2007. Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrina. *Food Hydrocolloids*, 21: 928-935.
- Lopretti, M., Barreiro, F., Fernandes, I., Damboriarena, A., Ottati, C. y Oliveira, A. (2007). Microencapsulación de compuesto de actividad biológica. *Publicacion anual del Laboratorio Tecnológico de Uruguay*, 2, 19-23.
- Madene, Scher y Desobry (2006). Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 4(1), 1-21.

- McMaster, L., S. Kokott and P. Mazutti. 2005. Micro-encapsulation of Bifidobacterium lactis for incorporation into soft foods. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(5), 723–728.
- Meza, G.; Cortes, H.; Zela, G. y Gonza, V. (1997). *Cultivo de mashua*. Universidad nacional de san Antonio Abad del Cuzco. Centro de investigación en cultivos andinos. Asociación Arariwa. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos.
- Morkhade, D. & S. Joshi (2007). Evaluation of gum damar as a novel microencapsulating material for ibuprofen and diltiazem hydrochloride. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 69(2), 263-268.
- Murúa, B., C. Beristain and Martínez. F. 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.
- National Research Council (1989). *Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes With Promise For Worldwide Cultivation*. Washington D.C: National Academy Press.
- Navas, G.; Vega De Rojas, B y Soriare, L. (1993). *La mashua (Tropaeolum tuberosum) fuente potencial de carbohidratos*. Escuela Politécnica Nacional. Instituto de investigación Tecnológica. Simposio en carbohidratos. pp.233-237.
- OMS. (2013). Organización Mundial de Salud. Recuperado de http://www.who.int/topics/chronic_diseases/es/.
- Parra, R. A. (2011). Revisión: microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(2), 5669-5684.

- Pedroza Islas, R. (2002). Alimentos microencapsulados: particularidades de los procesos para la microencapsulación de Alimentos para larvas de especies acuícolas. VISimposium Internacional de Nutrición Acuícola.
- Prior, L y Cao, G. (2000). Antioxidant Phytochemicals in fruits and Vegetables: Diet and Health Implications. *Hort Science*, 35(4), 588-592.
- Reineccius, G.A. (2004). The spray drying of food flavors. *Drying technology*, 22(6), 1289-1324.
- Reineccius, G.A. (2006). *Flavor Chemistry and technology*. 2ª ed. London: Boca Raton, Fla, 489 p.
- Rios, C. (2004). Contribución al estudio de algunos compuestos bioactivos y de la capacidad antioxidante presente en diez genotipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon) y a la evaluación de su estabilidad. Tesis para optar el grado académico de ingeniero en industrias alimentarias en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú
- Sáenz, C. S. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 114(2), 616–622.
- Sánchez, C., Jimenez, A y Saura, F. (2002). LDL Oxidizability indexes in measurement of antioxidant Activity in selected Spanish wines. *ELSEVIER. Nutrition Research*, 22, 507-517.
- Sarmiento, H. (2003). Estabilidad físico química y actividad antioxidante de las betalainas del ayrampo (*Opuntia soherensii*) durante el proceso de atomizado. Tesis para optar el título de magíster scientiae en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

- Shi, H.; Noguchi, N y Nike, E. (2001). Introducing natural antioxidants. Wood head publishing limited – Cambridge England. Part 3.
- Schrooyen, P., R. Meer and C. Kruif. 2001. Microencapsulation: its application in nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society*, 60(4), 475-479.
- Shantha, K, R. Weerakkody and M. Augustin. 2009. In vitro evaluation of hydrocolloid-based encapsulated fish oil. *Food Hydrocolloid*, 23(5), 1413–1419.
- Shiga, H.; Yoshii, H.; Ohe, H.; Yasuda, M.; Furuta, T.; Kuwahara, H.; Ohkawara, M y Linko, P. (2004). Encapsulation of shiitake (*lenthinus edodes*) flavores by spray drying. *Biosci biotechem*, 68 (1), 66-7.
- Tavella, J. (1972). Elaboración de polvo deshidratado por atomización a base de cefalo torax de camarón de río.
- Temoche, M.; Campos, D; Chirinos, R y Cisneros, L (2004). Evaluación de los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante presente en 30 genotipos de mashua. *Anales Científicos UNALM*.
- Tineo, J. (1993). Cultivo de mashua. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Folleto N° 6-93, pp. 1-9.
- Wen-Chi, H.; Mei-Hsien, L.; Hsien-Jung, C.; Wen-Lee, L., Chuan-Hsiao, H.; Yen-Wenn, L y Yaw-Huei. L. (2001). Antioxidant activities of Dioscorin, the Storage Protein of Yam (*Dioscorea batatas* Decne) Tuber. *Journal Agriculture. Food Chem*, 49, 4956-4960.
- Yañez, J. J. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Revista Avance y Perspectiva*, 21, 313-319.

Young, S y Woodside, V. (2001). Antioxidants in health and disease. *Department of clinical biochemistry, institute of clinical Science, Grosvenor Road, Belfast, Northern Ireland. J Clin Pathol*, 54, 176-186.

Young, A y Lowe, G. (2001). Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 385(1), 20-27.

Pocorny, J y Schmidt, S. (2001). Natural antioxidant functionality during food processing. Wood head publishing limited Cambridge England. Part 4.