

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA
(Creada por Ley N° 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
TESIS

**“EFECTO DEL RATIO ENCAPSULANTE:PULPA Y LA TEMPERATURA
DE AIRE DE ENTRADA EN EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES
Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE MICROENCAPSULADO DE TUNA
AMARILLA (*Opuntia ficus-indica*)”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
TECNOLOGÍA DE PROCESOS AGROINDUSTRIALES ALIMENTARIOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:
Julio TORRE MONTALVO

ACOBAMBA – HUANCABELICA

2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la Ciudad Universitaria "Común Era"; auditorio de la Facultad Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica, a los 20 días del mes de Noviembre del año 2018, a horas 03:00 pm, se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : Ing. Jimmy Pablo ECHEVARRÍA VICTORIO

SECRETARIO : Mg. Alfonso RUIZ RODRÍGUEZ

VOCAL : Ing. Edson Elvis RAMÍREZ TIXE

Designados con Resolución N° 057-2017-D-FCA-UNH; del; proyecto de investigación, titulado; **"EFECTO DEL RATIO ENCAPSULANTE: PULPA Y LA TEMPERATURA DE AIRE DE ENTRADA EN EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE MICROENCAPSULADO DE TUNA AMARILLA (*Opuntia ficus-indica*)"**

Cuyo autor es el bachiller: **Julio TORRE MONTALVO**

Asesorado por: **M. Sc. Roberto Carlos CHUQUILÍN GOICOCHEA**

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO

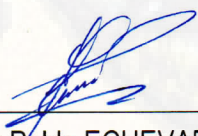


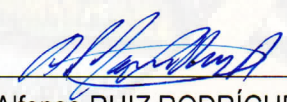
POR MAYORIA

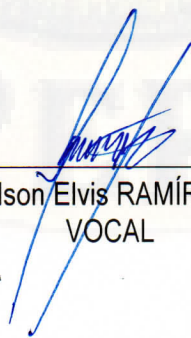
DESAPROBADO

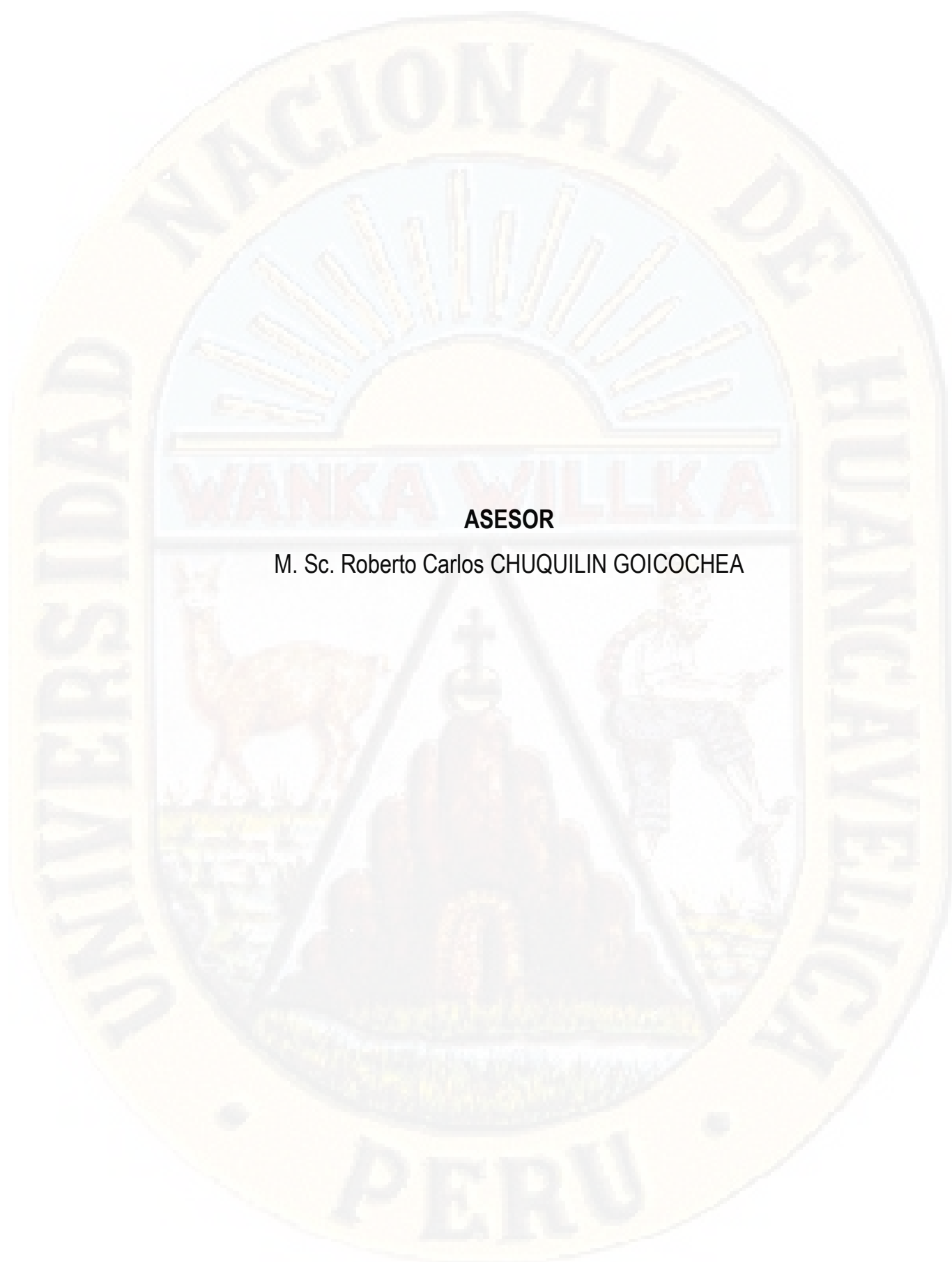


En conformidad a lo actuado firmamos al pie.


Ing. Jimmy Pablo ECHEVARRÍA VICTORIO
PRESIDENTE

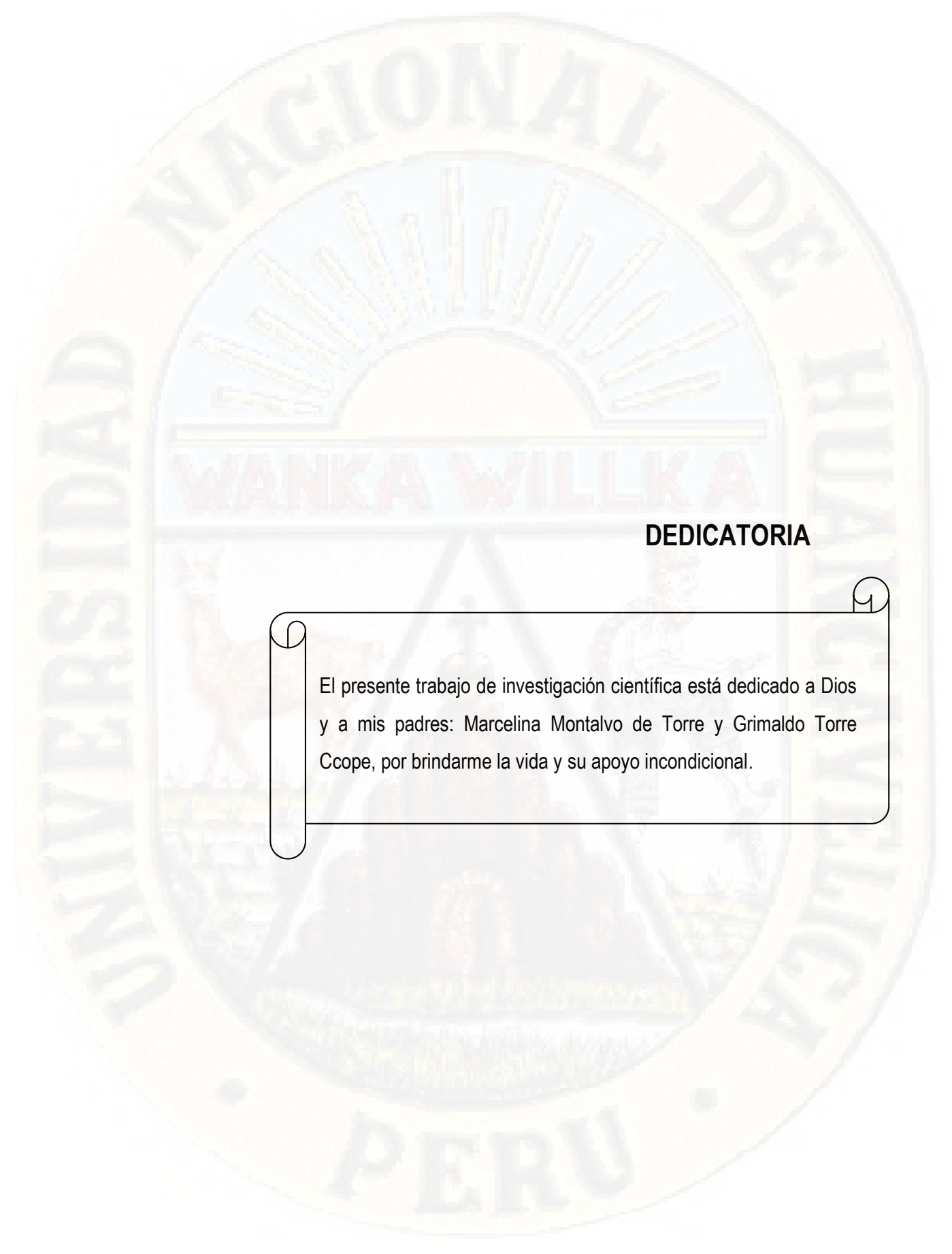

Mg. Alfonso RUIZ RODRÍGUEZ
SECRETARIO


Ing. Edson Elvis RAMÍREZ TIXE
VOCAL



ASESOR

M. Sc. Roberto Carlos CHUQUILIN GOICOCHEA



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación científica está dedicado a Dios y a mis padres: Marcelina Montalvo de Torre y Grimaldo Torre Ccope, por brindarme la vida y su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

- A mis hermanos Grimaldo y Enedina por ser como mis segundos padres durante el transcurso de mi vida universitaria
- Mi gratitud infinita a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica por formarme en sus aulas.
- Al Ing. Roberto Carlos Chuquilin Goicochea por su apoyo durante el transcurso de la ejecución del presente trabajo.
- A la Dra. Clara Raquel Espinoza Silva por permitirme ejecutar mi tesis en el Laboratorio de Investigación de la FAIA de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Índice general.....	iii
Índice de Tablas.....	vi
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Fotografías.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
CAPÍTULO I: PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivos General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Justificación.....	2
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Bases Teóricas.....	8
2.2.1. Tuna.....	8
2.2.1.1. Distribución y naturalización en otras áreas.....	9
2.2.1.2. Clasificación taxonómica.....	9
2.2.1.3. Valor nutritivo.....	10
2.2.2. Microencapsulación.....	10
2.2.2.1. Métodos de encapsulación.....	10
2.2.2.2. Materiales encapsulantes.....	12
2.2.3. Compuestos bioactivos de la tuna púrpura (Opuntia ficus-indica).....	12
2.2.4. Importancia biológica de los compuestos biactivos de la tuna.....	15

2.4. Variables de estudio.....	17
2.4.1. Variable Independiente.....	17
2.4.2. Variable Dependiente.....	17
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	19
3.1. Ámbito del Estudio.....	19
3.2. Tipo de Investigación.....	19
3.3. Nivel de Investigación.....	19
3.4. Método de Investigación.....	20
3.5. Diseño de Investigación.....	20
3.6. Población, Muestra, Muestreo.....	21
3.6.1. Población.....	21
3.6.2. Muestra.....	21
3.6.3. Muestreo.....	21
3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	21
3.7.1. Contenido de polifenoles totales.....	21
3.7.2. Actividad antioxidante.....	21
3.7.3. Colorimetría.....	21
3.7.4. Contenido de Humedad.....	21
3.8. Procedimiento de Recolección de Datos.....	22
3.8.1. Diagrama de flujo del sistema de microencapsulado.....	22
3.8.2. Descripción del sistema de microencapsulado.....	22
3.8.3. Análisis de microencapsulados.....	23
3.8.3.1. Contenido de polifenoles totales.....	23
3.8.3.2. Actividad antioxidante.....	24
3.8.3.3. Color.....	24
3.8.3.4. Contenido de humedad.....	24
3.8.3.5. Rendimiento.....	24
3.8.3.6. Porcentaje de retención o Eficiencia de Encapsulación.....	25
3.9. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	25
3.9.1. Análisis estadístico.....	25
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	26

4.1. Presentación de resultados.....	26
4.1.1. Contenido de polifenoles totales.....	26
4.1.2. Actividad antioxidante.....	28
4.1.3. Colorimetría.....	30
4.1.3.1. Parámetro L*.....	30
4.1.3.2. Parámetro a*.....	32
4.1.3.3. Parámetro b*.....	34
4.1.4. Contenido de Humedad.....	36
4.1.5. Rendimiento.....	38
4.1.6. Retención de compuestos bioactivos.....	40
4.2. Discusión.....	40
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	50
ARTICULO CIENTÍFICO.....	58
ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición nutricional de la tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	10
Tabla 2. Definición operativa e Indicadores.....	18
Tabla 3. Diseño experimental.....	20
Tabla 4. Corridas experimentales que se darán para el experimento.....	20
Tabla 5. Análisis de varianza para un Diseño Factorial Completo.....	25
Tabla 6. Análisis de varianza del contenido en polifenoles totales.....	10
Tabla 7. Coeficientes del modelo de regresión del contenido en polifenoles totales....	28
Tabla 8. Análisis de varianza de la capacidad antioxidante.....	28
Tabla 9. Coeficientes del modelo de regresión de actividad antioxidante.....	30
Tabla 10. Análisis de varianza del parámetro L*.....	30
Tabla 12. Análisis de varianza del parámetro a*.....	32
Tabla 13. Coeficientes del modelo de regresión del parámetro a*.....	32
Tabla 14. Análisis de varianza del parámetro b*.....	34
Tabla 15. Coeficientes del modelo de regresión del parámetro b*.....	34
Tabla 16. Análisis de varianza de la humedad.....	36
Tabla 17. Coeficientes del modelo de regresión de la humedad.....	36
Tabla 18. Análisis de varianza del rendimiento.....	38
Tabla 19. Coeficientes del modelo de regresión del rendimiento.....	38
Tabla 20. Retención de compuestos bioactivos.....	40
Tabla 21. Resumen de la optimización de variables de estudio.....	46
Tabla 22. Predicción de valores de las variables de respuesta.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura química del ácido betalámico (A), betanina (B) e indicaxantina (C)..	14
Figura 2. Diagrama de flujo de microencapsulado de tuna amarilla.....	22
Figura 3. Efectos principales en el contenido en polifenoles totales.....	27
Figura 4. Optimizador del contenido en polifenoles totales.....	27
Figura 5. Efectos principales en la actividad antioxidante.....	29
Figura 6. Optimizador de la actividad antioxidante.....	29
Figura 7. Efectos principales en el parámetro L^*	31
Figura 8. Optimizador del parámetro L^*	31
Figura 9. Efectos principales en el parámetro a^*	33
Figura 10. Optimizador del parámetro a^*	33
Figura 11. Efectos principales en el parámetro b^*	35
Figura 12. Optimizador del parámetro b^*	35
Figura 13. Efectos principales en la humedad.....	37
Figura 14. Optimizador de la humedad.....	37
Figura 15. Efectos principales en el rendimiento.....	39
Figura 16. Optimizador del rendimiento.....	39

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Preparación de materia prima para obtención de pulpa.....	76
Fotografía 2. Filtrado de pulpa de tuna amarilla.....	76
Fotografía 3. Formulación de encapsulante (maltodextrina) y pulpa de tuna amarilla.....	77
Fotografía 4. Secado por atomización pulpa de tuna amarilla.....	77
Fotografía 5. Medición de color con el Colorímetro Konica Minolta.....	78
Fotografía 6. Análisis del encapsulado de pulpa tuna amarilla.....	78
Fotografía 7. Reactivos para determinación de capacidad antioxidante DPPH.....	79
Fotografía 8. Producto final del encapsulado de pulpa de tuna amarilla.....	79

RESUMEN

La tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*) es un fruto estacional de la región Huancavelica, que muy poco se aprovecha, a pesar de ser una fuente de compuesto fenólicos y antioxidantes naturales, es por ello que, se desarrolló pulpa de tuna amarilla encapsulada usando maltodextrina, de tal manera que, se conserven sus propiedades funcionales. Se usó un diseño factorial 2^k cuyas variables independientes fueron: la ratio de agente encapsulante (10 % y 20 %) y la temperatura del aire de entrada (120 °C y 140 °C), y las variables dependientes fueron: el contenido en polifenoles totales (método Folin – Ciocalteau), actividad antioxidante (método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo), humedad (método gravimétrico), rendimiento y parámetros de colorimetría (a, b, L) para medir la eficiencia de encapsulación. El contenido en polifenoles totales y actividad antioxidante máximos alcanzados fueron $231,16 \pm 0,406$ mg ácido gálico equivalente/100 g y $53,86 \pm 2,85$ % de inhibición, respectivamente; para una ratio de agente encapsulante de 10% y temperatura de aire de entrada 120 °C. Con estos valores de las variables independientes, se obtuvieron valores de humedad y rendimiento de: $6,4949 \pm 0,0562$ % y $7,4546 \pm 0,155$ %, respectivamente. La estabilidad del color del encapsulado, así como de sus propiedades funcionales se logran a una ratio de 10% y temperatura de entrada de aire de secado a 120 °C.

Palabras claves: actividad antioxidante, alimentos funcionales, compuesto fenólicos, encapsulación, *Opuntia ficus-indica*.

ABSTRACT

The yellow prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) is a seasonal fruit of the Huancavelica region, that very little is takes advantaged, despite being a source of phenolic compounds and natural antioxidants, it is because of that, yellow prickly pulp encapsulated using maltodextrin was developed, in such a way that, its functional properties are preserved. A 2k factorial design was used whose independent variables were: the ratio of encapsulating agent (10 % y 20 %) and the temperature of the inlet air (120 °C y 140 °C), and the dependent variables were: the content of total polyphenols (Folin-Ciocalteu method), antioxidant activity (free radical method 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil), humidity (gravimetric method), yield and colorimetric parameters (a, b, L) to measure the encapsulation efficiency. The maximum polyphenol content and antioxidant activity reached were $231,16 \pm 0,406$ mg gallic acid equivalent / 100 g and $53,86 \pm 2,85\%$ inhibition, respectively; for an encapsulating agent ratio of 10% and inlet air temperature 120 °C. With these values of the independent variables, moisture and yield values were obtained of: $6,4949 \pm 0,0562\%$ and $7,4596 \pm 0,155\%$, respectively. The color stability of the encapsulation, as well as its functional properties is achieved at a ratio of 10% and drying air inlet temperature at 120 °C.

Keywords: Antioxidant activity, foods functional, phenolic compounds, encapsulation, *Opuntia ficus-indica*.

INTRODUCCIÓN

La tuna (*Opuntia ficus-indica*), una planta que podría ser considerada como un símbolo del distrito de Locroja, provincia de Churcampa - Huancavelica, crece en tierras semi áridos de todo el mundo y es especialmente cultivada en la zona Mediterránea y en América Central y Sudamérica. La planta *Opuntia* es principalmente cultivada por su fruto denominado “tuna”, y en otros países usan diversas partes de la planta como parte de su dieta y para la industria cosmética. El fruto tiene un jugo dulce, y su pulpa posee abundantes y duras semillas pequeñas. En los recientes años, muchos países han incrementado la producción de fruto de tuna, por sus interesantes propiedades nutricionales; en efecto, su riqueza en azúcares, vitamina C, pigmentos, y minerales tales como Ca, Na, Mg, Zn, Fe, y de acuerdo a muchos autores también Mn y Se. Debido a que, su tiempo de almacenamiento en fresco es relativamente corto, se plantea una problemática que ha hecho que, en muchos países, desarrollen estudios sobre el procesamiento y almacenamiento del jugo; además, el zumo puede consumirse como tal o emplearse en la industria alimentaria en la preparación de bebidas con propiedades gustativas y / o nutricionales mejoradas.

Dentro de esta investigación sobre *O. ficus indica* (L.) Mill., variedad amarilla, se ha investigado una posibilidad de procesar la pulpa de tuna como encapsulado por atomización. Se presentan los resultados del estudio de la actividad antioxidante y contenido en polifenoles totales del proceso de encapsulado de pulpa de fruta *O. ficus indica*. No hay artículos científicos en la literatura sobre la presencia de compuestos fenólicos en tuna amarilla, que podrían tener un efecto importante sobre la estabilidad oxidativa del jugo. Los polifenoles, y especialmente los flavonoides, son importantes debido a su contribución a la calidad sensorial de las frutas y también debido a sus propiedades nutricionales y biológicas.

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La tuna es un fruto originario de México cuya producción ocupa una superficie aproximada de 65,000 hectáreas¹. Estos frutos varían en colores que van desde blanco, amarillo, naranja, hasta el rojo y morado². En el Perú, las tunas se producen en zonas andinas muy importantes como: Cajamarca, Ayacucho, Arequipa y una parte de Huancavelica, como es la provincia de Churcampa, zona donde se produce la tuna amarilla. Las tunas de color rojo-morado han sido las más estudiadas en el Perú, que las amarillas, a pesar de haber zonas cuya producción se ha desarrollado más en este color de tuna. Este fruto ha tenido creciente interés debido a estudios que revelan su actividad biológica, impartida por los compuestos bioactivos, entre ellos los compuestos fenólicos. En cuanto a los compuestos fenólicos, son sustancias con capacidad antioxidante que una vez extraídos de sus fuentes, son sensibles a factores ambientales como la luz, oxígeno y a la degradación por radicales libres, por lo que es necesario protegerlos a través de técnicas como la encapsulación, debido a que les proporciona protección y de esta manera permiten que los compuestos tengan mayor estabilidad³. La técnica de secado por aspersión es el método más común para encapsular los compuestos fenólicos, ya que es un método que provee mayor estabilidad al producto final⁴. Se espera que el presente trabajo de investigación contribuya al aprovechamiento de la tuna amarilla de la provincia de Churcampa en la región de Huancavelica.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál será el efecto del ratio de encapsulante:pulpa y la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*)?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del ratio de encapsulante:pulpa y la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*).

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto del ratio de encapsulante:pulpa en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*).
- Evaluar el efecto de la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*).
- Evaluar el efecto de la interacción ratio de encapsulante:pulpa y la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*).

1.4. Justificación

La tuna amarilla al contrario de la tuna morada o roja, no ha sido debidamente estudiada, con la finalidad de encontrarle métodos de darle el valor agregado necesario para su comercialización. Es por ello que, el valor teórico de la presente investigación se basa en la ausencia de un conocimiento acerca del efecto del ratio de encapsulante:pulpa y la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*). La tuna es muy abundante en la provincia de Churcampa, especialmente en el distrito de Locroja, que sólo se produce por temporadas y se cosecha desde enero hasta abril de todos los años, y luego no hay forma de conservar su fruto, de esta forma se ha pensado lograr un producto rico en polifenoles y antioxidantes naturales que se protegen de la oxidación y otros elementos de degradación.

El valor práctico de este trabajo de investigación se encuentra en los hallazgos anteriores que, señalan que el consumo de tuna ha mostrado un efecto en el balance redox del cuerpo humano, en una manera positiva y reduce el daño oxidativo en lípidos. En adición, la literatura incluye pocos estudios sobre la presencia de polifenoles y otros compuestos antioxidantes de la tuna.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Toledo *et al.*⁵ evaluaron la encapsulación por secado por aspersión de compuestos fenólicos de la cáscara de tuna morada (*Opuntia ficus-indica*) utilizando goma arábica y maltodextrina como agentes encapsulantes. Para la encapsulación por secado por aspersión, seleccionaron como condiciones de secado las temperaturas de entrada y salida de 160/80, 170/70, 170/80°C, esto con base en estudios realizados previamente dentro del mismo laboratorio de investigación. Además, estudiaron las concentraciones del agente encapsulante en el producto a secar (10, 15 y 20%). Para obtener las soluciones con las concentraciones antes mencionadas, se partió de un extracto etanólico – acuoso de cáscara de tuna morada y soluciones de agente encapsulante al 30% (p/p). Los encapsulados obtenidos se sometieron a un estudio de conservación de los compuestos fenólicos durante almacenamiento a temperatura ambiente en presencia y ausencia de luz por 3 meses. Se determinó la retención de los compuestos fenólicos cada 15 días. Para determinar los compuestos fenólicos antes y después del secado por aspersión y durante el almacenamiento, se utilizó el método de Singleton y Rossi con el reactivo de Folin-Ciocalteu, expresando los resultados en mg EAG/gss y porcentaje de retención. Encontraron que las condiciones de secado estudiadas (temperatura de entrada y de salida) no afectaron significativamente ($p \leq 0,05$) la retención de los compuestos fenólicos. El efecto del porcentaje de material de pared utilizado en la encapsulación fue significativo ($p \leq 0,05$) en las retenciones (%) de los compuestos fenólicos siendo el 20% el que mostró los valores más elevados, sin embargo, es el que menor contenido total de compuestos fenólicos tiene por unidad de masa. El estudio de conservación durante el almacenamiento permitió determinar que un 10% de material de pared es suficiente para proteger las microcápsulas hasta por tres meses, ya sea en presencia o ausencia de luz ya que los compuestos fenólicos se mantuvieron estables. Ambos agentes encapsulantes estudiados proveen de buena protección a los compuestos fenólicos por lo que cualquiera de ellos puede ser empleados en la encapsulación.

Figueroa-Cares *et al.*⁶ estudiaron el contenido de algunos compuestos químicos y el potencial antioxidante en 12 cultivares de tuna: Cristalina, Mansa y Vaquera (*O. albicarpa*), Amarilla Diamante (*O. ficus-indica*) y Mango (*O. albicarpa*), Amarilla Montesa y Pico Chulo (*O. megacantha*), Pabellón (*O. ficus-indica*), Rosa de Castilla y Torreoja (*O. megacantha*) y Cacalote (*O. cochinera*) y Tapón Aguanoso (*O. robusta* var *Robusta*). El estudio se realizó en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. El diseño experimental fue completamente al azar, se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey. El contenido de ácido ascórbico fue superior en Cacalote con 25 mg 100 g⁻¹. Los cultivares de tuna blanca y amarilla presentaron más ($p < 0,05$) clorofila y la tuna blanca tuvo menos caroteno. El mayor contenido ($p < 0,05$) de betacianina y betaxantina se encontró en Tapón Aguanoso y Cacalote con 681,94 y 428,96 mg.L⁻¹ de betanina, y 276,10 y 249,55 mg.L⁻¹ de indicaxantina. La mayor concentración de fenoles se presentó en Tapón Aguanoso (420,66 mg.L⁻¹), con fruto púrpura, y Amarilla Diamante (348,16 mg.L⁻¹) y Mango (328,74 mg.L⁻¹), con fruto amarillo. La actividad antioxidante fue similar en todos los cultivares, con concentraciones entre 6,12 y 9,58 $\mu\text{mol eq Trolox g}^{-1}$. Los frutos evaluados, debido a la presencia de betalaínas, podrían utilizarse para extraer pigmentos y usarse en la industria como fuente de pigmentos naturales, o fuente natural de antioxidantes.

Vergara⁷ realizó su tesis con el objetivo de estabilizar las betalaínas del extracto obtenido por tecnología de membranas y la pulpa de tuna, utilizando microencapsulación. Para la obtención del extracto de tuna púrpura se aplicó microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF), evaluando membrana cerámica y polimérica. La MF permitió clarificar la pulpa de tuna obteniéndose mejores resultados con membrana tipo cerámica. El extracto UF correspondió a una solución clarificada (sin mucílago), con un contenido de betalaínas similar al de la pulpa, pero con un menor contenido de azúcares. Encapsuló extracto UF y pulpa de tuna púrpura (P) mediante secado por atomización utilizando Capsul (C) y K4484 (K) como agentes encapsulantes de acuerdo a un diseño experimental compuesto central más punto axial para cada sistema de micropartículas estudiado (P-C, P-K, UF-C y UF-K). La

temperatura del aire de entrada al secador y la relación (P o UF)/agente encapsulante tuvieron un efecto significativo sobre la eficiencia de encapsulación (EE), la recuperación (R) de betacianinas y betaxantinas y el rendimiento del proceso. La condición óptima de la temperatura de secado estuvo determinada por el tipo de agente encapsulante y la relación (P o UF)/(C o K) por el tipo de extracto y agente encapsulante. En los sistemas con pulpa (P-C, P-K) se incorporó menor cantidad de polímero, sugiriendo la participación del mucílago como agente encapsulante. Todos los sistemas de micro partículas obtenidos bajo condiciones óptimas mostraron EE de betacianinas y betaxantinas sobre 98% debido a una fuerte interacción betalaínas-polímero por interacciones electrostáticas y/o formación de puentes de hidrógeno. Las recuperaciones de betacianinas y betaxantinas alcanzaron valores entre 68,5 – 77,8 % y 79,2 - 100%, respectivamente y sobre 62% de rendimiento. Se estudió la cinética de degradación de betacianinas y betaxantinas desde micro partículas obtenidas bajo condiciones óptimas, durante el almacenamiento a 30, 45 y 60°C. La degradación de betalaínas siguió una cinética de pseudo-primer orden a todas las temperaturas y sistemas estudiados. Las constantes de velocidad de degradación de betacianinas y betaxantinas fueron significativamente mayores en el sistema P-C respecto a P-K, UF-C y UF-K. No se observaron diferencias significativas en la energía, entalpía ($\Delta H^\ddagger$) y entropía ($\Delta S^\ddagger$) de activación entre las micropartículas de los sistemas estudiadas. Se obtuvo una relación lineal en el gráfico ($\Delta H^\ddagger$) versus ($\Delta S^\ddagger$) ($R^2=0,995$), este efecto de compensación señala que todos los sistemas de micropartículas siguieron un mismo mecanismo de degradación de betalaínas, siendo la hidrólisis el principal. Se formuló una mezcla seca para bebida refrescante con los sistemas de micropartículas obtenidas bajo condiciones óptimas y se evaluó su estabilidad durante el almacenamiento a 30°C. Las micropartículas obtenidas en este estudio podrían ser aplicadas como colorantes con actividad antioxidante en la industria de alimentos para el diseño de productos instantáneos como jugos, sopas entre otros, debido a su alta estabilidad y solubilidad en agua.

Paz *et al.*⁸ encapsularon la pulpa de tuna (*Opuntia ficus-indica*) (CP) con un aislado de proteína de soya (SPI) y una mezcla de SPI con maltodextrina (MD) o inulina (I).

Usaron un diseño estadístico factorial para cada sistema (CP-SPI, CP-(SPI y MD) y CP-(SPI y I)). Las variables independientes fueron el ratio de agente encapsulante y CP (1:1 y 5:1) y la temperatura del aire de entrada (100 y 140 °C), y las variables dependientes fueron la eficiencia de encapsulación de polifenol, betacianina y betaxantina. El contenido total de polifenol, betacianina y betaxantina en CP fue de $73,2 \pm 1,0$ mg ácido gálico equivalente/ 100 g, $22,4 \pm 0,31$ mg/100 g y $7,6 \pm 0,12$ mg/100 g, respectivamente. Un ratio de pulpa/encapsulante de 5:1 a 100 °C y 140 °C de temperatura de aire de entrada fueron las condiciones óptimas para los sistemas CP-SPI y CP-(SPI - MD), respectivamente; para el sistema CP-(SPI - I), el ratio y la temperatura de aire de entrada fueron 4:1 y 105 °C, respectivamente. La estabilidad de los polvos obtenidos bajo condiciones óptimas para cada sistema fue estudiado a 60 °C en la oscuridad. Se observaron incrementos de polifenoles y decrecimiento betalainas en todos los sistemas durante el almacenamiento, y los pigmentos amarillos (betaxantina) fueron más estables que los pigmentos rojos (betacianina).

Otálora *et al.*⁹ evaluaron la microencapsulación de betalaínas de fruto de tuna por secado spray fue evaluada como una estrategia de estabilización para estos pigmentos. Las betalaínas usadas como agente activo fueron extraídas de la pulpa de la tuna *Opuntia ficus-indica* (BE) y encapsuladas con maltodextrina y mucílago de cladiodo MD-CM y con MD solo. Los microencapsulados fueron caracterizados por microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis térmico (TGA-DSC “thermal gravimetric analysis- differential scanning calorimetry), colorimetría, así como, su humedad, actividad de agua y contenido de fibra dietética. El contenido de agente activo fue medido por espectrofotometría UV-Vis y su composición confirmada por HPLC-ESIMS (High-performance liquid chromatography combined with electrospray mass spectrometry). Se realizó una prueba de estabilidad del pigmento en almacenamiento a 18 °C y diferentes humedades relativas. La adición de CM en la formulación incrementó la eficiencia de encapsulación, redujo el contenido de humedad, y se logró obtener más uniformidad en el tamaño de partícula en el encapsulado, con un alto contenido de fibra dietética. Estos microencapsulados son

aditivos funcionales promisorios para ser usados como aditivos en la industria alimentaria.

Zhang *et al.*¹⁰ reportó que, la encapsulación de procianidinas de semillas de uva con goma arábiga alcanzó una eficiencia de encapsulación a 88,8%, y Kosaraju *et al.*¹¹ reportó 27% de polifenoles en extracto de hoja de olivo con quitosano, ambos experimentos usaron secado por atomización. Además, otras técnicas para encapsulación de polifenoles han sido reportadas tales como nanoprecipitación de quercitina¹² y catequinas de té por gelación iónica¹³ con una eficiencia de encapsulación de 99% y 24 a 53%, respectivamente.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Tuna

Amaya¹⁴ señala que, la tuna (*Opuntia ficus-indica*) es una planta de gran importancia en los sistemas agro-pastoriles de los andes peruanos. Esta cactácea se encuentra ampliamente distribuida en el país, especialmente en los valles interandinos donde ha encontrado condiciones adecuadas para su establecimiento. Sus frutos son consumidos en forma natural tanto por campesinos como por pobladores locales y son comercializados en los principales mercados del país. Con éstos también se elaboran productos derivados como mermeladas y bebidas. Sus tallos se utilizan como forraje para el ganado, especialmente en épocas de sequía, igualmente son útiles en el establecimiento de cercos vivos y cuando la planta muere, sus restos se usan para la elaboración de fertilizantes orgánicos. Pero el uso más frecuente que se le da a esta planta es como hospedera para la crianza de un insecto conocido como cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa), en cuyo interior se produce el carmín, pigmento natural usado en la industria alimenticia, textil y farmacéutica. El Perú sigue siendo el primer productor de carmín a nivel mundial, aportando entre el 85 y el 90% de la demanda internacional, y la actividad productiva se basa en la recolección artesanal de estos insectos, principalmente en la zona de Ayacucho. Actualmente el consumo del fruto de la tuna viene creciendo continuamente en todo el mundo por sus valores nutricionales, como también por sus características

sensoriales, proporcionados por el aroma y sabor características de la especie, siendo importante hacer extensivo el consumo de frutos y hojas de tuna por sus propiedades antioxidantes cuyo potencial ha sido reconocido por la FAO para el desarrollo de las regiones áridas y semi áridas, especialmente en los países en desarrollo.

2.2.1.1. Distribución y naturalización en otras áreas

En el siglo XVIII los navegantes la distribuyeron en gran parte del mundo, ya que la consumían en ensaladas por sus propiedades antiescorbúticas. En la actualidad la forma espinosa de esta planta es considerada como maleza en Sudáfrica y en Australia, ya que invade terrenos dedicados a ganadería. En los diferentes países tropicales donde se la cultiva o donde se naturalizó, *O. ficus-indica* ha sufrido variaciones genotípicas y fenotípicas a las que los agricultores distinguen y dan nombres, aunque en muchas oportunidades de nivel específico o varietal, mientras que deberían nombrarse como cultivares a las dos formas la *O. ficus-indica* y la *O. f. amyclaea*. En general la introducción de la especie *O. ficus-indica* está registrada en los distintos países y no se dispone de datos o incluso se dice expresamente que no se conocen detalles sobre la introducción de la forma espinosa¹⁴.

2.2.1.2. Clasificación taxonómica

El primer nombre español es Higo de las Indias, que alude a su origen, las "Nuevas Indias" y de allí su primer nombre científico: *Cactus ficus-indica* L. El nombre *ficus-indica* había sido usado en "frases diagnósticas" ya mucho antes de Linneo, para designar varias especies:

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Caryophyllales
Familia	: Cactaceae
Subfamilia	: Opuntioideae
Género	: Opuntia

Especie : *Opuntia ficus-indica*

Fuente: Amaya¹⁴

2.2.1.3. Valor nutritivo

Esta es la composición nutricional de la tuna:

Tabla 1. Composición nutricional de la tuna (*Opuntia ficus-indica*).

Parámetro	Valor aproximado
Ceniza (%)	0,52 ± 0,03
Proteína (%)	0,27 ± 0,03
Grasa (%)	0,13 ± 0,69
Fibra cruda (%)	0,72 ± 0,43
Sólidos solubles totales (°Brix)	9,67 ± 0,24
Humedad (%)	84,86 ± 0,02
Acidez titulable (%)	0,074 ± 0,01
pH	3,32 ± 0,02

Fuente: Aquino *et al.*¹⁵.

2.2.2. Microencapsulación

La microencapsulación es una técnica mediante la cual compuestos activos, sólidos, líquidos o gaseosos (antioxidantes, sabores, bactericidas, etc.) se introducen en una matriz o sistema pared de naturaleza polimérica con el fin de proteger los activos del medioambiente, de su interacción con otros componentes del alimento o bien para controlar su liberación¹⁶.

Para definir el método de encapsulación y el agente encapsulante más apropiado es importante definir: cuál será la aplicación de las micropartículas, la composición de los ingredientes, el mecanismo de liberación, tamaño de partícula, forma física final y el costo, entre otros¹⁷.

2.2.2.1. Métodos de microencapsulación

Algunas de las técnicas usadas para microencapsulación son: secado por atomización, liofilización, extrusión, recubrimiento por lecho fluidizado,

atrapamiento por liposomas, coacervación^{18,19}, inclusión, extrusión centrífuga, suspensión rotacional, separación y polimerización interfacial²⁰ entre otros. La selección del método de encapsulación se basa en los costos, en las propiedades del material a encapsular, en el tamaño deseado de las micropartículas, en la aplicación y en el mecanismo de liberación²¹.

El secado por atomización es el método de encapsulación más utilizado en la industria de alimentos para encapsular compuestos activos y proteger materiales, de forma económica, simple y continua^{22, 23, 24}, siendo seleccionado en este estudio como método de encapsulación. Mediante esta técnica la solución o dispersión de alimentación se atomiza (con boquilla o disco giratorio), en forma de finas gotas en un flujo de aire caliente. Cuando las pequeñas gotas de líquido entran en contacto con el aire caliente se obtiene instantáneamente un polvo debido a la rápida evaporación del agua²³. Una de las ventajas de esta técnica además de su simplicidad es su utilidad para encapsular materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (5 a 30 s)^{18, 24}.

Mediante este método es posible obtener micropartículas en polvo con baja actividad de agua lo que facilita el transporte, manipulación, almacenamiento del producto y permite asegurar la calidad microbiológica²⁵. Las variables más importantes del proceso son la temperatura y el flujo de alimentación, la temperatura del aire de entrada al secador y la temperatura de salida del producto²⁶. La temperatura de ingreso del aire es proporcional a la velocidad de evaporación (velocidad de secado) y al contenido final de agua de las micropartículas. Temperaturas de ingreso bajas producen micropartículas más húmedas y con facilidad para aglomerarse. Temperaturas muy altas causan excesiva evaporación, lo cual lleva a fracturas de las micropartículas exponiendo al activo encapsulado a una degradación o liberación anticipada²⁷. En algunos equipos de laboratorio la temperatura de salida del aire no puede ser directamente controlada y depende de la temperatura de ingreso²⁸. Por ello resulta muy conveniente la aplicación de diseños estadísticos para analizar la influencia de estos parámetros y optimizar el proceso.

2.2.2.2. Materiales encapsulantes

Se ha estudiado una gran variedad de materiales encapsulantes para aplicaciones en alimentos, sin embargo, es importante considerar características como la solubilidad en agua, permeabilidad, facilidad de aplicación, baja viscosidad en soluciones concentradas y naturaleza hidrofóbicas o hidrofílicas de los mismos. Todos estos factores influirán en las características del producto final¹⁸.

Como materiales encapsulantes se han utilizado: carbohidratos (almidones de diferentes fuentes: papa, arroz, maíz, entre otros)²⁹, maltodextrinas de diferente equivalente de dextrosa (ED)^{30, 31}, ciclodextrinas, carboximetilcelulosa; proteínas³²; gelatina³³, caseinatos^{19, 34}, aislado proteico de soja, suero de leche, zeína y aislado proteico de suero^{35, 36}; grasas; gomas (goma arábica, goma mezquita); alginato de sodio, carragenina y quitosano³⁷. En general, estos agentes encapsulantes han mostrado una función protectora sobre el agente activo contra el daño oxidativo, siendo la estabilidad del activo dependiente del tipo de agente encapsulante³³.

Por otro lado, se ha reportado que el mucílago del nopal presenta propiedades encapsulantes³⁸. El mucílago es una mezcla compleja de polisacáridos con estructura similar a las pectinas (<50%) y está compuesto por una fracción insoluble (44,3 %) formada por ácido urónico, xilosa, ramnosa, y galactosa, y una fracción soluble (15,6 %) compuesta por ácido urónico, arabinosa y galactosa. La pulpa de tuna contiene aproximadamente 3,8% de éste hidrocoloide³⁹.

Los agentes encapsulantes utilizados en este estudio fueron Capsul y K4484. El Capsul es un almidón modificado químicamente derivado del maíz, que incorpora a su estructura un componente lipofílico, presentando tanto propiedades hidrofílicas como hidrofóbicas. Solubiliza completamente en agua a temperaturas sobre 82°C, tiene muy baja viscosidad y su pH varía entre 3 y 4. El K4484 es una dextrina de tapioca con alta solubilidad en agua a temperaturas sobre 70°C.

2.2.3. Compuestos bioactivos de la tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*)

La tuna pertenece a la familia de las Cactáceas, subgénero *Opuntia* crece en regiones áridas y semiáridas⁴⁰. En el mundo se conocen aproximadamente 300

especies, las que son originarias del continente americano y se encuentran distribuidas ampliamente en México, presentes desde el norte de Canadá hasta el sur de Chile, también en Sudáfrica y países de la cuenca del Mediterráneo^{41, 42}.

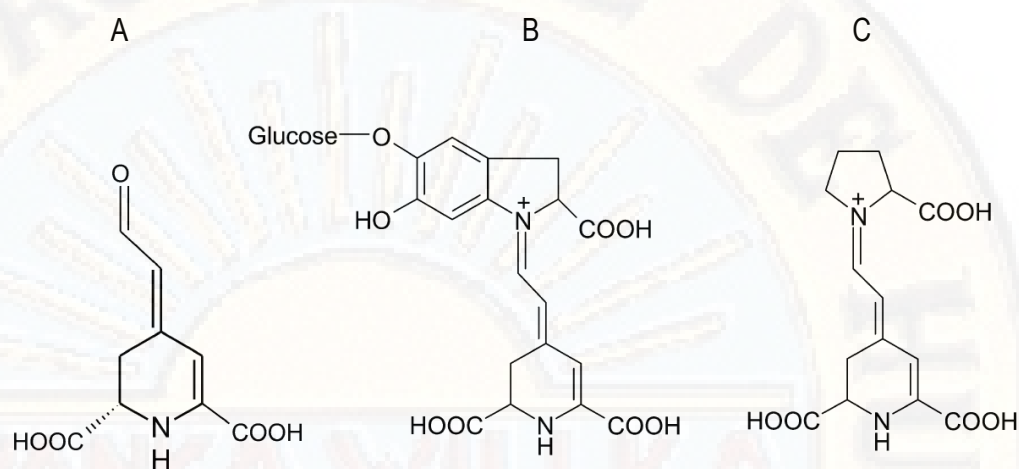
La especie más utilizada es *Opuntia ficus-indica* que se caracteriza por tener frutos dulces, jugosos, de distintos colores (púrpura, rojo, anaranjado o amarillo), con abundante pulpa, numerosas semillas y cáscara generalmente delgada, cubierta de pequeños grupos de espinas⁴².

Tanto los frutos como los cladodios de la tuna son fuente de compuestos bioactivos, entre los que destacan la fibra dietética, que incluye hidrocoloides como los mucílagos; pigmentos de diversos colores como las betalainas, y en menor proporción, carotenoides (frutos anaranjados); también minerales, como calcio y potasio y algunas vitaminas, como la vitamina C; aminoácidos libres (en particular prolina, glutamina y taurina) y polifenoles². Todos estos compuestos son apreciados desde el punto de vista de una dieta saludable y también como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos⁴³.

En el ecotipo púrpura los pigmentos responsables del color son las betalainas, los cuales derivan del ácido betalámico (Figura 1-A) y son solubles en agua. Se clasifican principalmente en dos grupos: las betacianinas, responsables del color rojo-púrpura y las betaxantinas, de coloración amarillo-anaranjado. En las betacianinas el ácido betalámico está unido al grupo 3,4-dihidroxifenilalanina (DOPA), que puede estar o no glicosilado, mientras que en las betaxantinas está unido con aminoácidos o derivados aminos. Ambos pigmentos absorben a distintas longitudes de onda; las betacianinas a 535-550 nm y las betaxantinas a 475-480 nm en el rango de luz visible^{42, 44, 45, 46, 47}.

Dentro de las betacianinas de la tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) se han identificado principalmente la betanina (Figura 1-B) y en menores niveles la isobetanina⁴⁸. Dentro de las betaxantinas se ha identificado sólo la indicaxantina (Figura 1-C)^{41, 44, 47, 49}. Las betacianinas y betaxantinas se encuentran presentes tanto en la cáscara como en la pulpa del fruto^{47, 50, 51}. En otras variedades de tuna púrpura, como *Opuntia undulata*, se ha identificado la presencia de los mismos

compuestos, mientras que en *Opuntia stricta* solamente se han detectado betacianinas, betanina e isobetanina^{47, 49}.



Fuente: Allegra *et al.*⁴⁴, Azeredo⁵².

Figura 1. Estructura química del ácido betalámico (A), betanina (B) e indicaxantina (C).

En tunas púrpuras (*Opuntia ficus-indica*) cultivadas en Chile, el contenido de betacianinas presente en el fruto entero (con cáscara) fluctúa entre 16,6 y 62,4 mg 100 g⁻¹ expresado como betanina⁴⁶. Otros estudios reportan que el contenido de betanina en *Opuntia ficus-indica* varía entre 14 y 19 mg 100 g⁻¹^{45, 47, 49}. Estudios recientes, han reportado diversos contenidos tanto de betanina como de indicaxantina en pulpa de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*). Sáenz *et al.*⁴⁸ encontraron contenidos de 28,09 mg 100 g⁻¹ de betacianinas expresadas como betanina y 9,96 mg 100 g⁻¹ de betaxantinas expresadas como indicaxantina. Otros autores han informado 41,05 mg 100 g⁻¹ y 18,65 mg 100 g⁻¹ de betacianinas y betaxantinas, respectivamente². El contenido de betalainas depende del cultivar o variedad, madurez, clima y procedencia del fruto^{43, 50, 51, 53}.

Actualmente, la betarraga (*Beta vulgaris*) es la fuente comercial de betanina, la cual se utiliza como colorante natural en la industria de alimentos desde hace años⁵⁴. La betanina, también llamada “rojo-betarraga” se encuentra aceptada en diversas legislaciones y clasificada como aditivo E-162 (EU) y 73,40 (FDA, EEUU). Se utiliza principalmente para colorear alimentos que no son tratados

térmicamente, como yogurt, helados, jarabes, etc.^{45, 55, 56}. La tuna púrpura comparada con la betarraga al ser una fruta y no una raíz, presenta considerables ventajas tecnológicas y sensoriales, no contiene nitratos, es más aromática, no posee el olor presente en la betarraga debido a la geosmina y el 3 sec-butil-2-metoxipirazina, no muestra toxicidad y sus pigmentos no provocan ninguna reacción alérgica^{2, 41, 53, 57}. Así, la pulpa de tuna púrpura es una alternativa para la producción de betanina, que no necesitaría una nueva certificación, ya que son los mismos pigmentos de la betarraga⁵⁸.

Además, la tuna púrpura posee compuestos fenólicos, lo cual también contribuye a la actividad antioxidante^{2, 41, 59, 60, 61}. El ecotipo púrpura (*Opuntia ficus-indica*), es el que presenta la mayor concentración de polifenoles totales, alrededor de 660 mg L⁻¹ de jugo². Otros autores han reportado valores más elevados del orden de 777,4 mg L⁻¹ y 900 mg L⁻¹ de pulpa^{48, 62}.

2.2.4. Importancia biológica de los compuestos bioactivos de la tuna

La tuna es una fruta que está siendo considerada como un alimento de importancia nutracéutica y funcional, ya que posee constituyentes conocidos como funcionales y promotores de la salud⁵⁷. Varios autores han reportado que las betalaínas (betanina e indicaxantina) presentes en tuna púrpura poseen actividad antioxidante, por lo que su consumo se asocia a la protección contra enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo^{2, 41, 61}. La actividad antioxidante de las betalaínas se atribuye al grupo fenólico y grupo amino cíclico presentes en su estructura, por lo cual podrían donar átomos de hidrógeno y/o electrones a radicales libres^{63, 64}. En betacianinas la glicosilación reduce la actividad antioxidante. Además la estructura 6-O-glicosilada produce valores más elevados que la 5-O-glicosilada y la posición C-5 de los grupos hidroxilo en agliconas mejora la actividad antioxidante^{63, 65, 66}. La naturaleza catiónica de las betalaínas favorecería la interacción de estas moléculas solubles en agua con moléculas polares de las membranas y de las lipoproteínas de baja densidad (LDL)⁶³.

La evidencia científica describe beneficios del consumo de la tuna, como efectos antiulcerosos y efectos hepatoprotectores en ratas^{59, 61}. Diversos experimentos in vitro e in vivo muestran que las betaxantinas y betacianinas poseen actividad antioxidante en ambientes biológicos como membranas celulares y células^{44, 61}. También se han evidenciado acciones antiinflamatorias en células endoteliales y efectos sobre células de líneas tumorales^{67, 68}. Wu *et al.*⁶⁹ reportaron que las betalainas presentes en frutos de pitaya roja tienen un fuerte poder inhibidor sobre la proliferación de células cancerígenas in vitro. Gentile *et al.*⁶⁷ observaron que las betalainas protegen células endoteliales contra la oxidación, lo que indicaría un efecto protector contra procesos inflamatorios conducentes a problemas cardiovasculares posteriores.

Investigaciones en seres humanos han demostrado que el consumo de pulpa de tuna puede disminuir el estrés oxidativo en individuos sanos y que la betanina y la indicaxantina son altamente biodisponibles. Además se detectó la incorporación de betalainas en LDL, lo que sugiere que tanto betanina como indicaxantina pueden participar en la protección del LDL contra modificaciones oxidativas⁶¹.

Pruebas clínicas mostraron que el consumo de la fruta influye positivamente en el balance redox del organismo disminuyendo el daño oxidativo de los lípidos, en tanto que la ingesta de jugo de betarraga retarda la oxidación de los lípidos, efectos que se atribuyen a las betalainas⁶⁴. Los estudios in vivo que han sido reportados coinciden en señalar que las betalainas estarían relacionadas con diversos efectos protectores contra procesos oxidativos en el organismo, contribuyendo por lo tanto a prevenir la incidencia de enfermedades no transmisibles.

La tuna púrpura posee compuestos fenólicos, los cuales presentan propiedades antioxidantes en sistemas biológicos que se atribuyen a su capacidad para inactivar radicales libres y quelar metales. Se han descrito mecanismos por: donación de un átomo de hidrógeno a través de la ruptura homolítica del enlace O-H y transferencia de electrones⁷⁰. En pulpa de tuna de diversos ecotipos se han identificado polifenoles como: quercetina, kaempferol y derivados de isoramnhetina⁶⁰, isoramnhetina-3-rutinosido, rutina y kaempferol-3-rutinosido entre

otros⁵⁹. La tuna púrpura es la variedad que contiene mayor cantidad de flavonoides totales y valores ORAC^{2, 59}.

2.3. Hipótesis

Hipótesis de la investigación

De acuerdo a lo anteriormente planteado, se puede proponer la siguiente hipótesis: Existe efecto significativo del ratio de encapsulante:pulpa y la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*).

2.4. Variables de estudio

2.4.1. Variable Independiente

- Ratio encapsulante/pulpa.
Niveles: 10% – 20%
- Temperatura de entrada de aire.
Niveles: 120 °C – 140 °C

2.4.2. Variable Dependiente

- Polifenoles totales.
- Actividad antioxidante.
- Color.
- Humedad.

Tabla 2. Definición operativa e Indicadores.

NOMINAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	INDICADORES
Ratio encapsulante/pulpa	Independiente	Ratio peso/peso
Temperatura de entrada de aire	Independiente	Temperatura
Contenido de polifenoles totales	Dependiente	mg equivalente ácido gálico /100 g
Actividad antioxidante	Dependiente	Porcentaje de actividad antioxidante
Color	Dependiente	L*a*b
Contenido en humedad	Dependiente	Humedad peso/peso

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito del estudio

El área de influencia del proyecto fue el distrito de Locroja en la Provincia de Churcampá, Huancavelica; debido a la abundancia de la tuna amarilla; cuya información fue analizada, procesada y sistematizada en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

Ubicación política

Región : Huancavelica
Departamento : Huancavelica
Provincia : Churcampá
Distrito : Locroja

Ubicación geográfica

Latitud Sur : 12° 43' 22".
Longitud Oeste : 74° 25' 16".
Altitud : 3275 m.s.n.m.

3.2. Tipo de Investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que, busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación.

3.3. Nivel de Investigación

El nivel de investigación en el presente trabajo de investigación fue experimental, ya que, se manipularon variables como la ratio encapsulante : pulpa y la temperatura del aire de entrada.

3.4. Método de Investigación

El método general utilizado en la investigación fue el método hipotético – deductivo. Se partió de una hipótesis, la misma que mediante las muestras obtenidas se hizo una deducción para toda la población al contrastar las hipótesis estadísticamente.

3.5. Diseño de Investigación

Se aplicó un Diseño Factorial Completo 2^2 . Los resultados derivados por cada tratamiento se someterán y estarán sujetos a un análisis de varianza (ANVA).

Tabla 3. Diseño experimental.

Temperatura (°C)	Ratio encapsulante/pulpa	
	10%	20%
120	R ₁₁₁	R ₂₁₁
	R ₁₁₂	R ₂₁₂
	R ₁₁₃	R ₂₁₃
140	R ₁₂₁	R ₂₂₁
	R ₁₂₂	R ₂₂₂
	R ₁₂₃	R ₂₂₃

Tabla 4. Corridas experimentales que se darán para el experimento.

N°	Ratio	Temperatura	Contenido polifenoles totales	Actividad antioxidante	Color	Humedad
1	10%	140 °C				
2	10%	140 °C				
3	10%	140 °C				
4	10%	120 °C				
5	10%	120 °C				
6	10%	120 °C				
7	20%	140 °C				
8	20%	140 °C				
9	20%	140 °C				

10	20%	120 °C
11	20%	120 °C
12	20%	120 °C

Se hicieron cuatro tratamientos y tres repeticiones para cada uno y se determinaron como variables respuesta: el contenido de fenoles totales, actividad antioxidante, color y humedad.

3.6. Población, Muestra, Muestreo

3.6.1. Población

En el presente trabajo de investigación la población objetivo estará conformada por la producción de tuna amarilla del distrito de Locroja, provincia de Churcampa.

3.6.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 25 kg de tuna amarilla.

3.6.3. Muestreo

El proceso de muestreo se realizó al azar de acuerdo al diseño experimental, con una cantidad de 793,61 g de tuna, obteniendo una pulpa filtrada de 300 g. Luego se diluyo 1 : 3 respecto pulpa y agua, para posteriormente pesar 100 gramos de dilución con 10 – 20% de maltodextrina respectivamente.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Contenido de polifenoles totales

El contenido de polifenoles se cuantificó por el método de Folin-Ciocalteu⁷⁴.

3.7.2. Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó de acuerdo al método Cam *et al.*⁷⁵

3.7.3. Colorimetría

El color fue determinado con un colorímetro Konica Minolta R400, mediante lectura directa.

3.7.4. Contenido en Humedad

El contenido de humedad se determinó por el método AOAC 925,40⁷⁶.

3.8. Procedimiento de Recolección de Datos

3.8.1. Diagrama de flujo del sistema de microencapsulado

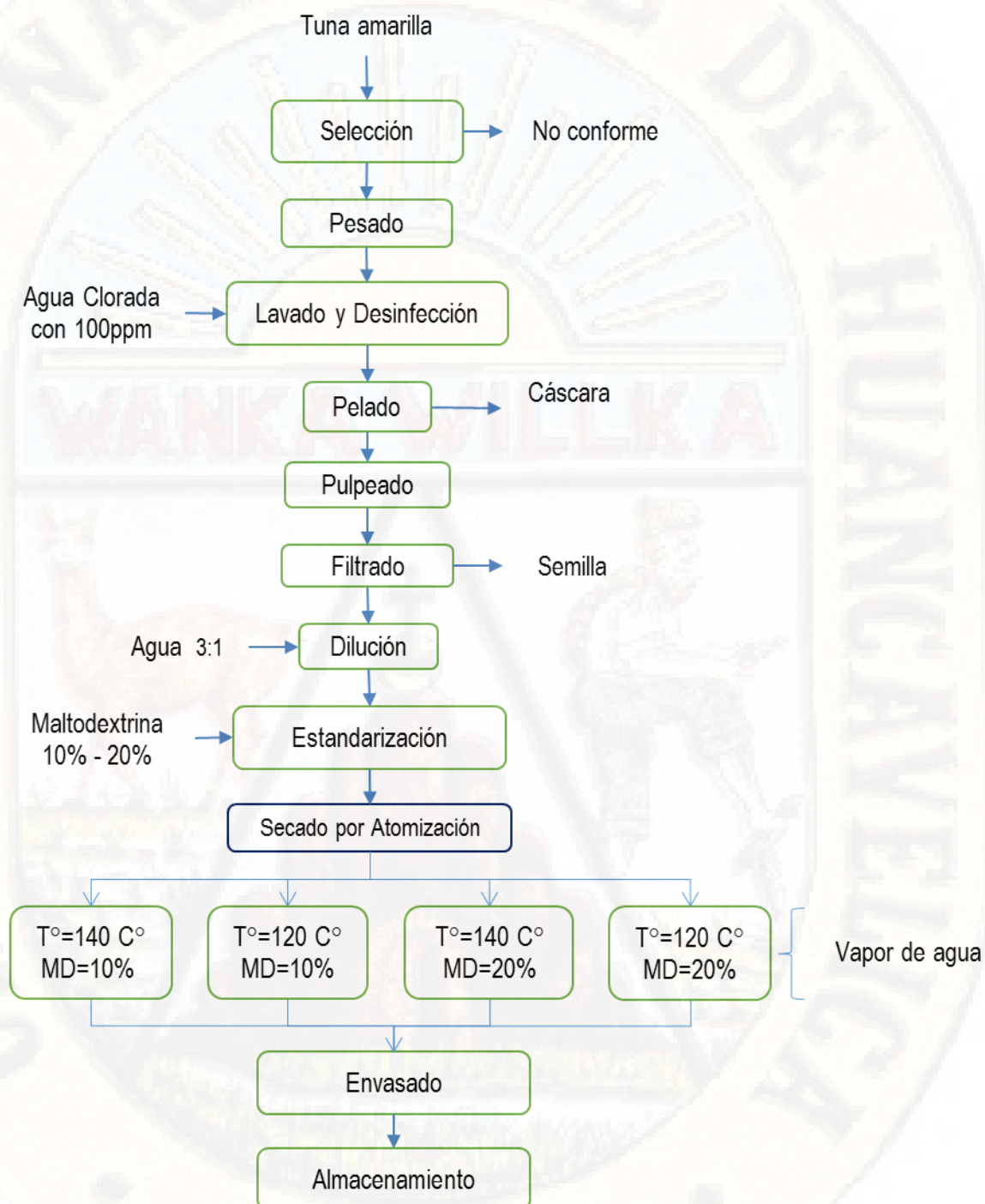


Figura 2. Diagrama de flujo de microencapsulado de tuna amarilla.

3.8.2. Descripción del sistema de microencapsulado

- a. **Materia prima:** Se usaron 793,61 g de tuna.
- b. **Selección:** Se seleccionaron las tunas separándose las que estaban en buen estado de las que estaban magulladas, podridas u otro defecto que pueda influir en la calidad del producto final.
- c. **Lavado:** Se lavaron las tunas amarillas con agua potable para eliminar tierra y restos de cosecha.
- d. **Desinfección:** Se desinfectaron las tunas amarillas con agua clorada a 100 ppm.
- e. **Pulpeado:** Se separó la pulpa de la cáscara y las semillas.
- f. **Filtrado:** Se hizo un filtrado con un tamiz de 0,5 mm de orificio.
- g. **Dilución:** Luego la pulpa se diluyó con agua en proporción 1 a 3, es decir 50 g de pulpa con 150 g de agua.
- h. **Adición del encapsulante:** El encapsulante se calculó en función al peso de la dilución de tuna con agua. Se usaron porcentajes de 10 y 20% respecto a la dilución, y se mezcló a agitación constante durante 5 min. Se usaron 10 g de maltodextrina con 100 g de dilución respectivamente.
- i. **Atomización:** las soluciones resultantes fueron alimentadas en un spraydryer. El spraydryer fue operado a temperaturas de aire de entrada en un rango de 120 ± 5 °C. El flujo de aire y velocidad de alimentación, fueron 473 L/h, 10 mL/min, respectivamente, para el sistema de encapsulación.
- j. **Envasado:** Los polvos resultantes fueron envasados y protegidos de la exposición a la luz.
- k. **Almacenamiento:** Los microencapsulados de tuna amarilla fueron almacenados a 20 °C para su subsecuente análisis.

3.8.3. Análisis de los microencapsulados

3.8.3.1. Contenido de polifenoles totales

Las macropartículas (200 mg) fueron dispersadas en 1 mL de acetonitrilo y 1 mL de metanol : ácido acético : agua (50:8:42 v/v/v). Esta dispersión se agitó con un vortex (1 min), se ultrasonificó dos veces por 20 min, se centrifugó a 112000 g por

5 min, y se filtró (0,22 mm Millipore filter). El contenido de polifenoles se cuantificó por el método de Folin-Ciocalteu⁷⁴.

3.8.3.2. Actividad antioxidante

La actividad antioxidante fue determinada de acuerdo con el método de Cam *et al.*⁷⁵; para ello se mezclaron 0,1 mL de muestras con 0,9 mL de 100 mM Trise-HCl buffer (pH 7,4) a los cuales se le añadieron 1 mL de DPPH (0,500 mM en etanol). La muestra control fue preparada de manera similar añadiendo 0,1 mL de agua en lugar de la muestra. Las mezclas fueron agitadas vigorosamente y se dejaron por 30 min. La absorbancia de la solución resultante fue medida a 517 nm por un espectrofotómetro UV-vis. La mezcla de reacción sin DPPH se utilizó para la corrección de fondo. La ecuación se aplicó para evaluar la actividad antioxidante:

$$\text{Actividad antioxidante} = \left[1 - \frac{A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}}\right] \times 100$$

Donde A_{muestra} es la absorbancia del microencapsulado a 517 nm y A_{control} es la absorbancia de la muestra control a 517 nm⁷⁵.

3.8.3.3. Color

El color de la muestra seca y la muestra seca reconstituida (L, a, y b) fue medida usando imágenes digitales y un Equipo MINOLTA CR-200b⁷⁷.

3.8.3.4. Contenido de humedad

Se usó el método de la AOAC 925.40⁷², basada en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento hasta obtener peso constante. La fórmula para el cálculo es:

$$\text{Humedad \%} = \frac{(M - m)100}{M}$$

En la que:

M = Peso inicial en gramos de la muestra.

m = Peso en gramos del producto seco.

3.8.3.5. Rendimiento

El rendimiento del microencapsulado se calculó con la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{P_{mc}}{P_{ta}} \times 100$$

Dónde:

P_{mc} = Peso en gramos del microencapsulado.

P_{ta} = Peso en gramos de la pulpa de tuna amarilla diluida que entra al atomizador.

3.8.3.6. Porcentaje de Retención o Eficiencia de Encapsulación

El porcentaje de retención o eficiencia de encapsulación se calculó con la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{P_E}{P_F} \times 100$$

Dónde:

P_E = concentración de compuesto bioactivo en el encapsulado en base seca.

P_F = concentración de compuesto bioactivo en el producto fresco en base seca.

3.9. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

3.9.1. Análisis estadístico

Se evaluó el efecto de la ratio encapsulante/pulpa y temperatura de aire de entrada en el contenido total de polifenoles, la actividad antioxidante, color y humedad en el microencapsulado de tuna amarilla, mediante un diseño factorial 2². Para el análisis de los datos, los puntajes numéricos para cada muestra, se tabularon y analizaron utilizando análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 5. Análisis de varianza para un Diseño Factorial Completo.

Fuente de variación	Grados de libertad	F	p
Efectos principales			
Ratio E/A			
Temperatura			
Interacciones			
Ratio E/A*Temperatura			
Error puro			
Total			

Fuente: Montgomery⁷⁸

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Contenido de polifenoles totales

En la tabla 6 se presenta el análisis de varianza del contenido en polifenoles totales y en la tabla 7 se observan los valores de los coeficientes del modelo de regresión para predecir el contenido en polifenoles totales.

Tabla 6. Análisis de varianza del contenido en polifenoles totales.

Fuente	Grados de Libertad	F	p
Ratio Encapsulante (RE)	1	317,78	0,000
Temperatura (T°)	1	630,13	0,000
RE*T°	1	156,01	0,000
Error	8		
Total	11		

Tabla 7. Coeficientes del modelo de regresión del contenido en polifenoles totales.

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	t-Value	p-Value	VIF
Constante		196,953	0,617	319,05	0,000	
Ratio Encapsulante (RE)	-22,009	-11,004	0,617	-17,83	0,000	1,00
Temperatura (T°)	-30,992	-15,496	0,617	-25,10	0,000	1,00
RE*T°	15,421	7,711	0,617	12,49	0,000	1,00

Resumen del Modelo

Desviación estándar = 2,13843 $R^2 = 98,38\%$

Ecuación de Regresión en Unidades No Codificadas (-1 y 1)

Polifenoles totales = $196,953 - 11,004 \text{ RE} - 15,496 \text{ T}^\circ + 7,711 \text{ RE} \cdot \text{T}^\circ$

En la figura 3 se pueden ver los efectos principales, ratio encapsulante (RE) y temperatura del aire de entrada (T°) sobre el contenido en polifenoles. En la figura

4 se muestra el gráfico optimizador de respuesta, indicando que valores de las variables de estudio maximizan el contenido en polifenoles.

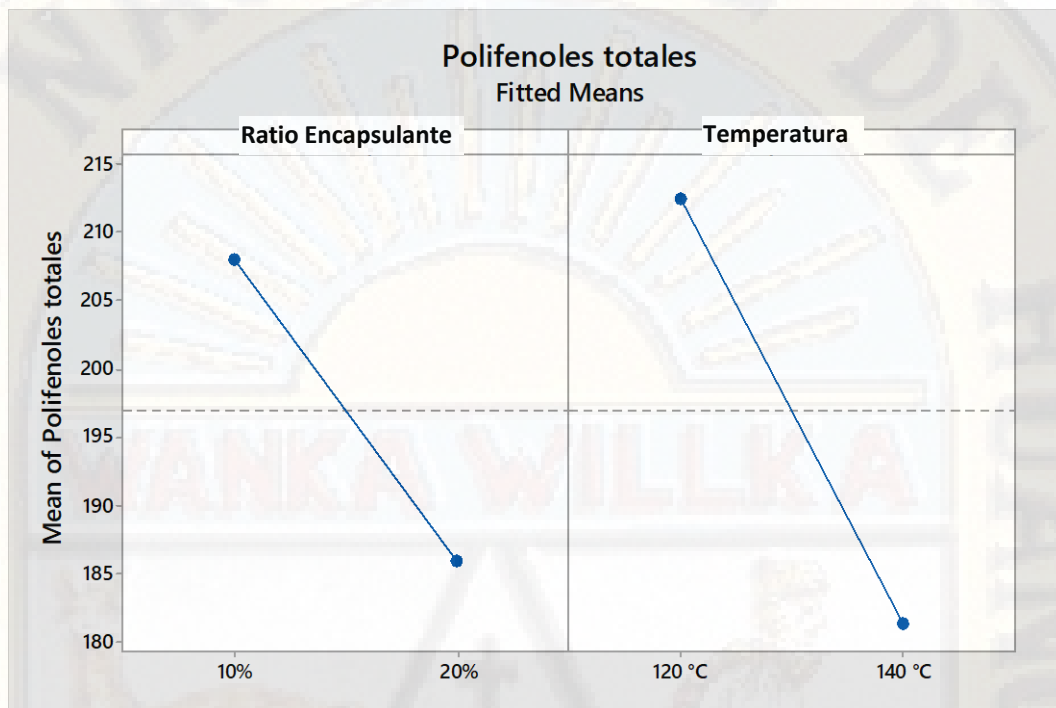


Figura 3. Efectos principales en el contenido en polifenoles totales.

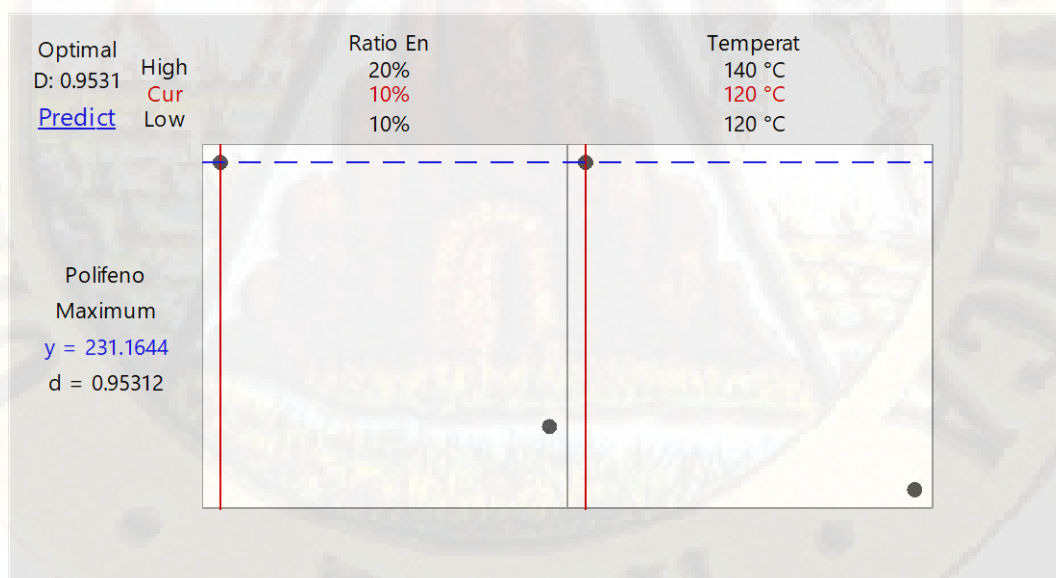


Figura 4. Optimizador del contenido en polifenoles totales.

4.1.2. Actividad antioxidante

En la tabla 8 se presenta el análisis de varianza de la actividad antioxidante y en la tabla 9 se observan los valores de los coeficientes del modelo de regresión para predecir la actividad antioxidante.

Tabla 8. Análisis de varianza de la capacidad antioxidante.

Fuente	Grados de Libertad	F	p
Ratio Encapsulante (RE)	1	888,22	0,000
Temperatura (T°)	1	1190,71	0,000
RE*T°	1	154,25	0,000
Error	8		
Total	11		

Tabla 9. Coeficientes del modelo de regresión de actividad antioxidante.

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	t	P	VIF
Constante		47,0935	0,0882	533,99	0,000	
Ratio Encapsulante (RE)	-5,2567	-2,6284	0,0882	-29,80	0,000	1,00
Temperatura (T°)	-6,0863	-3,0432	0,0882	-34,51	0,000	1,00
RE*T°	2,1906	1,0953	0,0882	12,42	0,000	1,00

Resumen del Modelo

Desviación estándar = 0,305502 R² = 99,20%

Ecuación de Regresión en Unidades No Codificadas (-1 y 1)

Actividad antioxidante = 47,0935 – 2,6284 RE – 3,0432 T° + 1,0953 RE*T°

En la figura 5 se pueden ver los efectos principales, ratio encapsulante (RE) y temperatura del aire de entrada (T°) sobre la actividad antioxidante. En la figura 6 se muestra el gráfico optimizador de respuesta, indicando que valores de las variables de estudio maximizan la actividad antioxidante.

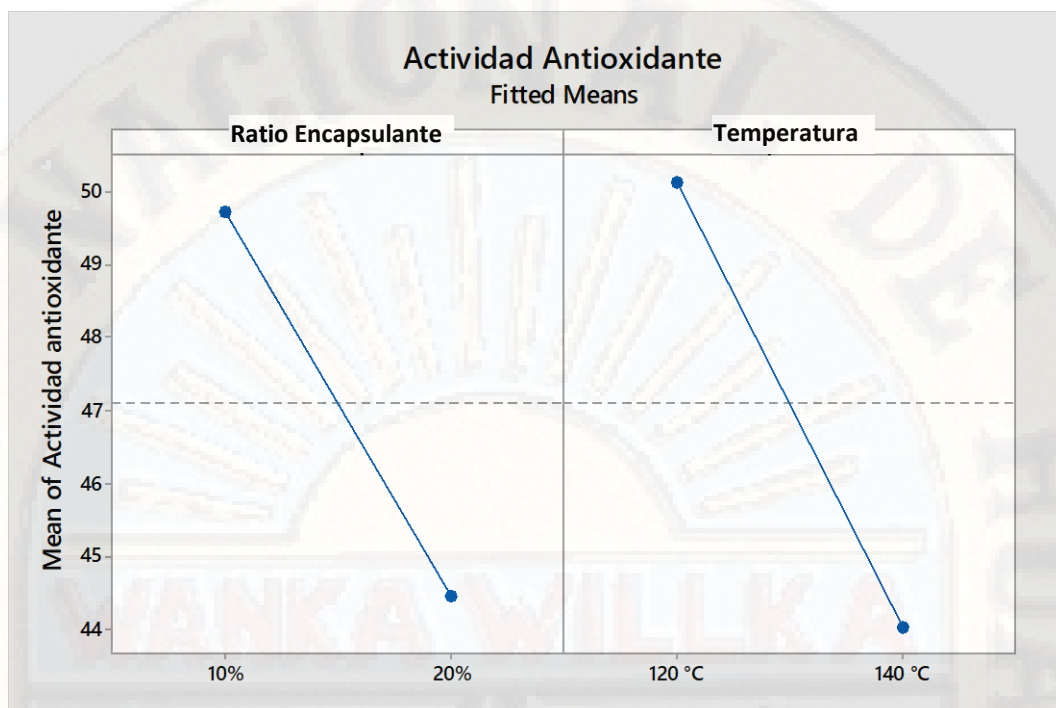


Figura 5. Efectos principales en la actividad antioxidante.

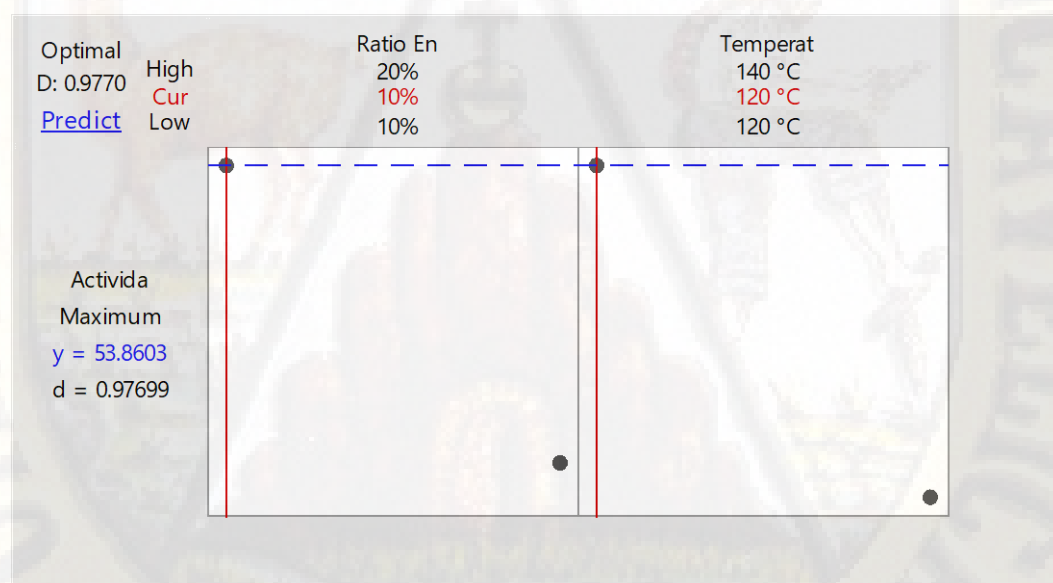


Figura 6. Optimizador de la actividad antioxidante.

4.1.3. Colorimetría

4.1.3.1. Parámetro L*

En la tabla 10 se presenta el análisis de varianza del parámetro L* y en la tabla 11 se observan los valores de los coeficientes del modelo de regresión para predecir el parámetro L*.

Tabla 10. Análisis de varianza del parámetro L*.

Fuente	Grados de Libertad	F	p
Ratio Encapsulante (RE)	1	13,15	0,007
Temperatura (T°)	1	8,83	0,018
RE*T°	1	9,91	0,014
Error	8		
Total	11		

Tabla 11. Coeficientes del modelo de regresión del parámetro L*.

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	t	p	VIF
Constante		95,7617	0,0942	1016,26	0,000	
Ratio Encapsulante (RE)	-0,6833	-0,3417	0,0942	-3,63	0,007	1,00
Temperatura (T°)	0,5600	0,2800	0,0942	2,97	0,018	1,00
RE*T°	-0,5933	-0,2967	0,0942	-3,15	0,014	1,00

Resumen del Modelo

Desviación estándar = 0,326420 $R^2 = 54,87\%$

Ecuación de Regresión en Unidades No Codificadas (-1 y 1)

$$L^* = 95,7617 - 0,3417 \text{ RE} + 0,2800 \text{ T}^\circ - 0,2967 \text{ RE} \cdot \text{T}^\circ$$

En la figura 7 se pueden ver los efectos principales, ratio encapsulante (RE) y temperatura del aire de entrada (T°) sobre el parámetro L*. En la figura 8 se muestra el gráfico optimizador de respuesta, indicando que valores de las variables de estudio maximizan el parámetro L*.

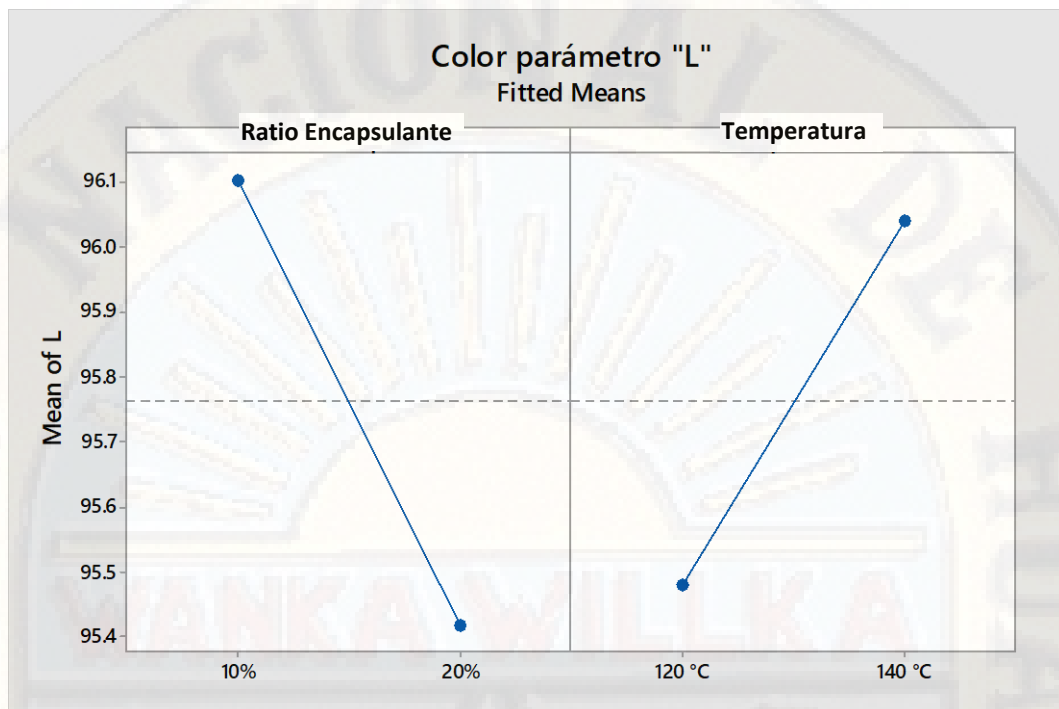


Figura 7. Efectos principales en el parámetro L*.

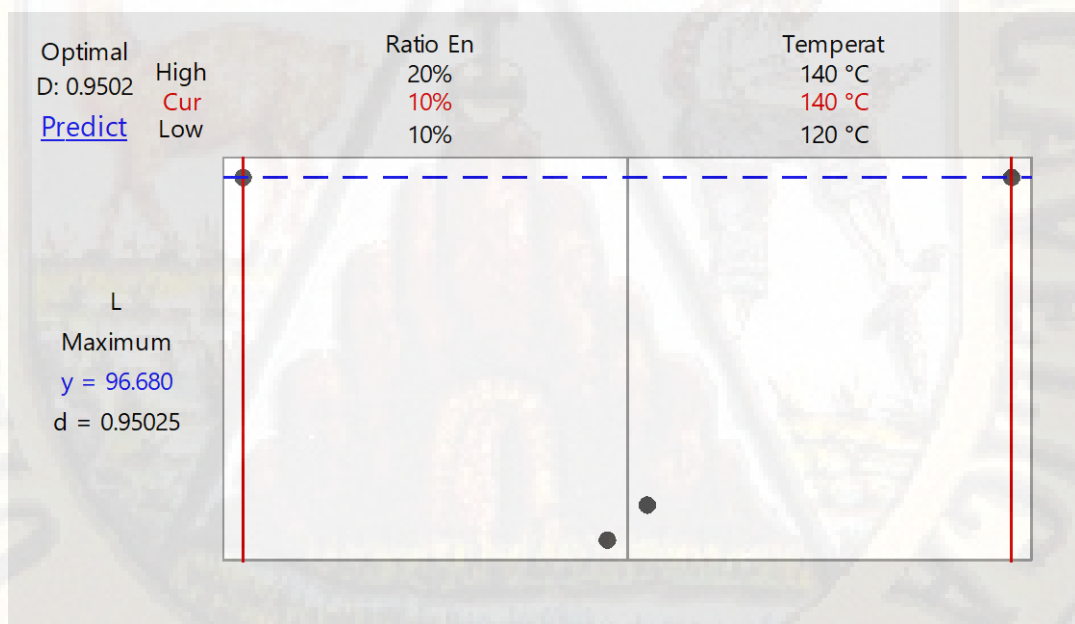


Figura 8. Optimizador del parámetro L*.

4.1.3.2. Parámetro a*

En la tabla 12 se presenta el análisis de varianza del parámetro a* y en la tabla 13 se observan los valores de los coeficientes del modelo de regresión para predecir el parámetro a*.

Tabla 12. Análisis de varianza del parámetro a*.

Fuente	Grados de Libertad	F	p
Ratio Encapsulante (RE)	1	192,72	0,000
Temperatura (T°)	1	204,88	0,000
RE*T°	1	176,33	0,000
Error	8		
Total	11		

Tabla 13. Coeficientes del modelo de regresión del parámetro a*.

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	t	p	VIF
Constante		-2,6117	0,0193	-135,12	0,000	
Ratio Encapsulante (RE)	0,5367	0,2683	0,0193	13,88	0,000	1,00
Temperatura (T°)	0,5533	0,2767	0,0193	14,31	0,000	1,00
RE*T°	-0,5133	-0,2567	0,0193	-13,28	0,000	1,00

Resumen del Modelo

Desviación estándar = 0,0669577 R² = 96,91%

Ecuación de Regresión en Unidades No Codificadas (-1 y 1)

$$a^* = -2,6117 + 0,2683 \text{ RE} + 0,2767 \text{ T}^\circ - 0,2567 \text{ RE} \cdot \text{T}^\circ$$

En la figura 9 se pueden ver los efectos principales, ratio encapsulante (RE) y temperatura del aire de entrada (T°) sobre el parámetro a*. En la figura 10 se muestra el gráfico optimizador de respuesta, indicando que valores de las variables de estudio optimizan el parámetro a*.

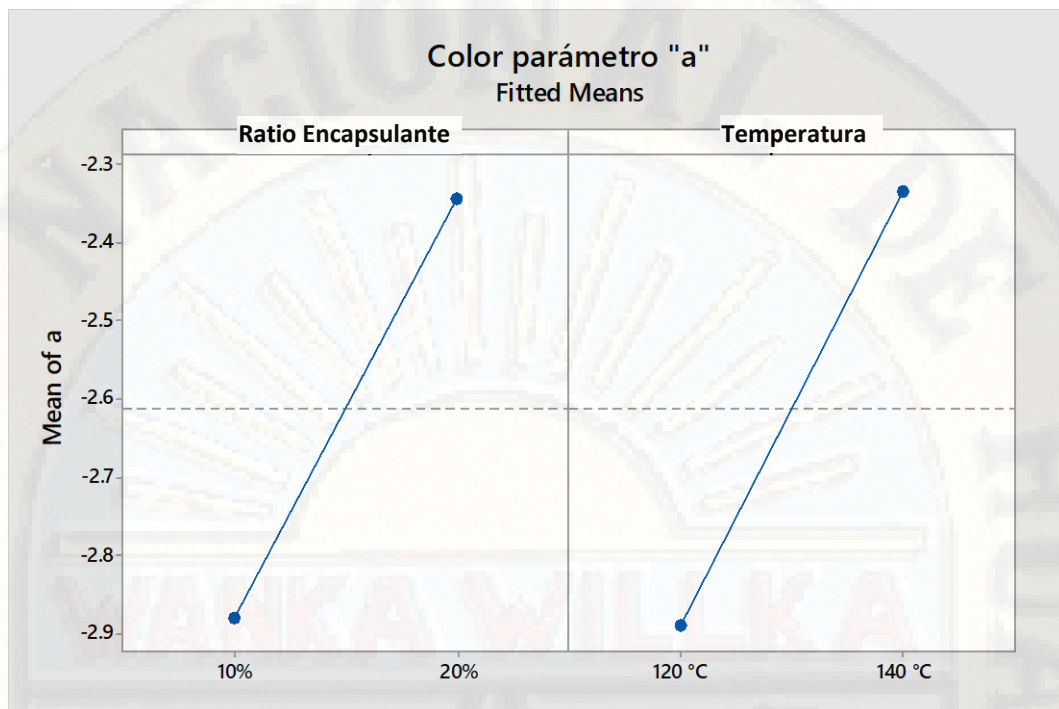


Figura 9. Efectos principales en el parámetro a^* .

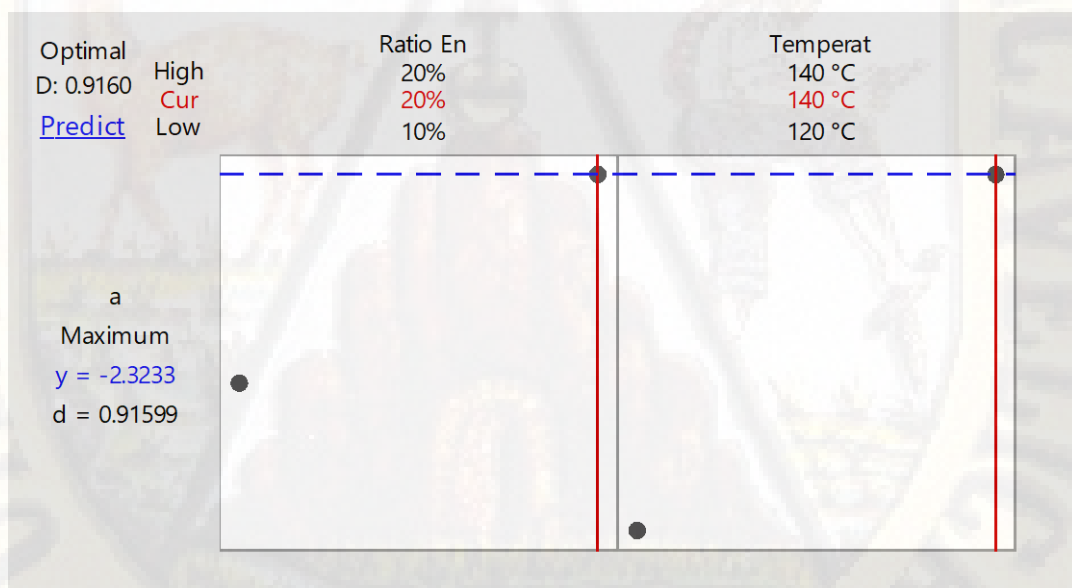


Figura 10. Optimizador del parámetro a^* .

4.1.3.3. Parámetro b^*

En la tabla 14 se presenta el análisis de varianza del parámetro b^* y en la tabla 15 se observan los valores de los coeficientes del modelo de regresión para predecir el parámetro b^* .

Tabla 14. Análisis de varianza del parámetro b^* .

Fuente	Grados de Libertad	F	p
Ratio Encapsulante (RE)	1	404,87	0,000
Temperatura (T°)	1	206,95	0,000
RE* T°	1	41,04	0,000
Error	8		
Total	11		

Tabla 15. Coeficientes del modelo de regresión del parámetro b^* .

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	t	p	VIF
Constante		22,5950	0,0721	313,55	0,000	
Ratio Encapsulante (RE)	-2,9000	-1,4500	0,0721	-20,12	0,000	1,00
Temperatura (T°)	2,0733	1,0367	0,0721	14,39	0,000	1,00
RE* T°	-0,9233	-0,4617	0,0721	-6,41	0,000	1,00

Resumen del Modelo

Desviación estándar = 0,249633 $R^2 = 97,28\%$

Ecuación de Regresión en Unidades No Codificadas (-1 y 1)

$$b^* = 22,5950 - 1,4500 \text{ RE} + 1,0367 T^\circ - 0,4617 \text{ RE} * T^\circ$$

En la figura 11 se pueden ver los efectos principales, ratio encapsulante (RE) y temperatura del aire de entrada (T°) sobre el parámetro b^* . En la figura 12 se muestra el gráfico optimizador de respuesta, indicando que valores de las variables de estudio optimizan el parámetro b^* .

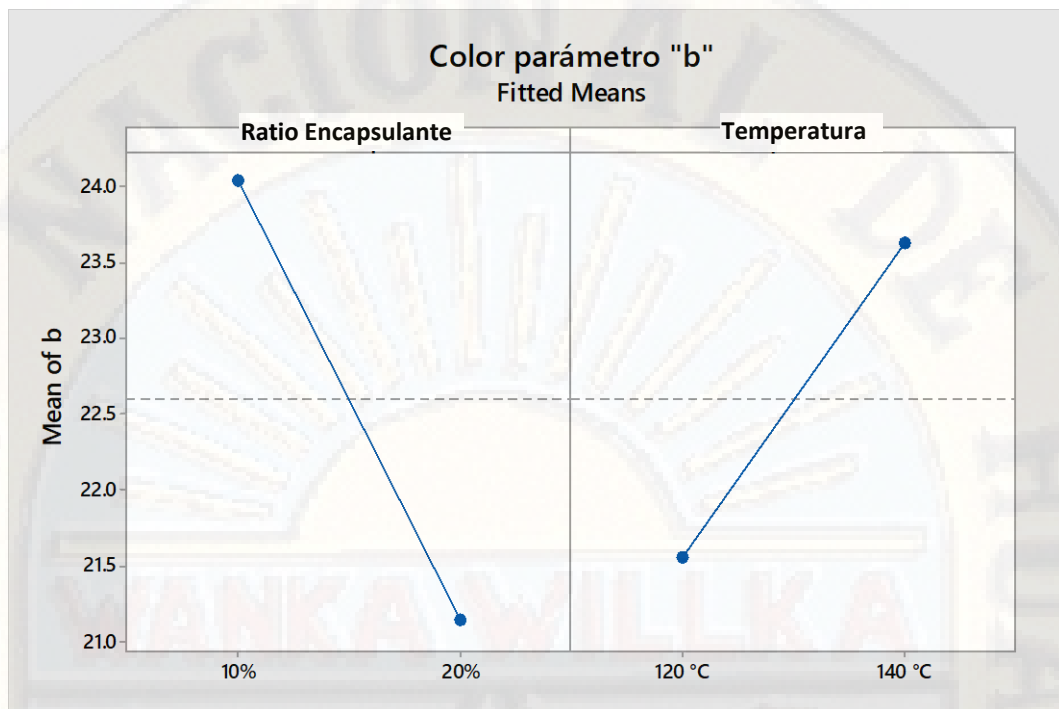


Figura 11. Efectos principales en el parámetro b^* .

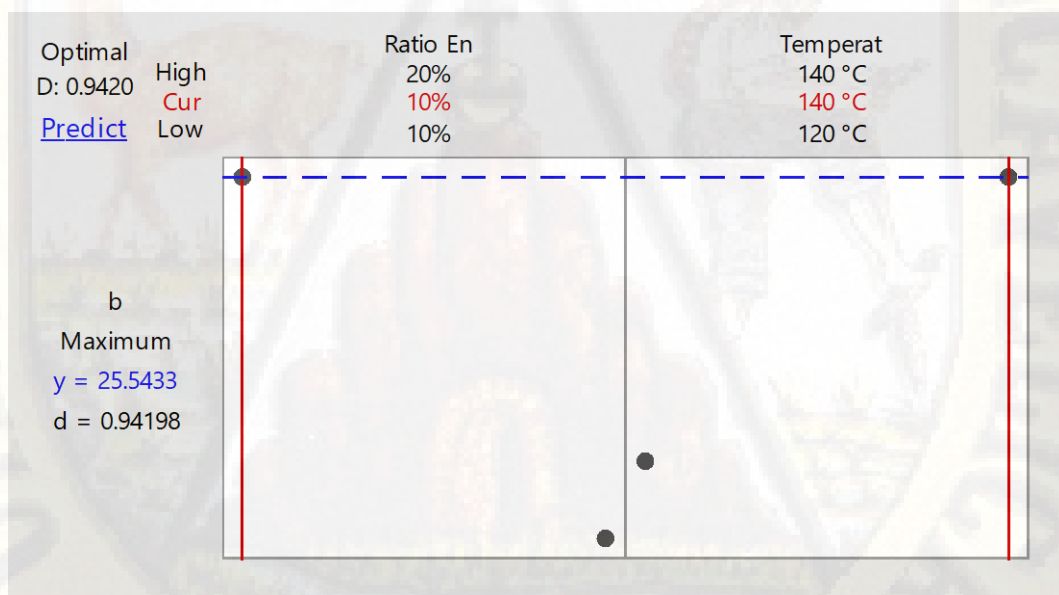


Figura 12. Optimizador del parámetro b^* .

4.1.4. Contenido de Humedad

En la tabla 16 se presenta el análisis de varianza de la humedad y en la tabla 17 se observan los valores de los coeficientes del modelo de regresión para predecir la humedad.

Tabla 16. Análisis de varianza de la humedad.

Fuente	Grados de Libertad	F	p
Ratio Encapsulante (RE)	1	682,25	0,000
Temperatura (T°)	1	5277,37	0,000
RE*T°	1	0,06	0,812
Error	8		
Total	11		

Tabla 17. Coeficientes del modelo de regresión de la humedad.

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	t	P	VIF
Constante		5,2948	0,0122	434,67	0,000	
Ratio Encapsulante (RE)	-0,6363	-0,3182	0,0122	-26,12	0,000	1,00
Temperatura (T°)	-1,7698	-0,8849	0,0122	-72,65	0,000	1,00
RE*T°	-0,0060	-0,0030	0,0122	-0,25	0,812	1,00

Resumen del Modelo

Desviación estándar = 0,0421967 $R^2 = 99,70\%$

Ecuación de Regresión en Unidades No Codificadas (-1 y 1)

Humedad = 5,2948 – 0,3182 RE – 0,8849 T° - 0,0030 RE*T°

En la figura 13 se pueden ver los efectos principales, ratio encapsulante (RE) y temperatura del aire de entrada (T°) sobre la humedad. En la figura 14 se muestra el gráfico optimizador de respuesta, indicando que valores de las variables de estudio minimizan la humedad.

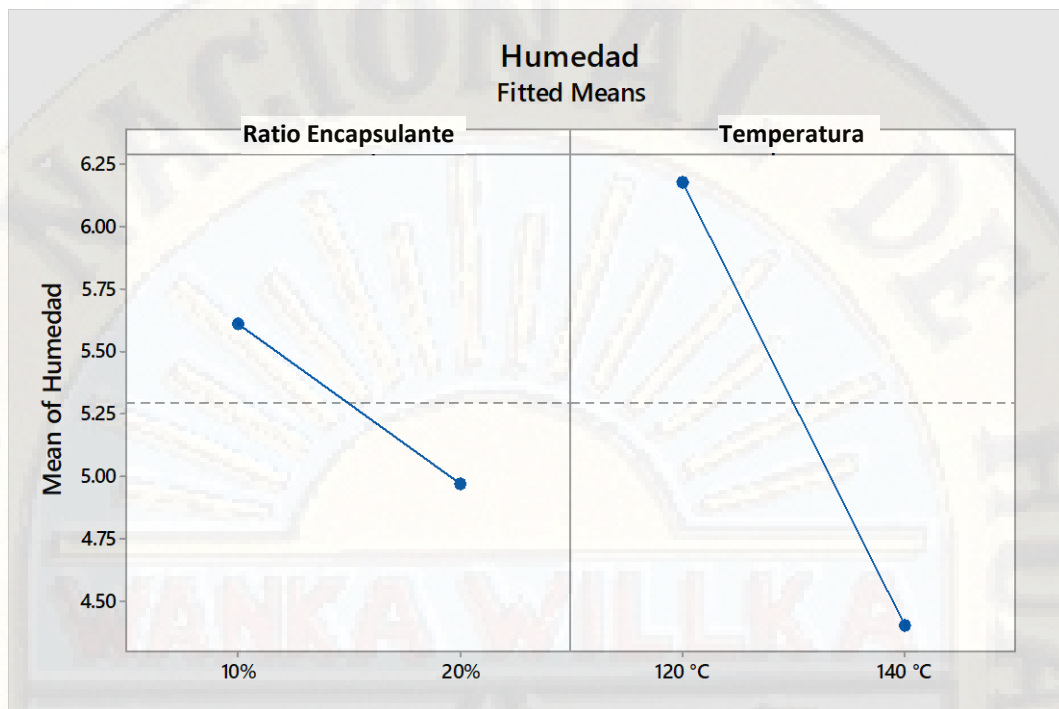


Figura 13. Efectos principales en la humedad.

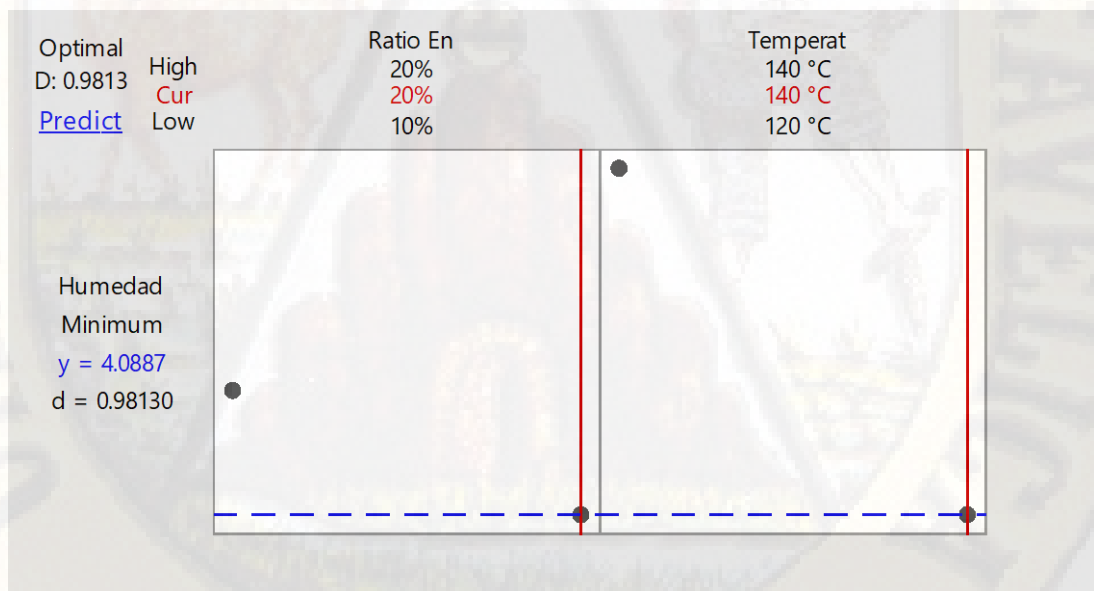


Figura 14. Optimizador de la humedad.

4.1.5. Rendimiento

En la tabla 18 se presenta el análisis de varianza del rendimiento y en la tabla 19 se observan los valores de los coeficientes del modelo de regresión para predecir el rendimiento.

Tabla 18. Análisis de varianza del rendimiento.

Fuente	Grados de Libertad	F	p
Ratio Encapsulante (RE)	1	3410,05	0,000
Temperatura (T°)	1	429,16	0,000
RE*T°	1	16,43	0,004
Error	8		
Total	11		

Tabla 19. Coeficientes del modelo de regresión del rendimiento.

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	t	p	VIF
Constante		9,9798	0,0336	296,63	0,000	
Ratio Encapsulante (RE)	3,9293	1,9646	0,0336	58,40	0,000	1,00
Temperatura (T°)	1,3939	0,6970	0,0336	20,72	0,000	1,00
RE*T°	0,2727	0,1364	0,0336	4,05	0,004	1,00

Resumen del Modelo

Desviación estándar = 0,116545 $R^2 = 99,53\%$

Ecuación de Regresión en Unidades No Codificadas (-1 y 1)

Rendimiento = 9,9798 + 1,9646 RE + 0,6970 T° + 0,1364 RE*T°

En la figura 15 se pueden ver los efectos principales, ratio encapsulante (RE) y temperatura del aire de entrada (T°) sobre el rendimiento. En la figura 16 se muestra el gráfico optimizador de respuesta, indicando que valores de las variables de estudio maximizan el rendimiento.

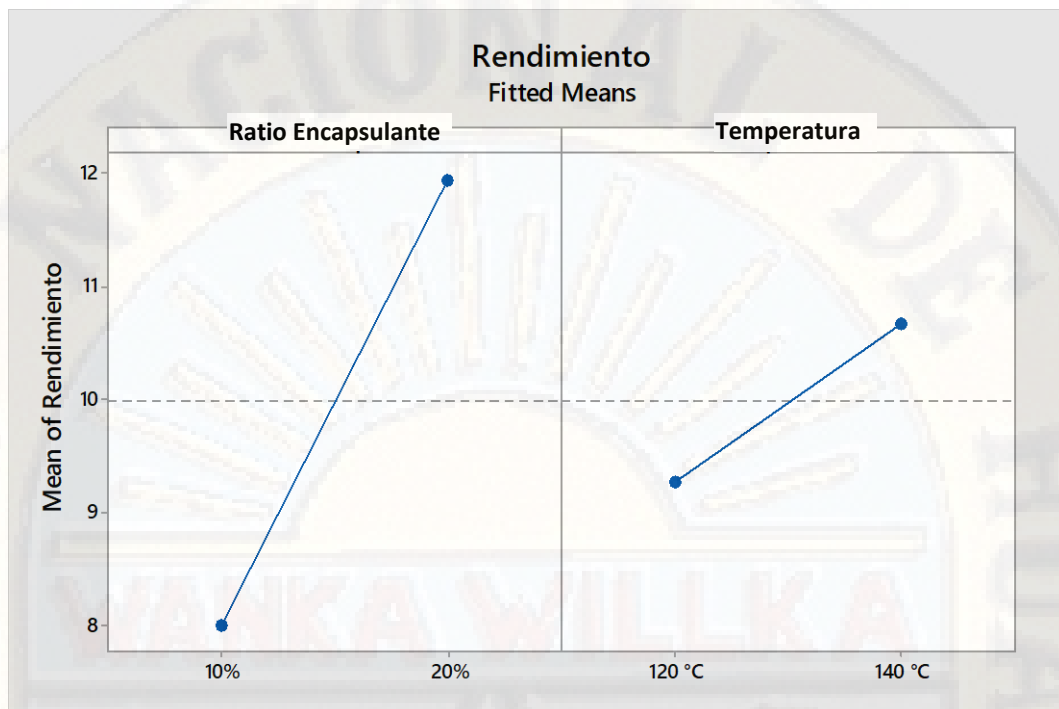


Figura 15. Efectos principales en el rendimiento.

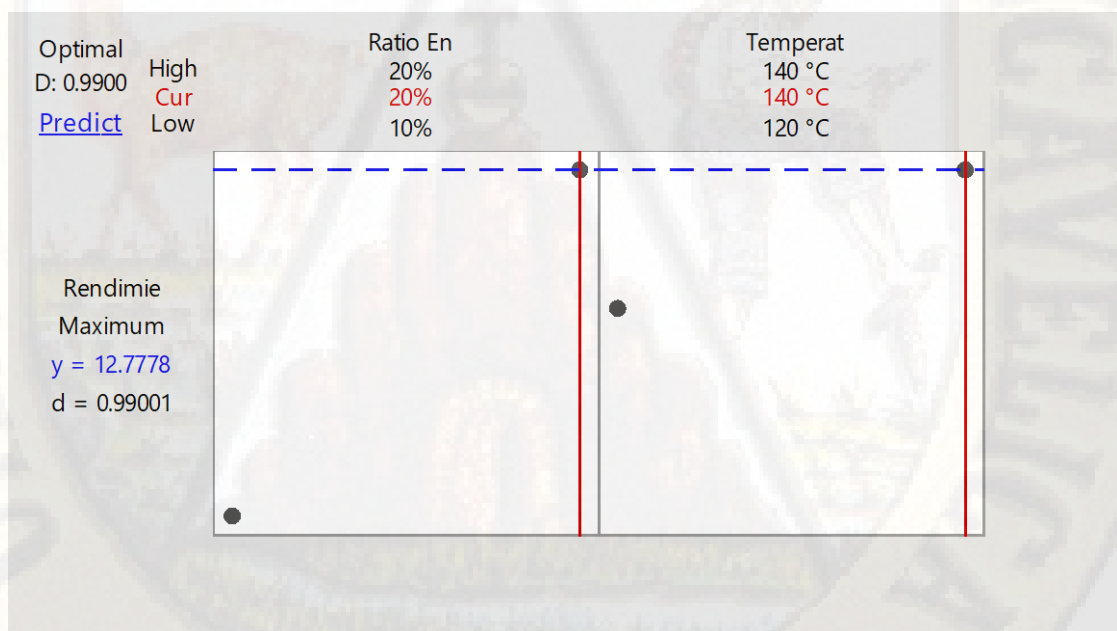


Figura 16. Optimizador del rendimiento.

4.1.6. Retención de compuestos bioactivos

A continuación, se muestra una tabla donde se encuentra la retención de compuestos bioactivos como son: el contenido en polifenoles y la capacidad antioxidante:

Tabla 20. Retención de compuestos bioactivos.

Compuesto bioactivo	Tratamiento	Pulpa de tuna fresca	Encapsulado de tuna	Porcentaje de retención
Contenido en polifenoles totales (mg ácido gálico/g materia seca)	T1	414,45	247,22	59,65%
	T2	379,91	205,80	54,17%
	T3	414,45	193,93	46,79%
	T4	379,91	185,76	48,90%
Capacidad Antioxidante (%)	T1	55,00	53,86	97,9%
	T2	55,00	45,58	82,9%
	T3	55,00	46,41	84,4%
	T4	55,00	42,52	77,3%

4.2. Discusiones

La ratio de encapsulante, la temperatura de entrada y la interacción de estos factores tuvieron un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido en polifenoles totales del microencapsulado de tuna amarilla (tabla 6). El modelo de regresión para el contenido de polifenoles totales tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 98.38\%$), lo que permite predecir el contenido en polifenoles totales del microencapsulado usando las variables de estudio dentro de los rangos estudiados (tabla 7).

La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre el contenido en polifenoles totales, respaldando los resultados del análisis de varianza (figura 3). A menor ratio de encapsulante y menor temperatura se logran mayores contenidos en polifenoles totales en el microencapsulado de tuna amarilla.

El gráfico optimizador (figura 4) muestra que, una ratio de encapsulante de 10% y una temperatura de 120 °C, proporciona un contenido en polifenoles totales de 231,1644 mg de ácido gálico/100 g de encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,95312. Esto sugiere que los niveles, mínimos de las variables de estudio son los más adecuados para maximizar la variable respuesta.

La pulpa de tuna presentó un contenido en polifenoles totales de 178,16 mg de ácido gálico/100 g de muestra, cuando se preparó la mezcla de pulpa, agua y encapsulante el contenido en polifenoles totales fue de 379,91 y 414,45 mg de ácido gálico/100 g de muestra, para ratio encapsulante : pulpa 20% y 10%, respectivamente. La eficiencia de encapsulación (EE) obtenida con respecto al contenido en polifenoles varió de 46,79% a 59,65%, en el producto final encapsulado. Toledo – Madrid *et al.*⁷⁹ encapsularon compuestos fenólicos de cáscara de tuna morada y la eficiencia de encapsulación para maltodextrina fue del 95,5 – 104%.

Paz *et al.*⁸ encapsularon pulpa de tuna morada y roja, con diferentes tipos de encapsulantes, y encontraron que, la eficiencia de encapsulación de polifenoles varió de 68 a 80%, de 76 a 85 % y de 78 a 86 % para pulpa – proteína aislada de soja, pulpa - proteína aislada de soja – maltodextrina, y pulpa – proteína aislada de soja – inulina, respectivamente. Zhang *et al.*¹⁰ reportó que, la encapsulación de procianidinas de semillas de uva con goma arábiga alcanzó una eficiencia de encapsulación a 88,8%, y Kosaraju *et al.*¹¹ reportó 27% de polifenoles en extracto de hoja de olivo con quitosano, ambos experimentos usaron secado por atomización. Además, otras técnicas para encapsulación de polifenoles han sido reportadas tales como nanoprecipitación de quercitina¹² y catequinas de té por gelación iónica¹³ con una eficiencia de encapsulación de 99% y 24 a 53%, respectivamente.

La ratio de encapsulante, la temperatura de entrada y la interacción de estos factores tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la actividad antioxidante del microencapsulado de tuna amarilla (tabla 8). El modelo de regresión para actividad antioxidante tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 99,20\%$), lo que permite predecir la actividad antioxidante del microencapsulado usando las variables de estudio dentro de los rangos estudiados (tabla 9).

La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre la actividad antioxidante, respaldando los resultados del análisis de varianza (figura 5). A menor ratio de encapsulante y menor temperatura se logra mayor la actividad antioxidante en el microencapsulado de tuna amarilla.

El gráfico optimizador (figura 6) muestra que, una ratio de encapsulante de 10% y una temperatura de 120 °C, proporciona una actividad antioxidante de 53,8603 % de inhibición en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,97699. Esto sugiere que los niveles, mínimos de las variables de estudio son los más adecuados para maximizar la variable respuesta.

La pulpa tuvo un porcentaje de inhibición de radical libre de 55%, y el producto encapsulado varió de 42,52 a 53,86%, presentándose una retención de 77,30 a 97,90% del porcentaje de inhibición de radical libre. Esto muestra que, la encapsulación tiene una alta capacidad de retención de la actividad antioxidante. La actividad antioxidante decreció en menor cuantía. Este efecto se atribuye a las reacciones de condensación entre los compuestos antioxidantes, resultando en la formación de compuestos fenólicos polimerizados que mantuvieron su actividad antioxidante⁸⁰.

La ratio de encapsulante, la temperatura de entrada y la interacción de estos factores tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el parámetro L^* del microencapsulado de tuna amarilla (tabla 10). El modelo de regresión para el parámetro L^* tuvo un bajo coeficiente de determinación ($R^2 = 54,87\%$), lo que impide predecir el parámetro L^* del microencapsulado con precisión (tabla 11).

La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre el parámetro L^* , respaldando los resultados del análisis de varianza (figura 7). A menor ratio de encapsulante y mayor temperatura se logra un mayor valor del parámetro L^* en el microencapsulado de tuna amarilla.

El gráfico optimizador (figura 8) muestra que, una ratio de encapsulante de 10% y una temperatura de 140 °C, proporciona un valor de parámetro L^* de 96,680 % en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,95025. Esto sugiere que, el

nivel mínimo y máximo de las variables de estudio, respectivamente; son los más adecuados para maximizar la variable respuesta.

La ratio de encapsulante, la temperatura de entrada y la interacción de estos factores tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el parámetro a^* del microencapsulado de tuna amarilla (tabla 12). El modelo de regresión para el parámetro a^* tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 96,91\%$), lo que permite predecir el valor del parámetro a^* del microencapsulado con alta precisión (tabla 13).

La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre el parámetro a^* , respaldando los resultados del análisis de varianza (figura 9). A mayor ratio de encapsulante y mayor temperatura se logra un mayor valor del parámetro a^* en el microencapsulado de tuna amarilla.

El gráfico optimizador (figura 10) muestra que, una ratio de encapsulante de 20% y una temperatura de 140 °C, proporciona un valor de parámetro a^* de -2,3233 en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,91599. Esto sugiere que, los niveles máximos de las variables de estudio, son los más adecuados para maximizar la variable respuesta.

La ratio de encapsulante, la temperatura de entrada y la interacción de estos factores tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el parámetro b^* del microencapsulado de tuna amarilla (tabla 14). El modelo de regresión para el parámetro b^* tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 97,28\%$), lo que permite predecir el valor del parámetro b^* del microencapsulado con alta precisión (tabla 13).

La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre el parámetro b^* , respaldando los resultados del análisis de varianza (figura 11). La ratio de encapsulante es inversamente proporcional al parámetro b^* y la temperatura de entrada del aire de secado es directamente proporcional al parámetro b^* del microencapsulado de tuna amarilla.

El gráfico optimizador (figura 12) muestra que, una ratio de encapsulante de 10% y una temperatura de 140 °C, proporciona un valor de parámetro b^* de 25,5433 en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,94198. Esto sugiere que, el

nivel mínimo y máximo, respectivamente de las variables de estudio, son los más adecuados para maximizar la variable respuesta.

Paz *et al.*⁸ en su estudio del color de la pulpa de tuna roja encapsulada, mostró que la proyección de los datos en los diagramas a^* y b^* mostró que, todos los datos están ubicados en el segundo cuadrante ($+a^*$, $-b^*$). No encontraron diferencias en los valores de L^* , a^* y C^*_{ab} . Teniendo en cuenta que ΔE^*_{ab} de hasta dos unidades CIELAB indica diferencias de color apreciables para el ojo humano⁸¹, se confirmó que no hubo diferencias de color visualmente apreciables entre dos polvos porque este valor era 0,627.

La ratio de encapsulante, la temperatura de entrada y la interacción de estos factores tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la humedad del microencapsulado de tuna amarilla (tabla 16). El modelo de regresión para la humedad tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 99,70\%$), lo que permite predecir la humedad del microencapsulado con alta precisión (tabla 17).

La ratio de encapsulante muestra un efecto principal moderado sobre la humedad, y la temperatura de entrada de aire caliente al atomizador un efecto muy pronunciado y mayor que la ratio encapsulante sobre la humedad; respaldando los resultados del análisis de varianza (figura 13). La ratio de encapsulante y la temperatura de entrada del aire de secado son inversamente proporcionales a la humedad del microencapsulado de tuna amarilla.

El gráfico optimizador (figura 14) muestra que, una ratio de encapsulante de 20% y una temperatura de 140 °C, proporciona una humedad de 4,0887% en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,98130. Esto sugiere que, los niveles máximos de las variables de estudio, son los más adecuados para minimizar la variable respuesta.

Las maltodextrinas se encuentran entre los agentes transportadores más importantes, principalmente porque forman soluciones de baja viscosidad en altas concentraciones que pueden ser secadas por pulverización de manera eficiente⁸².

El extracto de piel de uva se secó por pulverización con maltodextrinas, que se usaron como agentes encapsulantes para obtener un polvo con bajo contenido de humedad, baja higroscopicidad y alta solubilidad⁸³.

En este trabajo, se usó la maltodextrina y se logró una humedad de baja dentro de un rango de 4,04% a 6,57%, esta humedad tiende a que el producto sea higroscópico, pero la maltodextrina ayuda evitar este defecto como indican los autores mencionados.

La ratio de encapsulante, la temperatura de entrada y la interacción de estos factores tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el rendimiento del microencapsulado de tuna amarilla, con respecto a la pulpa diluida y mezclada con el encapsulante (tabla 18). El modelo de regresión para el rendimiento tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 99,53\%$), lo que permite predecir el rendimiento del microencapsulado con alta precisión (tabla 19).

La ratio de encapsulante muestra un efecto principal muy pronunciado sobre el rendimiento, y la temperatura de entrada de aire caliente al atomizador un efecto moderado y menor que, la ratio encapsulante sobre rendimiento; respaldando los resultados del análisis de varianza (figura 15). La ratio de encapsulante y la temperatura de entrada del aire de secado son directamente proporcionales al rendimiento del microencapsulado de tuna amarilla.

El gráfico optimizador (figura 16) muestra que, una ratio de encapsulante de 20% y una temperatura de 140 °C, proporciona un rendimiento de 12,7778% de encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,99001. Esto sugiere que, los niveles máximos de las variables de estudio, son los más adecuados para maximizar la variable respuesta.

Se debe señalar que, una alta temperatura en el atomizador proporciona menores tiempos de residencia en la cámara de atomización lo que permite obtener una baja humedad y un rendimiento elevado; sin embargo, se puede observar, que a su vez, los niveles altos proporcionan menor retención de compuestos bioactivos como se verá en la tabla 20.

En la tabla 20 se muestra la retención de compuestos bioactivos en el encapsulado de pulpa de tuna, siendo el tratamiento 1 (ratio de encapsulante y pulpa 10% y temperatura de entrada 120 °C) el que presenta mayor retención de ambos: contenido en polifenoles totales (59,65%) y capacidad antioxidante (97,90%). En el caso de Toledo *et al.*⁵ quien estudio la encapsulación de extracto de cáscara de tuna

morada con goma arábica y maltodextrina encontró una mayor retención de compuestos fenólicos con una ratio de encapsulante y pulpa de 20%.

Tabla 21. Resumen de la optimización de variables de estudio.

Variable independiente	Variable respuesta	p	Valor óptimo	R ²
Contenido en Polifenoles totales	Ratio Encapsulante	0,000	10%	98,38%
	Temperatura	0,000	120 °C	
	Interacción	0,000		
Capacidad Antioxidante	Ratio Encapsulante	0,000	10%	99,20%
	Temperatura	0,000	120 °C	
	Interacción	0,000		
Parámetro L*	Ratio Encapsulante	0,007	10%	54,87%
	Temperatura	0,018	140 °C	
	Interacción	0,014		
Parámetro a*	Ratio Encapsulante	0,000	10%	96,91%
	Temperatura	0,000	140 °C	
	Interacción	0,000		
Parámetro b*	Ratio Encapsulante	0,000	10%	97,28%
	Temperatura	0,000	140 °C	
	Interacción	0,000		
Humedad	Ratio Encapsulante	0,000	20%	99,77%
	Temperatura	0,000	140 °C	
	Interacción	0,812		
Rendimiento	Ratio Encapsulante	0,000	20%	99,53%
	Temperatura	0,000	140 °C	
	Interacción	0,004		

En la tabla resumen (tabla 21) se muestran los valores de las variables de estudio: ratio de encapsulante y temperatura, puesto que las variables que se desean optimizar son aquellas relacionadas con los compuestos bioactivos, se tomarán el contenido en polifenoles y la capacidad antioxidante como referencia para

recomendar los valores óptimos de las variables de estudio. Estos valores son ratio encapsulante : pulpa de 10% y temperatura de aire de entrada 120 °C. Si se reemplazan estos valores en las ecuaciones de predicción se obtienen los siguientes valores:

Tabla 22. Predicción de valores de las variables de respuesta.

Variables de respuesta	Valor predicho	Error Estándar
Contenido en Polifenoles totales	231,164	1,234
Capacidad Antioxidante	53,86	0,18
Parámetro L*	95,53	0,19
Parámetro a*	-3,41	0,04
Parámetro b*	22,55	0,14
Humedad	6,49	0,02
Rendimiento	7,45	0,07

De acuerdo a esto, con una ratio de 10% y temperatura de entrada de 120 °C se logra un encapsulado de pulpa de tuna amarilla con un contenido en polifenoles totales de 231,164 mg de ácido gálico / g materia seca, una capacidad antioxidante de 53,86%, humedad 6,49%, rendimiento 7,45% y un polvo de color claro como muestran los resultados.

CONCLUSIONES

- Hubo un efecto significativo y negativo del ratio de encapsulante:pulpa en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*). Con una Condición optima de ratio encapsulante de 10%.
- Existe un efecto significativo y negativo de la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*). Con una condición optima de temperatura de encapsulación de 120 °C.
- Se halló un efecto significativo de la interacción ratio de encapsulante:pulpa y la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*). La interacción de la temperatura de entrada de aire de secado es directamente proporcional a los parámetros de color L*, a* y b* , inversamente proporcionales a la humedad y directamente proporcionales al rendimiento del microencapsulado de pulpa de tuna amarilla.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar valores bajos de temperatura y de ratio encapsulante : pulpa, para lograr una retención máxima de compuestos bioactivos.
- Se recomienda estudiar otras variables y otros encapsulantes como proteína aislada de soja, quitosano, entre otros, que retengan mayor cantidad de compuestos bioactivos.
- Se recomienda hacer estudios con otras tecnologías de encapsulación como son: gelación iónica, nanoprecipitación, entre otras.
- Se recomienda instalar una planta piloto con un atomizador en el distrito de Locroja, provincia de Churcampa - Huancavelica para el procesamiento de la pulpa de tuna amarilla que es tan abundante, para obtener encapsulados con alta capacidad antioxidante.

Referencia bibliográfica

1. Méndez S, García J. La tuna: Producción y diversidad. México: CONABIO; 2006.
2. Stintzing F, Herbach K, Mobhamer M, Carle R, Yi W, Sellappan S, Felker P. Color, betalain pattern and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia sp.*) clones. *J Agric and Food Chem.* 2005; 53: 442-451.
3. Ahmed M, Akter M, Lee, J, Eun J. Encapsulation by spray drying of bioactive components physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT- Food Science and Technology.* 2010; 43(9): 1307-1312.
4. Favaro C, Santana A, Monterrey E, Trindade M, Netto F. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids.* 2010; 24(4): 336-340.
5. Toledo K, Osorio G, Gallardo G. Encapsulación por secado por aspersión de compuestos fenólicos de la cáscara de tuna morada (*Opuntia ficus-indica*) utilizando goma arábica y maltodextrina como agente encapsulante. Veracruz – México: XX Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica; 2016.
6. Figueroa-Cares I, Martínez-Damián MT, Rodríguez-Pérez E, Colinas-León M, Valle-Guadarrama S, Ramírez-Ramírez S, Gallegos-Vázquez C. Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (*Opuntia spp.*) de México. *Agrociencia.* 2010; 44(7): 763-771.
7. Vergara CD. “Extracción y estabilización de betalaínas de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario”. Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2013.
8. Paz R, Torres V, García P, Vergara C, Saenz C. The encapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp by using polysaccharide-proteins as encapsulating agents. *LWT - Food Science and Technology.* 2015; 60: 1039-1045.
9. Otálora MC, Carriazo JG, Iturriaga L, Nazareno MA, Osorio C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. *Food Chemistry.* 2015; 187: 174–181.

10. Zhang L., Mou D, Du Y. Procyanidins: extraction and encapsulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007; 87: 2192-2197
11. Kosaraju SL, D'ath, L, Lawrence A. Preparation and characterization of chitosan microspheres for antioxidant delivery. *Carbohydrate Polymers*. 2006; 64: 163-167.
12. Wu T, Yen F, Lin L, Tsai T, Lin C, Cham T. Preparation, physicochemical characterization, and antioxidant effects of quercetin nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*. 2008; 346: 160-168.
13. Hu B, Pan C, Hou Z, Ye H, Hu B, Zeng X. Optimization of fabrication parameters to produce chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for delivery of tea catechins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008; 56: 7451 – 7458.
14. Amaya J. Cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica*). Trujillo: Gerencia Regional Agraria La Libertad; 2009.
15. Aquino E, Chavarría J, Chávez J, Guzmán R, Silva E, Verdalet I. Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia spp*) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascaliente*. 2012; 55(1): 3-10.
16. Yáñez-Fernández J, Salazar-Montoya J, Chaires-Martínez L, Jiménez-Hernández J, Márquez-Robles M, Ramos-Ramírez E. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Avance y perspectiva*. 2002; 21: 313-319.
17. Desai H, Park H. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*. 2005; 23: 1361-1394.
18. Gibbs B, Kermasha S, Alli I, Mulligan C. Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 1999; 50: 213-224.
19. Santinho AU. Physicochemical characterization and enzymatic degradation of casein microcapsules prepared by aqueous coacervation. *Journal of Microencapsulation*. 2002; 19: 549-559.
20. Wang J, Zhao X, Guo H, Zheng Q. Preparation of microcapsules containing two-phase core materials. *Langmuir*. 2004; 20: 10845-10850.
21. Pedroza R. *Alimentos Microencapsulados: Particularidades de los Procesos para la Microencapsulación de Alimentos para Larvas de Especies Acuícolas*. México DF: Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola; 2002.

22. Ré I. Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology*. 1998; 16: 195-1236.
23. Gharsallaoui A, Roudaut G, Chanbin, O, Voilley AS. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*. 2007; 40: 1107-1121.
24. Gouin S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*. 2004; 15: 330-347.
25. Hayashi H. Drying technologies of foods – their history and future. *Drying Technology*. 1989; 7: 315-369.
26. Liu X, Zhou J, Zeng Y, Ouyang X. The enhancement and encapsulation of *Agaricus bisporus* flavor. *Journal of Food Engineering*. 2004; 65: 391-396.
27. Zakarian A, King C. Volatiles loss in the zone during spray drying of emulsions. *Industrial Engineering Chemistry Process Design and Development*. 1982; 21: 107–113.
28. Shu B, Yu W, Zhao Y, Liu X. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering*. 2006; 76: 664-669.
29. Loksuwan J. Characteristics of microencapsulated-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*. 2007; 21: 928-935.
30. Wagner L, Warthesen J. Stability of spray-dried encapsulated carrot carotenes. *Journal of Food Science*. 1995; 60: 1048-1053.
31. Desobry S, Nett F, Labuza T. Comparison of Spray-drying, Drum-drying and Freeze-drying for b-carotene encapsulation and preservation. *Journal of Food Science*. 1997; 62: 1158-1162.
32. Chen L, Remondetto G, Subirade M. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*. 2006; 17: 272-283.
33. Robert P, Carlsson R, Romero N, Masson L. Stability of spray-dried encapsulated carotenoid pigments from rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa*) oleoresin. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2003; 80(11): 1115-1120.
34. Hogan S, McNamee B, O'Riordan E, O'Sullivan M. Microencapsulating proprieties of sodium caseinate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49: 1934-1938.

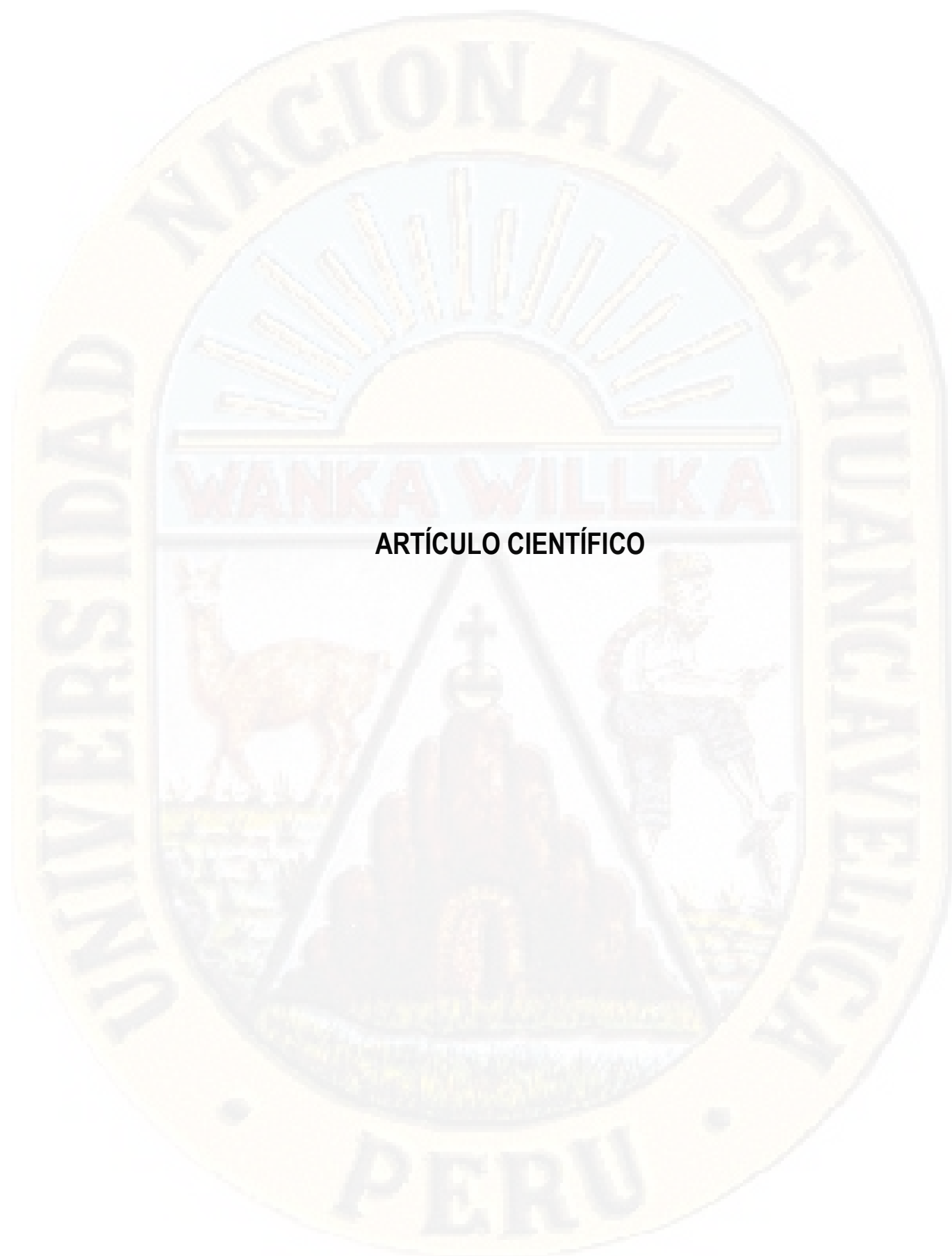
35. Kim Y, Morr C. Microencapsulation properties of gum arabic and several food proteins: Spray-dried orange oil emulsion particles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1996; 44: 1314-1320.
36. Dziezak J. Microencapsulation and encapsulated food ingredients. *Food Technology*. 1998; 42: 136–151.
37. Souza T, Parize A, Brighente I, Fávere V, Laranjeira M. Chitosan microspheres containing the natural urucum pigment. *Journal of Microencapsulation*. 2005; 22: 511-520.
38. Medina-Torres L, García-Cruz E, Calderas F, González-Laredo R, Sánchez-Olivares G, Gallegos-Infante J, Rodríguez-Ramírez J. Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*). *LWT - Food Science and Technology*. 2013; 50: 642-650.
39. Matsuhira B, Lillo L, Sáenz C, Urzúa C, Zárate O. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus-indica*. *Carbohydrate Polymers*. 2006; 63: 263-267.
40. Pimienta-Barrios E, Del Castillo R. Reproductive biology. En: Nobel PS. *Cacti, Biology and uses*. Berkeley: University of California Press; 2002. p. 75-90.
41. Butera DT. Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: Betanin and indicaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002; 50: 6895–6901.
42. Sáenz C. *Utilización agroindustrial del nopal*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 2006.
43. Sáenz C. Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. p. En: Esparza GV. *El Nopal, Tópicos de actualidad*. México: Universidad Autónoma de Chapingo; 2004. p. 211-222.
44. Allegra M, Furtmuller P, Jantschko W, Zederbauer M, Tesoriere L, Livrea M, Obinger C. Mechanism of interaction of betanin and indicaxanthin with human myeloperoxidase and hypochlorous acid. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2005; 332: 837–844.

45. Forni E, Polesello A, Montefiori D, Maestrelli A. High performance liquid chromatographic analysis of the pigments of blood-red prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). *Journal of Chromatography*. 1992; 593: 177-183.
46. Delgado-Vargas F, Jiménez A, Paredes-López O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2000; 40: 173-289.
47. Castellar M, Obón J, Alacid M, Fernández-López J. Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51: 2772-2776.
48. Sáenz C, Chavez J, Robert P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*. 2009; 114: 616-622.
49. Fernández-López J, Almela L. Application of high-performance liquid chromatography to the characterization of the betalain pigments in prickly pear fruits. *Journal of Chromatography*. 2001; 913: 415-420.
50. Sepúlveda E, Sáenz C, Gómez C. Determinación de betanina en ecotipos de tuna roja colectados en Chile. Zacatecas: Memoria IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional Conocimiento y aprovechamiento del nopal; 2003.
51. Odoux E, Domínguez-López A. Le figuier de barbarie: Une source industrielle de betalaines? *Fruits*. 1996; 51: 61-78.
52. Azeredo H. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 2008; 44: 2365-2376.
53. Stintzing F, Carle R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends Food Science Technology*. 2004; 15: 19-38.
54. Serris G, Biliaderis C. Degradation kinetics of beetroot pigment encapsulated in polymeric matrices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2001; 81: 691-700.
55. Díaz F, Santos E, Filardo S, Villagómez R, Scheinvar L. Colorant extraction from a red prickly pear (*Opuntia lasiacantha*) for food application. *Electronic Journal Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 2006; 5: 1330-1337.

56. Lozano M. Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena; 2009.
57. Piga A. Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 2004; 6: 9-22.
58. Castellar M, Obón J, Alacid M, Fernández-López J. The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2006; 86: 122-128.
59. Galati E, Mondello M, Giuffrida D, Dugo G, Miceli N, Pergolizzi S, Taviano M. Chemical characterization and biological effects of sicilian activity *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. fruit juice: antioxidant and antiulcerogenic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51: 4903-4908.
60. Kuti J. Antioxidant compounds from four *Opuntia cactus* pear fruit varieties. *Food Chemistry*. 2004; 85: 527-533.
61. Tesoriere L, Butera D, Allegra M, Fazzari M, Livrea M. Distribution of betalain pigments in red blood cells after consumption of cactus pear fruits and increased resistance of the cells to ex vivo induced oxidative hemolysis in humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 53: 1266-1270.
62. Morales M, Sáenz C, Robert P. Bioactive compounds in toppings from colored cactus pear cultivated in Chile. *Acta Horticulturae*. 2008; 811: 127-130.
63. Kanner J, Harel S, Granit R. Betalains - A new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49: 5178-5185.
64. Moreno D, García C, Gil J. Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. *Phytochemistry*. 2008; 7: 261-280.
65. Cai Y, Sun M, Corke H. Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51: 2288-2294.
66. Cai Y, Sun M, Corke H. Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. *Trends in Food Science & Technology*. 2005; 16: 370-376.

67. Gentile C, Tesoriere L, Allegra M, Livrea M, D'Alessio P. Antioxidant betalains from Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) inhibit endothelial ICAM-1 expression. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2004; 1028: 481–486.
68. Sreekantah D, Arunasree M, Roy K, Reddy T, Reddy G, Reddanna P. Betanin a betacyanin pigment purified from fruits of *Opuntia ficus-indica* induces apoptosis in human chronic myeloid leukemia cell line-K562. *Phytomedicine*. 2007; 14: 739–746.
69. Wu L, Hsu H, Chen Y, Chiu C, Lin Y, Ho J. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*. 2006; 95: 319-327.
70. Leopoldini M, Russo N, Toscano M. The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*. 2011; 125: 288–306.
71. Manach C, Williamson G, Morand C, Scalbert A, Remesy C. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005; 81: 2305-2425.
72. Mertens-Talcott S, Zadezensky I, De Castro W, Derendorf H, Butterweck V. Grape-fruit-drug interactions: can interactions with drugs be avoided? *Journal of Clinical Pharmacology*. 2006; 46: 1390-1416.
73. Fang Z, Bhandari B. Encapsulation of polyphenols-A review. *Trends in Food Science and Technology*. 2010; 21: 510-523.
74. Singleton V, Rossi, J. Colorimetric of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1965; 16: 144-158.
75. Cam M, Hisil Y, Durmaz G. Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Journal of Food Chemistry*. 2009; 112: 721-726.
76. AOAC. *Official methods of analysis of AOAC international*. 16 ed. Gaythersburg; 1996.
77. Afshari-Jouybari H, Farahnaky A. Evaluation of photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering*. 2011; 106 (2): 170-175.
78. Montgomery D. *Diseño y Análisis de experimentos*. Arizona: Editorial LIMUSA; 2004.
79. Toledo – Madrid K, Osorio GI, Gallardo T. Encapsulación por secado por aspersión de compuestos fenólicos de la cáscara de tuna morada (*Opuntia ficus indica*) utilizando

- goma arábica y maltodextrina como agentes encapsulantes. XX Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica. Veracruz, México: 2016.
80. Busso – Casati C, Baeza R, Sánchez V, Catalano A, López P, Zamora MC. Thermal degradation kinetics of monomeric anthocyanins, colour changes and storage effect in elderberry juices. *Journal of Berry Research*. 2015; 5: 29–39.
81. Cejudo-Bastante MJ, Hurtado N, Mosquera N, Heredia FJ. Potential use of new Colombian sources of betalains. Color stability of ulluco (*Ulluco tuberosus*) extracts under different pH and thermal conditions. *Food Research International*. 2014; 64, 465 – 471.
82. Souza VB, Fujita A, Thomazini M, Da Silva ER, Lucon, JF, Genovese MI, Favaro-Trindade CS. Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. *Food Chemistry*. 2014; 164, 380–386.
83. Souza VB, Thomazini M, De Carvalho Balieiro JC, Fávaro-Trindade CS. Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). *Food and Bioproducts Processing*. 2015; 93: 39–50.



ARTÍCULO CIENTÍFICO

“EFECTO DEL RATIO ENCAPSULANTE:PULPA Y LA TEMPERATURA DE AIRE DE ENTRADA EN EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE MICROENCAPSULADO DE TUNA AMARILLA (*Opuntia ficus-indica*)”

TORRE MONTALVO, Julio¹; CHUQUILIN GOICOCHEA, Roberto Carlos¹

RESUMEN

La tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*) es un fruto estacional de la región Huancavelica, que muy poco se aprovecha, a pesar de ser una fuente de compuesto fenólicos y antioxidantes naturales, es por ello que, se desarrolló pulpa de tuna amarilla encapsulada usando maltodextrina, de tal manera que, se conserven sus propiedades funcionales. Se usó un diseño factorial 2^k cuyas variables independientes fueron: la ratio de agente encapsulante (10 % y 20 %) y la temperatura del aire de entrada (120 °C y 140 °C), y las variables dependientes fueron: el contenido en polifenoles totales (método Folin – Ciocalteau), actividad antioxidante (método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo), humedad (método gravimétrico), rendimiento y parámetros de colorimetría (a, b, L) para medir la eficiencia de encapsulación. El contenido en polifenoles totales y actividad antioxidante máximos alcanzados fueron 231,16 ± 0,406 mg ácido gálico equivalente/100 g y 53,86 ± 2,85 % de inhibición, respectivamente; para una ratio de agente encapsulante de 10% y temperatura de aire de entrada 120 °C. Con estos valores de las variables independientes, se obtuvieron valores de humedad y rendimiento de: 6,4949 ± 0,0562 % y 7,4546 ± 0,155 %, respectivamente. La estabilidad del color del encapsulado, así como de sus propiedades funcionales se logra a una ratio de 10% y temperatura de entrada de aire de secado a 120 °C.

Palabras claves: actividad antioxidante, alimentos funcionales, compuesto fenólicos, encapsulación, *Opuntia ficus-indica*.

¹Universidad Nacional de Huancavelica, Ciudad Universitaria Comun Era S/N Acobamba.
torremj_2@hotmail.com

" EFFECT OF THE ENCAPSULATING RATIO: PULP AND AIR TEMPERATURE OF ENTRY IN THE CONTENT OF TOTAL POLYPHENOLS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF MICROENCAPSULATED YELLOW TUNA (*Opuntia ficus-indica*)"

Abstract

The yellow prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) is a seasonal fruit of the Huancavelica region, that very little is takes advantaged, despite being a source of phenolic compounds and natural antioxidants, it is because of that, yellow prickly pulp encapsulated using maltodextrin was developed, in such a way that, its functional properties are preserved. A 2k factorial design was used whose independent variables were: the ratio of encapsulating agent (10 % y 20 %) and the temperature of the inlet air (120 °C y 140 °C), and the dependent variables were: the content of total polyphenols (Folin-Ciocalteau method), antioxidant activity (free radical method 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil), humidity (gravimetric method), yield and colorimetric parameters (a, b, L) to measure the encapsulation efficiency. The maximum polyphenol content and antioxidant activity reached were 231,16 $\pm$ 0,406 mg gallic acid equivalent / 100 g and 53,86 $\pm$ 2,85% inhibition, respectively; for an encapsulating agent ratio of 10% and inlet air temperature 120 °C. With these values of the independent variables, moisture and yield values were obtained of: 6,4949 $\pm$ 0,0562% and 7,4596 $\pm$ 0,155%, respectively. The color stability of the encapsulation, as well as its functional properties is achieved at a ratio of 10% and drying air inlet temperature at 120 °C.

Keywords: antioxidant activity, foods functional, phenolic compounds, encapsulation, *Opuntia ficus-indica*.

INTRODUCCIÓN

La tuna (*Opuntia ficus-indica*), una planta que podría ser considerada como un símbolo del distrito de Locroja, provincia de Churcampa - Huancavelica, crece en tierras semi áridas de todo el mundo y es especialmente cultivada en la zona Mediterránea y en América Central y Sudamérica. La planta *Opuntia* es principalmente cultivada por su fruto denominado “tuna”, y en otros países usan diversas partes de la planta como parte de su dieta y para la industria cosmética. El fruto tiene un jugo dulce, y su pulpa posee abundantes y duras semillas pequeñas. En los recientes años, muchos países han incrementado la producción de fruto de tuna, por sus interesantes propiedades nutricionales; en efecto, su riqueza en azúcares, vitamina C, pigmentos, y minerales tales como Ca, Na, Mg, Zn, Fe, y de acuerdo a muchos autores también Mn y Se. Debido a que, su tiempo de almacenamiento en fresco es relativamente corto, se plantea una problemática que ha hecho que, en muchos países, desarrollen estudios sobre el procesamiento y almacenamiento del jugo; además, el zumo puede consumirse como tal o emplearse en la industria alimentaria en la preparación de bebidas con propiedades gustativas y / o nutricionales mejoradas.

Dentro de esta investigación sobre *O. ficus indica* (L.) Mill., variedad amarilla, se ha investigado una posibilidad de procesar la pulpa de tuna como encapsulado por atomización. Se presentan los resultados del estudio de la actividad antioxidante y contenido en polifenoles totales del proceso de encapsulado de pulpa de fruta *O. ficus indica*. No hay artículos científicos en la literatura sobre la presencia de compuestos fenólicos en tuna amarilla, que podrían tener un efecto importante sobre la estabilidad oxidativa del jugo. Los polifenoles, y especialmente los flavonoides, son importantes debido a su contribución a la calidad sensorial de las frutas y también debido a sus propiedades nutricionales y biológicas.

PARTE EXPERIMENTAL

Descripción del sistema de microencapsulado

Se usaron 793,61 g de tuna. Se seleccionaron las tunas separándose las que estaban en buen estado de las que estaban magulladas, podridas u otro defecto que pueda influir en la calidad del producto final. Se lavaron las tunas amarillas con agua potable para eliminar tierra y restos de cosecha. Se desinfectaron las tunas amarillas con agua clorada a 100

ppm. Se separó la pulpa de la cáscara y las semillas. Se hizo un filtrado con un tamiz de 0,5 mm de orificio. Luego la pulpa se diluyó con agua en proporción 1 a 3, es decir 50 g de pulpa con 150 g de agua. El encapsulante se calculó en función al peso de la dilución de tuna con agua. Se usaron porcentajes de 10 y 20% respecto a la dilución, y se mezcló a agitación constante durante 5 min. Se usaron 10 g de maltodextrina con 100 g de dilución respectivamente. Las soluciones resultantes fueron alimentadas en un spraydryer. El spraydryer fue operado a temperaturas de aire de entrada en un rango de 120 a 140 ± 5 °C. El flujo de aire y velocidad de alimentación, fueron 473 L/h, 10 mL/min, respectivamente, para el sistema de encapsulación. Los polvos resultantes fueron envasados y protegidos de la exposición a la luz. Los microencapsulados de tuna amarilla fueron almacenados a 20 °C para su subsecuente análisis.

Contenido de polifenoles totales

El contenido de polifenoles se cuantificó por el método de Folin-Ciocalteu¹. Las macropartículas (200 mg) fueron dispersadas en 1 mL de acetonitrilo y 1 mL de metanol : ácido acético : agua (50:8:42 v/v/v). Esta dispersión se agitó con un vortex (1 min), se ultrasonificó dos veces por 20 min, se centrifugó a 112000 g por 5 min, y se filtró (0,22 mm Millipore filter).

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó de acuerdo al método Cam *et al.*². Para ello se mezclaron 0,1 mL de muestras con 0,9 mL de 100 mM Trise-HCl buffer (pH 7,4) a los cuales se le añadieron 1 mL de DPPH (0,500 mM en etanol). La muestra control fue preparada de manera similar añadiendo 0,1 mL de agua en lugar de la muestra. Las mezclas fueron agitadas vigorosamente y se dejaron por 30 min. La absorbancia de la solución resultante fue medida a 517 nm por un espectrofotómetro UV-vis. La mezcla de reacción sin DPPH se utilizó para la corrección de fondo. La ecuación se aplicó para evaluar la actividad antioxidante:

$$\text{Actividad antioxidante} = \left[1 - \frac{A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}} \right] \times 100$$

Donde A_{muestra} es la absorbancia del microencapsulado a 517 nm y A_{control} es la absorbancia de la muestra control a 517 nm².

Colorimetría

El color fue determinado con un colorímetro Konica Minolta R400, mediante lectura directa.

Contenido en Humedad

El contenido de humedad se determinó por el método AOAC 925,40³, basada en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento hasta obtener peso constante. La fórmula para el cálculo es:

$$\text{Humedad \%} = \frac{(M - m)100}{M}$$

En la que:

M = Peso inicial en gramos de la muestra.

m = Peso en gramos del producto seco.

Rendimiento

El rendimiento del microencapsulado se calculó con la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{P_{mc}}{P_{ta}} \times 100$$

Dónde:

P_{mc} = Peso en gramos del microencapsulado.

P_{ta} = Peso en gramos de la pulpa de tuna amarilla diluida que entra al atomizador.

Porcentaje de Retención o Eficiencia de Encapsulación

El porcentaje de retención o eficiencia de encapsulación se calculó con la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{P_E}{P_F} \times 100$$

Dónde:

P_E = concentración de compuesto bioactivo en el encapsulado en base seca.

P_F = concentración de compuesto bioactivo en el producto fresco en base seca.

Análisis estadístico

Se evaluó el efecto de la ratio encapsulante/pulpa y temperatura de aire de entrada en el contenido total de polifenoles, la actividad antioxidante, color y humedad en el microencapsulado de tuna amarilla, mediante un diseño factorial 2². Para el análisis de los

datos, los puntajes numéricos para cada muestra, se tabularon y analizaron utilizando análisis de varianza (ANOVA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

La ratio de encapsulante, la temperatura de entrada y la interacción de estos factores tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido en polifenoles totales, actividad antioxidante, el parámetro L^* , el parámetro a^* , el parámetro b^* y rendimiento del microencapsulado de tuna amarilla. en el microencapsulado de tuna amarilla. La interacción de estos factores no tuvieron un efecto significativo sobre la humedad ($p > 0,05$).

Tabla 1. Análisis de varianza de las variables dependientes estudiadas.

Fuente de variación	CPT	AA	L^*	a^*	b^*	H	R
	P						
Ratio Encapsulante (RE)	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
Temperatura (T°)	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
RE* T°	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,812	0,004

CPT: contenido en polifenoles totales, AA: actividad antioxidante, H: humedad, R: rendimiento.

Modelos de regresión

El modelo de regresión para el contenido de polifenoles totales tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 98,38\%$); para actividad antioxidante tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 99,20\%$); para el parámetro L^* tuvo un bajo coeficiente de determinación ($R^2 = 54,87\%$), lo que impide predecir el parámetro L^* del microencapsulado con precisión; para el parámetro a^* tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 96,91\%$); para el parámetro b^* tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 97,28\%$); para la humedad tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 99,70\%$); para el rendimiento tuvo un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 99,53\%$).

Tabla 2. Modelos de regresión de las variables dependientes estudiadas.

Variable dependiente	Modelo de regresión
CPT	$CPT = 196,953 - 11,004 RE - 15,496 T^\circ + 7,711 RE * T^\circ$

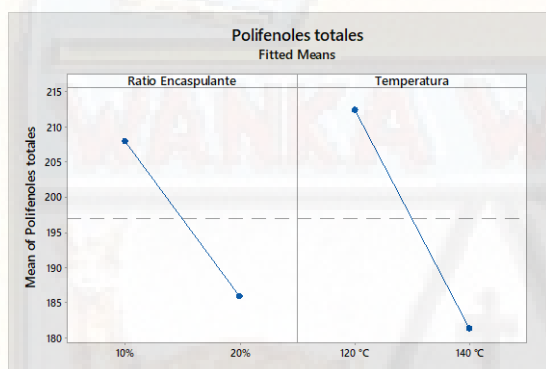
AA	$AA = 47,0935 - 2,6284 RE - 3,0432 T^{\circ} + 1,0953 RE * T^{\circ}$
L*	$L^* = 95,7617 - 0,3417 RE + 0,2800 T^{\circ} - 0,2967 RE * T^{\circ}$
a*	$a^* = -2,6117 + 0,2683 RE + 0,2767 T^{\circ} - 0,2567 RE * T^{\circ}$
b*	$b^* = 22,5950 - 1,4500 RE + 1,0367 T^{\circ} - 0,4617 RE * T^{\circ}$
H	$H = 5,2948 - 0,3182 RE - 0,8849 T^{\circ} - 0,0030 RE * T^{\circ}$
R	$R = 9,9798 + 1,9646 RE + 0,6970 T^{\circ} + 0,1364 RE * T^{\circ}$

CPT: contenido en polifenoles totales, AA: actividad antioxidante, H: humedad, R: rendimiento.

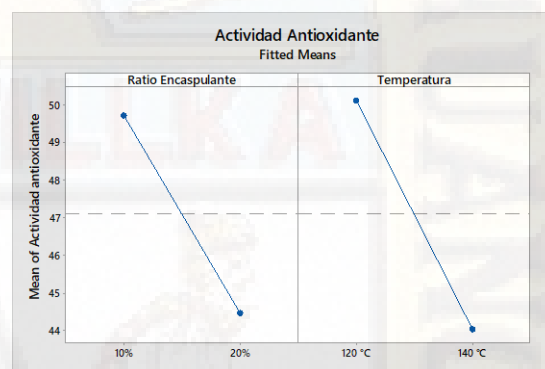
Gráficos de efectos principales

La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre el contenido en polifenoles totales, respaldando los resultados del análisis de varianza (Figura 1.a). A menor ratio de encapsulante y menor temperatura se logran mayores contenidos en polifenoles totales en el microencapsulado de tuna amarilla. La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre la actividad antioxidante, respaldando los resultados del análisis de varianza (Figura 1.b). A menor ratio de encapsulante y menor temperatura se logra mayor la actividad antioxidante en el microencapsulado de tuna amarilla. La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre el parámetro L*, respaldando los resultados del análisis de varianza (Figura 1.c). A menor ratio de encapsulante y mayor temperatura se logra un mayor valor del parámetro L* en el microencapsulado de tuna amarilla. La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre el parámetro a*, respaldando los resultados del análisis de varianza (Figura 1.d). A mayor ratio de encapsulante y mayor temperatura se logra un mayor valor del parámetro a* en el microencapsulado de tuna amarilla. La ratio de encapsulante y temperatura de entrada de aire caliente al atomizador muestran un efecto principal muy pronunciado sobre el parámetro b*, respaldando los resultados del análisis de varianza. La ratio de encapsulante es inversamente proporcional al parámetro b* y la temperatura de entrada del aire de secado es directamente proporcional al parámetro b* del microencapsulado de tuna amarilla (Figura 1.e). La ratio de encapsulante muestra un efecto principal moderado sobre la humedad, y la temperatura de entrada de aire caliente al atomizador un efecto

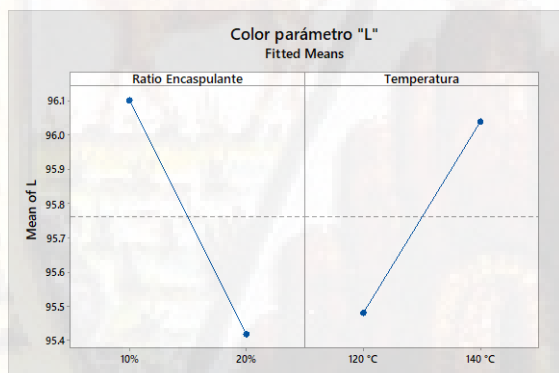
muy pronunciado y mayor que la ratio encapsulante sobre la humedad; respaldando los resultados del análisis de varianza. La ratio de encapsulante y la temperatura de entrada del aire de secado son inversamente proporcionales a la humedad del microencapsulado de tuna amarilla (Figura 1.f). La ratio de encapsulante muestra un efecto principal muy pronunciado sobre el rendimiento, y la temperatura de entrada de aire caliente al atomizador un efecto moderado y menor que, la ratio encapsulante sobre rendimiento; respaldando los resultados del análisis de varianza. La ratio de encapsulante y la temperatura de entrada del aire de secado son directamente proporcionales al rendimiento del microencapsulado de tuna amarilla (Figura 1.g).



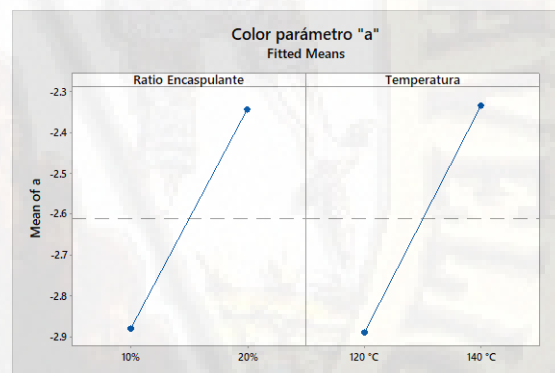
a)



b)



c)



d)

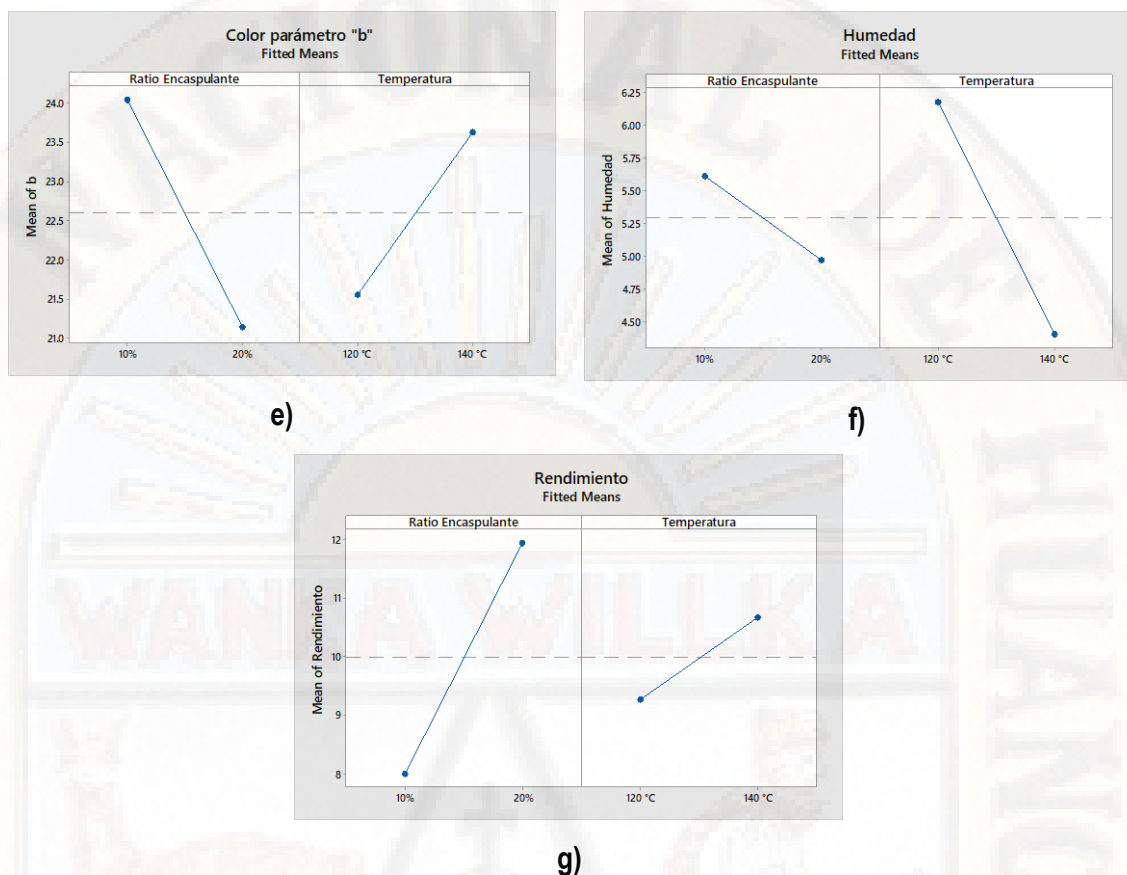


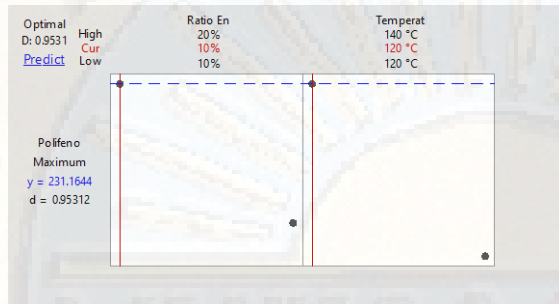
Figura 1. Gráficos de efectos principales.

Gráficos optimizadores de respuesta

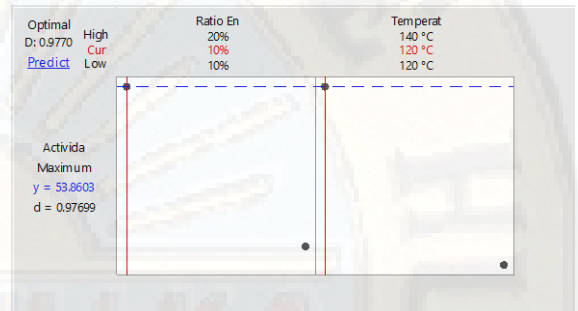
El gráfico optimizador muestra que, una ratio de encapsulante de 10% y una temperatura de 120 °C, proporciona un contenido en polifenoles totales de 231,1644 mg de ácido gálico/100 g de encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,95312 (Figura 2.a); una actividad antioxidante de 53,8603 % de inhibición en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,97699 (Figura 2.b).

El gráfico optimizador muestra que, una ratio de encapsulante de 10% y una temperatura de 140 °C, proporciona un valor de parámetro L^* de 96,680 % en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,95025 (Figura 2.c); un valor de parámetro b^* de 25,5433 en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,94198 (Figura 2.e). Esto sugiere que, el nivel mínimo y máximo de las variables de estudio, respectivamente; son los más adecuados para maximizar la variable respuesta. El gráfico optimizador muestra que, una ratio de encapsulante de 20% y una temperatura de 140 °C, proporciona un valor de parámetro a^* de -2,3233 en el encapsulado de tuna amarilla, con

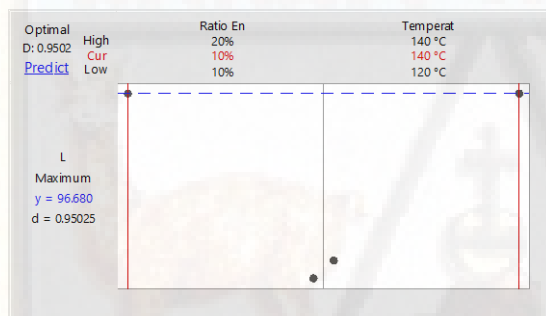
una deseabilidad de 0,91599 (Figura 2.d); una humedad de 4,0887% en el encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,98130 (Figura 2.f); un rendimiento de 12,7778% de encapsulado de tuna amarilla, con una deseabilidad de 0,99001 (Figura 2.g). Esto sugiere que, los niveles máximos de las variables de estudio, son los más adecuados para maximizar la variable respuesta.



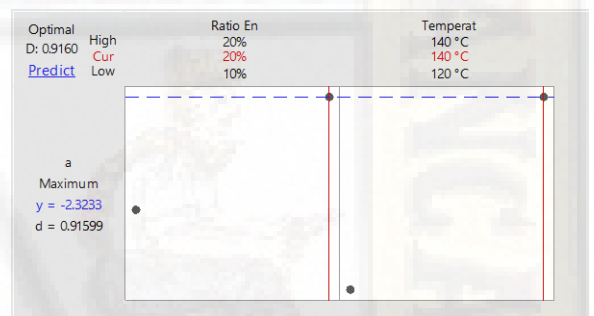
a)



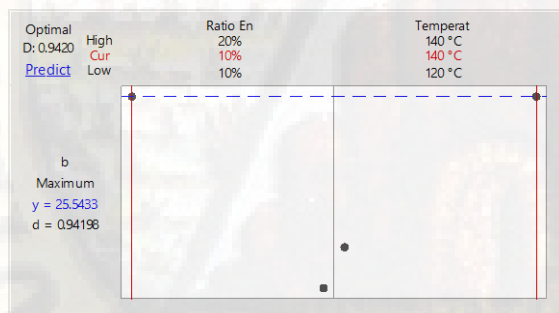
b)



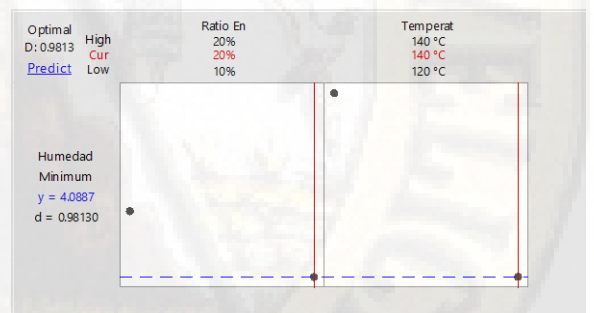
c)



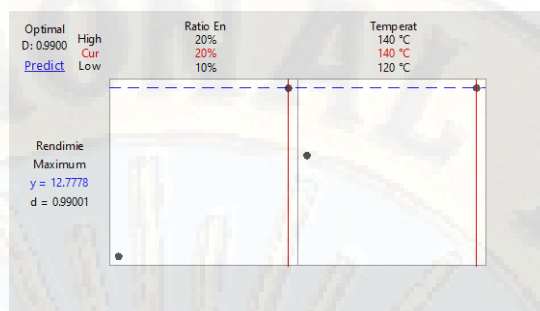
d)



e)



f)



g)

Figura 2. Gráfico optimizador de respuesta

Compuestos bioactivos del microencapsulado de tuna amarilla

La pulpa de tuna presentó un contenido en polifenoles totales de 178,16 mg de ácido gálico/100 g de muestra, cuando se preparó la mezcla de pulpa, agua y encapsulante el contenido en polifenoles totales fue de 379,91 y 414,45 mg de ácido gálico/100 g de muestra, para ratio encapsulante : pulpa 20% y 10%, respectivamente. La eficiencia de encapsulación (EE) obtenida con respecto al contenido en polifenoles varió de 46,79% a 59,65%, en el producto final encapsulado. Toledo *et al.*⁴ encapsularon compuestos fenólicos de cáscara de tuna morada y la eficiencia de encapsulación para maltodextrina fue del 95,5 – 104%. Paz *et al.*⁵ encapsularon pulpa de tuna morada y roja, con diferentes tipos de encapsulantes, y encontraron que, la eficiencia de encapsulación de polifenoles varió de 68 a 80%, de 76 a 85 % y de 78 a 86 % para pulpa – proteína aislada de soja, pulpa - proteína aislada de soja – maltodextrina, y pulpa – proteína aislada de soja – inulina, respectivamente. Zhang *et al.*⁶ reportó que, la encapsulación de procianidinas de semillas de uva con goma arábiga alcanzó una eficiencia de encapsulación a 88,8%, y Kosaraju *et al.*⁷ reportó 27% de polifenoles en extracto de hoja de olivo con quitosano, ambos experimentos usaron secado por atomización. Además, otras técnicas para encapsulación de polifenoles han sido reportadas tales como nanoprecipitación de quercitina⁸ y catequinas de té por gelación iónica⁹ con una eficiencia de encapsulación de 99% y 24 a 53%, respectivamente. La pulpa tuvo un porcentaje de inhibición de radical libre de 55%, y el producto encapsulado varió de 42,52 a 53,86%, presentándose una retención de 77,30 a 97,90% del porcentaje de inhibición de radical libre. Esto muestra que, la encapsulación tiene una alta capacidad de retención de la actividad antioxidante. La actividad antioxidante decreció en menor cuantía. Este efecto se atribuye a las

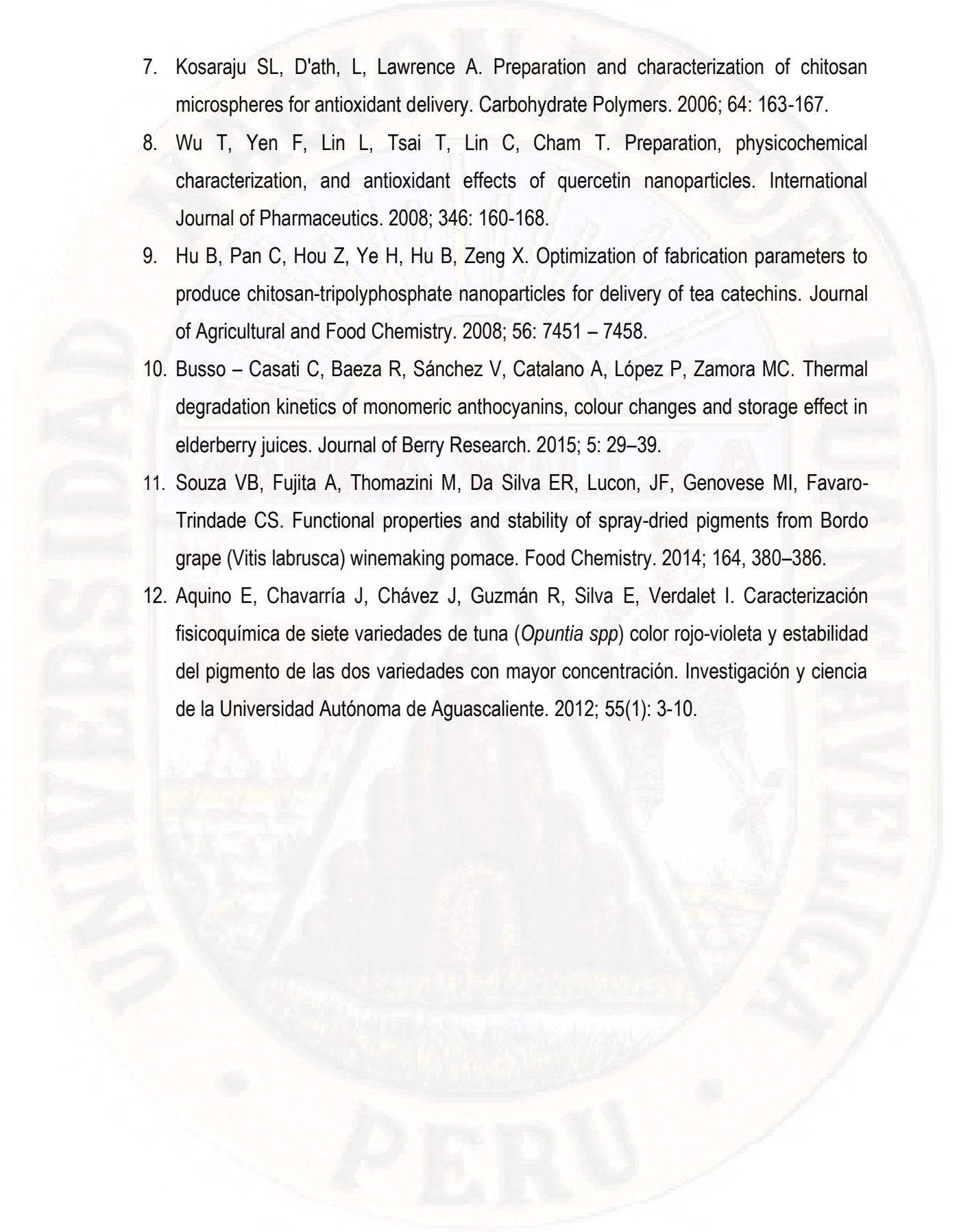
reacciones de condensación entre los compuestos antioxidantes, resultando en la formación de compuestos fenólicos polimerizados que mantuvieron su actividad antioxidante¹⁰. Paz *et al.*⁵ en su estudio del color de la pulpa de tuna roja encapsulada, mostró que la proyección de los datos en los diagramas a^* y b^* mostró que, todos los datos están ubicados en el segundo cuadrante ($+a^*$, $-b^*$). No encontraron diferencias en los valores de L^* , a^* y C^*_{ab} . Teniendo en cuenta que ΔE^*_{ab} de hasta dos unidades CIELAB indica diferencias de color apreciables para el ojo humano¹³, se confirmó que no hubo diferencias de color visualmente apreciables entre dos polvos porque este valor era 0,627. Las maltodextrinas se encuentran entre los agentes transportadores más importantes, principalmente porque forman soluciones de baja viscosidad en altas concentraciones que pueden ser secadas por pulverización de manera eficiente¹¹. El extracto de piel de uva se secó por pulverización con maltodextrinas, que se usaron como agentes encapsulantes para obtener un polvo con bajo contenido de humedad, baja higroscopicidad y alta solubilidad¹². En este trabajo, se usó la maltodextrina y se logró una humedad de baja dentro de un rango de 4,04% a 6,57%, esta humedad tiende a que el producto sea higroscópico, pero la maltodextrina ayuda evitar este defecto como indican los autores mencionados. Se debe señalar que, una alta temperatura en el atomizador proporciona menores tiempos de residencia en la cámara de atomización lo que permite obtener una baja humedad y un rendimiento elevado; sin embargo, se puede observar que, a su vez, los niveles altos proporcionan menor retención de compuestos bioactivos. Se muestra la retención de compuestos bioactivos en el encapsulado de pulpa de tuna, siendo el tratamiento 1 (ratio de encapsulante y pulpa 10% y temperatura de entrada 120 °C) el que presenta mayor retención de ambos: contenido en polifenoles totales (59,65%) y capacidad antioxidante (97,90%). En el caso de Toledo *et al.*⁵ quien estudio la encapsulación de extracto de cáscara de tuna morada con goma arábica y maltodextrina encontró una mayor retención de compuestos fenólicos con una ratio de encapsulante y pulpa de 20%.

CONCLUSIONES

Hubo un efecto significativo y negativo del ratio de encapsulante:pulpa en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*). Con una Condición optima de ratio encapsulante de 10%. Existe un efecto significativo y negativo de la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*). Con una condición optima de temperatura de encapsulación de 120 °C. Se halló un efecto significativo de la interacción ratio de encapsulante:pulpa y la temperatura de aire de entrada en el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante de microencapsulado de tuna amarilla (*Opuntia ficus-indica*). La interacción de la temperatura de entrada de aire de secado es directamente proporcional a los parámetros de color L*, a* y b*, inversamente proporcionales a la humedad y directamente proporcionales al rendimiento del microencapsulado de pulpa de tuna amarilla.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Singleton V, Rossi, J. Colorimetric of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1965; 16: 144-158.
2. Cam M, Hisil Y, Durmaz G. Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Journal of Food Chemistry*. 2009; 112: 721-726.
3. AOAC. *Official methods of analysis of AOAC international*. 16 ed. Gaythersburg; 1996.
4. Toledo K, Osorio G, Gallardo G. Encapsulación por secado por aspersión de compuestos fenólicos de la cáscara de tuna morada (*Opuntia ficus-indica*) utilizando goma arábica y maltodextrina como agente encapsulante. Veracruz – México: XX Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica; 2016.
5. Paz R, Torres V, García P, Vergara C, Saenz C. The encapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp by using polysaccharide-proteins as encapsulating agents. *LWT - Food Science and Technology*. 2015; 60: 1039-1045.
6. Zhang L., Mou D, Du Y. Procyanidins: extraction and encapsulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007; 87: 2192-2197

- 
7. Kosaraju SL, D'ath, L, Lawrence A. Preparation and characterization of chitosan microspheres for antioxidant delivery. *Carbohydrate Polymers*. 2006; 64: 163-167.
 8. Wu T, Yen F, Lin L, Tsai T, Lin C, Cham T. Preparation, physicochemical characterization, and antioxidant effects of quercetin nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*. 2008; 346: 160-168.
 9. Hu B, Pan C, Hou Z, Ye H, Hu B, Zeng X. Optimization of fabrication parameters to produce chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for delivery of tea catechins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008; 56: 7451 – 7458.
 10. Busso – Casati C, Baeza R, Sánchez V, Catalano A, López P, Zamora MC. Thermal degradation kinetics of monomeric anthocyanins, colour changes and storage effect in elderberry juices. *Journal of Berry Research*. 2015; 5: 29–39.
 11. Souza VB, Fujita A, Thomazini M, Da Silva ER, Lucon, JF, Genovese MI, Favaro-Trindade CS. Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. *Food Chemistry*. 2014; 164, 380–386.
 12. Aquino E, Chavarría J, Chávez J, Guzmán R, Silva E, Verdalet I. Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia spp*) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascaliente*. 2012; 55(1): 3-10.

ANEXOS

Anexo 1

Resultados de laboratorio

1. Resultados de muestra pulpa (tuna fresca)

Antioxidantes: 55% de inhibición

Datos del cálculo de Contenido en Polifenoles totales (CPT):

Curva de calibración usando patrón ácido gálico:

ABS = 0,3743 CPT – 0,0141

Predicción: ABS = 0,236

CPT = 178,16352 mg ácido gálico/100 g muestra fresca

2. Parámetros de secado

2.1. Flujo de alimentación : 10 mL/min

2.2. Velocidad de aire : 473 L/h

2.3. % de aspiración : 100%

3. Balance de materia del fruto a pulpa antes de la encapsulación

Operación	Entra (kg)	Sale (kg)	Sigue (kg)
Lavado	100	0	102,8
Pelado	102,8	44,6	58,2
Pulpeado	58,2	58,2	58,2
Filtrado	58,2	21,25	36,95

3.1. Rendimiento de fruto de tuna a pulpa: 36,95%

3.2. Humedad en base húmeda de la pulpa: 90,23%

3.3. Materia seca en base húmeda de la pulpa: 9,77%

4. Determinación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH

Temperatura (°C)	Ratio E/P (%)	Abs ₀	Abs ₁	% Inhibición	AA _{prom}	DE
120	10	0,857	0,558	53,5842294		
120	10	0,857	0,556	54,1366906	53,86	0,28
120	10	0,857	0,557	53,8599641		
120	20	0,857	0,585	46,4957265		
120	20	0,857	0,587	45,9965928	46,41	0,38
120	20	0,857	0,584	46,7465753		
140	10	0,857	0,589	45,5008489		
140	10	0,857	0,589	45,5008489	45,58	0,14
140	10	0,857	0,588	45,7482993		
140	20	0,857	0,601	42,5956739		
140	20	0,857	0,600	42,8333333	42,52	0,36
140	20	0,857	0,603	42,1227197		

E/P: encapsulado-pulpa, Abs: absorbancia, AA: actividad antioxidante, DE: desviación estándar.

Abs₀ = Absorbancia del blanco de muestra (2850 µL de DPPH• + 150 µL de metanol al 80%), después de 20 minutos.

Abs_m = Absorbancia de la muestra (2850 µL de DPPH• + 150 µL de extracto de muestra), después de 20 minutos.

5. Determinación del contenido en polifenoles totales por método de Folin – Ciocalteu

Temperatura (°C)	Ratio E/P (%)	Abs	CPT	CPT _{prom}	DE
120	10	0,298	233,85936		
120	10	0,296	232,06272	231,16	3,24
120	10	0,291	227,57112		
120	20	0,252	192,53664		
120	20	0,254	194,33328	193,73	1,04

120	20	0,254	194,33328		
140	10	0,241	182,65512		
140	10	0,245	186,2484	184,75	1,87
140	10	0,244	185,35008		
140	20	0,234	176,36688		
140	20	0,236	178,16352	178,16	1,80
140	20	0,238	179,96016		

CPT: contenido en polifenoles totales expresado en mg de ácido gálico/ 100 g de muestra.

Curva de calibración: $Y = 0,3743 X + 0,0141$

7. Determinación del color mediante Colorímetro Konica Minolta

Temperatura (°C)	Ratio E/P (%)	L*	a*	b*
120	10	95,64	-3,45	22,59
120	10	95,18	-3,40	22,51
120	10	95,76	-3,39	22,54
120	20	95,42	-2,36	20,24
120	20	95,47	-2,34	20,66
120	20	95,42	-2,39	20,81
140	10	96,5	-2,37	25,87
140	10	96,76	-2,42	25,64
140	10	96,78	-2,25	25,12
140	20	95,80	-2,35	21,66
140	20	95,64	-2,40	21,85
140	20	94,77	-2,22	21,65

8. Determinación de la humedad del encapsulado

Temperatura (°C)	Ratio E/P (%)	P _p	P _i	P _{mi}	P _f	P _{mf}	%H
120	10	4,2564	5,2655	1,0091	4,3218	0,0654	6,4810

120	10	4,285	5,2931	1,0081	4,3512	0,0662	6,5668
120	10	4,1589	5,1594	1,0005	4,2233	0,0644	6,4368
120	20	4,1234	5,1234	1,000	4,1821	0,0587	5,8700
120	20	4,1875	5,1876	1,0001	4,2463	0,0588	5,8794
120	20	4,251	5,252	1,001	4,3095	0,0585	5,8441
140	10	4,2156	5,2168	1,0012	4,2631	0,0475	4,7443
140	10	4,1325	5,1366	1,0041	4,1797	0,0472	4,7007
140	10	4,2685	5,271	1,0025	4,3161	0,0476	4,7481
140	20	4,2589	5,259	1,0001	4,3001	0,0412	4,1195
140	20	4,1258	5,1378	1,012	4,1667	0,0409	4,0415
140	20	4,1258	5,127	1,0012	4,1669	0,0411	4,1050

P_p: peso placa, P_i: peso inicial de muestra + placa, P_{mi}: peso inicial de muestra, P_f: peso final de muestra + placa, P_{mf}: peso final de muestra, %H: humedad de muestra.

9. Determinación del rendimiento

Temperatura (°C)	Ratio E/P (%)	P _i	P _f	η	η _{prom}	DE
120	10	0,298	233,85936	7,2727		
120	10	0,296	232,06272	7,6363	7,45	0,18
120	10	0,291	227,57112	7,4545		
120	20	0,252	192,53664	11,1011		
120	20	0,254	194,33328	11,0833	11,11	0,13
120	20	0,254	194,33328	11,2547		
140	10	0,241	182,65512	8,5454		
140	10	0,245	186,2484	8,5489	8,58	0,05
140	10	0,244	185,35008	8,6363		
140	20	0,234	176,36688	12,7505		
140	20	0,236	178,16352	12,7511	12,78	0,05
140	20	0,238	179,96016	12,8333		

P_i: peso inicial de muestra, P_f: peso final de muestra, η: rendimiento, DE: desviación estándar.

Anexo 2

Balance de materia

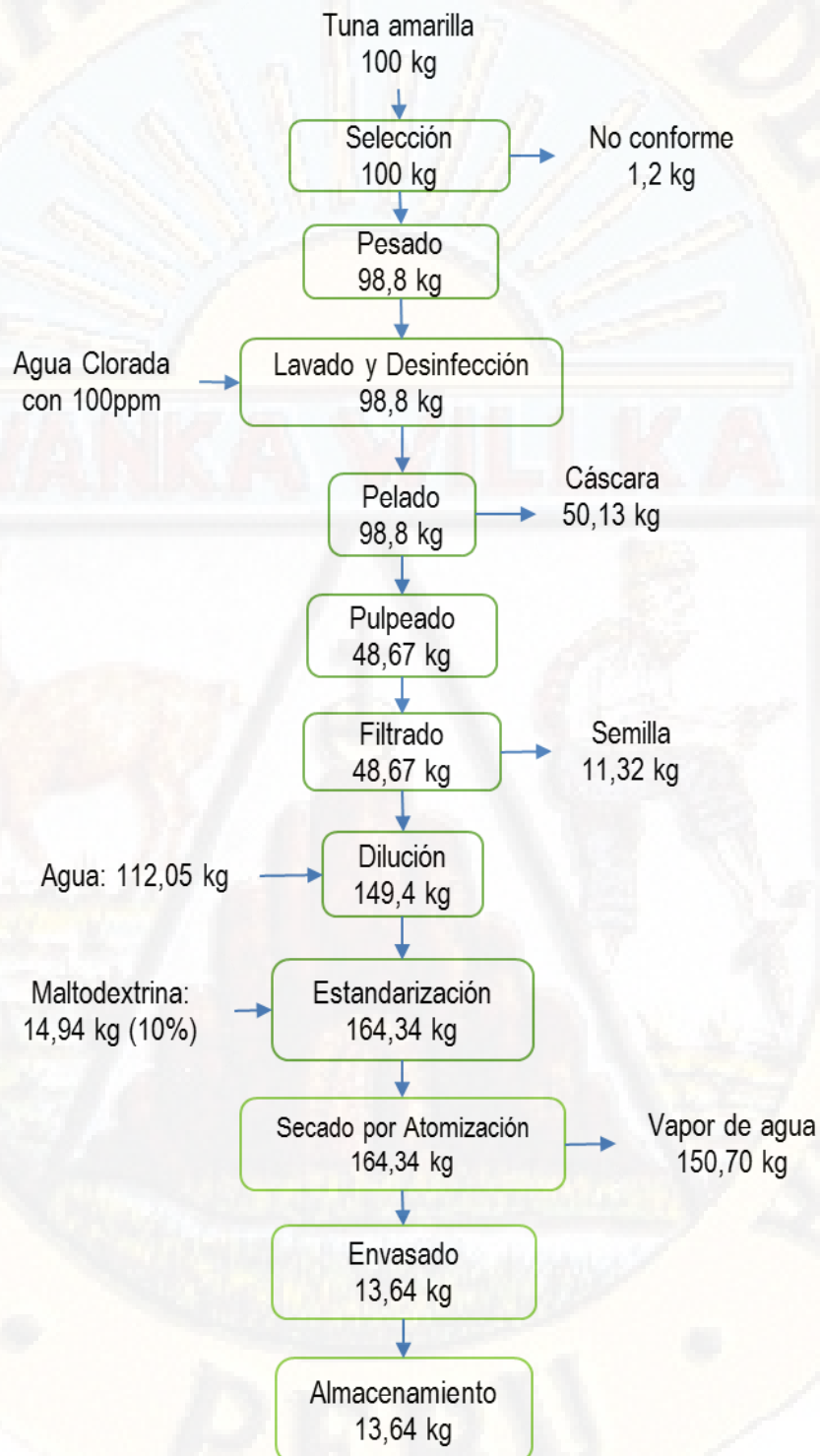


Figura 2. Balance de materia de microencapsulado de tuna amarilla.

Anexo 3

Costos de producción

Nota: estos costos están basados en 1 h de producción

I. Costos directos de producción

1.1. Materia Prima, Insumos y materiales

Detalle	Cantidad	Precio (S/.)	Total (S/.)
Tuna	0,793	1	0,793
Maltodextrina	0,12	15	1,8
Agua	0,0009	2,5	0,00225
Sub - total			2,59525
Imprevistos (2.5%)			0,06488125
TOTAL			2,66013125

1.2. Mano de obra

Detalle	Cantidad	Precio h/jornal (S/.)	Total (S/.)
Personal	1	6,25	6,25
TOTAL			6,25

Total costos directos	8,91
------------------------------	-------------

II. Costo indirectos de producción

2.1. Depreciación y servicios

Detalle	Cantidad (S/.)
Depreciación mensual	0,44
Limpieza y desinfección	0,31
Reparación, mantenimiento	0,21
Servicios	0,31
TOTAL	1,27

2.2. Costo total de fabricación

Detalle	Monto (S/.)
Costos directos	8,91
Costos indirectos	1,27
TOTAL	10,18
Costo por 99.6 g de microencapsulado (S/.)	10,18

Anexo 4

Hoja de salida del Análisis Estadístico de Datos con Minitab

v.16

30/04/2018 15:25:24

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Full Factorial Design

Factors: 2 Base Design: 2; 4
Runs: 12 Replicates: 3
Blocks: 1 Center pts (total): 0

All terms are free from aliasing.

Factorial Regression: Rendimiento versus Ratio Encapsulante; Temperatura

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-
Value					
Model	3	52.3704	17.4568	1285.21	
0.000					
Linear	2	52.1472	26.0736	1919.61	
0.000					
Ratio Encapsulante	1	46.3180	46.3180	3410.05	
0.000					
Temperatura	1	5.8292	5.8292	429.16	
0.000					
2-Way Interactions	1	0.2231	0.2231	16.43	
0.004					
Ratio Encapsulante*Temperatura	1	0.2231	0.2231	16.43	
0.004					
Error	8	0.1087	0.0136		
Total	11	52.4790			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.116545	99.79%	99.72%	99.53%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
VIF					
Constant		9.9798	0.0336	296.63	0.000
Ratio Encapsulante	3.9293	1.9646	0.0336	58.40	0.000
1.00					
Temperatura	1.3939	0.6970	0.0336	20.72	0.000
1.00					

Ratio Encapsulante*Temperatura	0.2727	0.1364	0.0336	4.05	0.004
1.00					

Regression Equation in Uncoded Units

Rendimiento = 9.9798 + 1.9646 Ratio Encapsulante + 0.6970 Temperatura
+ 0.1364 Ratio Encapsulante*Temperatura

Alias Structure

Factor Name

A	Ratio Encapsulante
B	Temperatura

Aliases

I
A
B
AB

Effects Pareto for Rendimiento

Residual Plots for Rendimiento

Factorial Regression: Polifenoles totales versus Ratio Encapsulante; Temperatura

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-
Value					
Model	3	5048.12	1682.71	367.98	
0.000					
Linear	2	4334.69	2167.34	473.96	
0.000					
Ratio Encapsulante	1	1453.17	1453.17	317.78	
0.000					
Temperatura	1	2881.52	2881.52	630.13	
0.000					
2-Way Interactions	1	713.44	713.44	156.01	
0.000					
Ratio Encapsulante*Temperatura	1	713.44	713.44	156.01	
0.000					
Error	8	36.58	4.57		
Total	11	5084.71			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.13843	99.28%	99.01%	98.38%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-
Value VIF					
Constant		196.953	0.617	319.05	
0.000					
Ratio Encapsulante	-22.009	-11.004	0.617	-17.83	
0.000 1.00					
Temperatura	-30.992	-15.496	0.617	-25.10	
0.000 1.00					
Ratio Encapsulante*Temperatura	15.421	7.711	0.617	12.49	
0.000 1.00					

Regression Equation in Uncoded Units

Polifenoles totales = 196.953 - 11.004 Ratio Encapsulante -
15.496 Temperatura
+ 7.711 Ratio Encapsulante*Temperatura

Alias Structure

Factor	Name
A	Ratio Encapsulante
B	Temperatura

Aliases

I
A
B
AB

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Polifenoles totales	Fit	Resid	Std Resid	
9	227.57	231.16	-3.59	-2.06	R

R Large residual

Effects Pareto for Polifenoles totales

Residual Plots for Polifenoles totales

Factorial Regression: Capacidad antioxidante versus Ratio Encapsulante; Temperatura

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-
Value					
Model	3	208.426	69.475	744.39	
0.000					
Linear	2	194.030	97.015	1039.46	
0.000					
Ratio Encapsulante	1	82.899	82.899	888.22	
0.000					

Temperatura	1	111.131	111.131	1190.71
0.000				
2-Way Interactions	1	14.396	14.396	154.25
0.000				
Ratio Encapsulante*Temperatura	1	14.396	14.396	154.25
0.000				
Error	8	0.747	0.093	
Total	11	209.173		

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.305502	99.64%	99.51%	99.20%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-
Value VIF					
Constant		47.0935	0.0882	533.99	
0.000					
Ratio Encapsulante	-5.2567	-2.6284	0.0882	-29.80	
0.000 1.00					
Temperatura	-6.0863	-3.0432	0.0882	-34.51	
0.000 1.00					
Ratio Encapsulante*Temperatura	2.1906	1.0953	0.0882	12.42	
0.000 1.00					

Regression Equation in Uncoded Units

Capacidad antioxidante = 47.0935 - 2.6284 Ratio Encapsulante -
 3.0432 Temperatura
 + 1.0953 Ratio Encapsulante*Temperatura

Alias Structure

Factor	Name
A	Ratio Encapsulante
B	Temperatura

Aliases

I
 A
 B
 AB

Effects Pareto for Capacidad antioxidante

Residual Plots for Capacidad antioxidante

Factorial Regression: Humedad versus Ratio Encapsulante; Temperatura

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-
Value					
Model	3	10.6116	3.53719	1986.56	
0.000					
Linear	2	10.6115	5.30573	2979.81	
0.000					
Ratio Encapsulante	1	1.2148	1.21479	682.25	
0.000					
Temperatura	1	9.3967	9.39667	5277.37	
0.000					
2-Way Interactions	1	0.0001	0.00011	0.06	
0.812					
Ratio Encapsulante*Temperatura	1	0.0001	0.00011	0.06	
0.812					
Error	8	0.0142	0.00178		
Total	11	10.6258			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0421967	99.87%	99.82%	99.70%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-
Value					
Constant		5.2948	0.0122	434.67	
0.000					
Ratio Encapsulante	-0.6363	-0.3182	0.0122	-26.12	
0.000					
Temperatura	-1.7698	-0.8849	0.0122	-72.65	
0.000					
Ratio Encapsulante*Temperatura	-0.0060	-0.0030	0.0122	-0.25	
0.812					

Regression Equation in Uncoded Units

Humedad = 5.2948 - 0.3182 Ratio Encapsulante - 0.8849 Temperatura
- 0.0030 Ratio Encapsulante*Temperatura

Alias Structure

Factor	Name
A	Ratio Encapsulante
B	Temperatura

Aliases

I
A
B
AB

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Std

Obs	Humedad	Fit	Resid	Resid	
5	6.5668	6.4949	0.0719	2.09	R

R Large residual

Effects Pareto for Humedad

Residual Plots for Humedad

Factorial Regression: L versus Ratio Encapsulante; Temperatura

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	3.3978	1.1326	10.63	0.004
Linear	2	2.3416	1.1708	10.99	0.005
Ratio Encapsulante	1	1.4008	1.4008	13.15	0.007
Temperatura	1	0.9408	0.9408	8.83	0.018
2-Way Interactions	1	1.0561	1.0561	9.91	0.014
Ratio Encapsulante*Temperatura	1	1.0561	1.0561	9.91	0.014
Error	8	0.8524	0.1066		
Total	11	4.2502			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.326420	79.94%	72.42%	54.87%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-
Value VIF					
Constant		95.7617	0.0942	1016.26	
0.000					
Ratio Encapsulante	-0.6833	-0.3417	0.0942	-3.63	
0.007 1.00					
Temperatura	0.5600	0.2800	0.0942	2.97	
0.018 1.00					
Ratio Encapsulante*Temperatura	-0.5933	-0.2967	0.0942	-3.15	
0.014 1.00					

Regression Equation in Uncoded Units

L = 95.7617 - 0.3417 Ratio Encapsulante + 0.2800 Temperatura
 - 0.2967 Ratio Encapsulante*Temperatura

Alias Structure

Factor Name

A	Ratio Encapsulante
B	Temperatura

Aliases

I
A
B
AB

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	L	Fit	Resid	Std Resid	R
12	94.770	95.403	-0.633	-2.38	R

R Large residual

Effects Pareto for L

Residual Plots for L

Factorial Regression: a versus Ratio Encapsulante; Temperatura

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-
Value					
Model	3	2.57310	0.857700	191.31	
0.000					
Linear	2	1.78257	0.891283	198.80	
0.000					
Ratio Encapsulante	1	0.86403	0.864033	192.72	
0.000					
Temperatura	1	0.91853	0.918533	204.88	
0.000					
2-Way Interactions	1	0.79053	0.790533	176.33	
0.000					
Ratio Encapsulante*Temperatura	1	0.79053	0.790533	176.33	
0.000					
Error	8	0.03587	0.004483		
Total	11	2.60897			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0669577	98.63%	98.11%	96.91%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-
Value					
Constant		-2.6117	0.0193	-135.12	
0.000					
Ratio Encapsulante	0.5367	0.2683	0.0193	13.88	
0.000					
Temperatura	0.5533	0.2767	0.0193	14.31	
0.000					
Ratio Encapsulante*Temperatura	-0.5133	-0.2567	0.0193	-13.28	
0.000					

Regression Equation in Uncoded Units

a = -2.6117 + 0.2683 Ratio Encapsulante + 0.2767 Temperatura
- 0.2567 Ratio Encapsulante*Temperatura

Alias Structure

Factor Name

A Ratio Encapsulante
B Temperatura

Aliases

I
A
B
AB

Effects Pareto for a

Residual Plots for a

Factorial Regression: b versus Ratio Encapsulante; Temperatura

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-
Value					
Model	3	40.6838	13.5613	217.62	
0.000					
Linear	2	38.1261	19.0631	305.91	
0.000					
Ratio Encapsulante	1	25.2300	25.2300	404.87	
0.000					
Temperatura	1	12.8961	12.8961	206.95	
0.000					
2-Way Interactions	1	2.5576	2.5576	41.04	
0.000					
Ratio Encapsulante*Temperatura	1	2.5576	2.5576	41.04	
0.000					
Error	8	0.4985	0.0623		
Total	11	41.1823			

Model Summary

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
0.249633 98.79% 98.34% 97.28%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-
Value					
Constant		22.5950	0.0721	313.55	
0.000					

Ratio Encapsulante	-2.9000	-1.4500	0.0721	-20.12
0.000 1.00				
Temperatura	2.0733	1.0367	0.0721	14.39
0.000 1.00				
Ratio Encapsulante*Temperatura	-0.9233	-0.4617	0.0721	-6.41
0.000 1.00				

Regression Equation in Uncoded Units

$$b = 22.5950 - 1.4500 \text{ Ratio Encapsulante} + 1.0367 \text{ Temperatura} - 0.4617 \text{ Ratio Encapsulante*Temperatura}$$

Alias Structure

Factor Name

A	Ratio Encapsulante
B	Temperatura

Aliases

I
A
B
AB

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	b	Fit	Resid	Std Resid	
7	25.120	25.543	-0.423	-2.08	R

R Large residual

Effects Pareto for b

Residual Plots for b

Prediction for Actividad antioxidante

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Actividad antioxidante} = 47.0935 - 2.6284 \text{ Ratio Encapsulante} - 3.0432 \text{ Temperatura} + 1.0953 \text{ Ratio Encapsulante*Temperatura}$$

Variable	Setting
Ratio Encapsulante	10%
Temperatura	120 °C

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
53.8603	0.176382	(53.4536; 54.2670)	(53.0468; 54.6738)

Prediction for Polifenoles totales

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Polifenoles totales} = 196.953 - 11.004 \text{ Ratio Encapsulante} - 15.496 \text{ Temperatura} + 7.711 \text{ Ratio Encapsulante} * \text{Temperatura}$$

Variable	Setting
Ratio Encapsulante	10%
Temperatura	120 °C

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
231.164	1.23462	(228.317; 234.011)	(225.470; 236.858)

Prediction for Rendimiento

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Rendimiento} = 9.9798 + 1.9646 \text{ Ratio Encapsulante} + 0.6970 \text{ Temperatura} + 0.1364 \text{ Ratio Encapsulante} * \text{Temperatura}$$

Variable	Setting
Ratio Encapsulante	10%
Temperatura	120 °C

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
7.45455	0.0672874	(7.29938; 7.60971)	(7.14422; 7.76488)

Prediction for b

Regression Equation in Uncoded Units

$$b = 22.5950 - 1.4500 \text{ Ratio Encapsulante} + 1.0367 \text{ Temperatura} - 0.4617 \text{ Ratio Encapsulante} * \text{Temperatura}$$

Variable	Setting
Ratio Encapsulante	10%
Temperatura	120 °C

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
22.5467	0.144126	(22.2143; 22.8790)	(21.8820; 23.2114)

Prediction for L

Regression Equation in Uncoded Units

$$L = 95.7617 - 0.3417 \text{ Ratio Encapsulante} + 0.2800 \text{ Temperatura} - 0.2967 \text{ Ratio Encapsulante} * \text{Temperatura}$$

Variable	Setting
Ratio Encapsulante	10%
Temperatura	120 °C

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
95.5267	0.188459	(95.0921; 95.9613)	(94.6575; 96.3958)

Prediction for a

Regression Equation in Uncoded Units

$$a = -2.6117 + 0.2683 \text{ Ratio Encapsulante} + 0.2767 \text{ Temperatura} - 0.2567 \text{ Ratio Encapsulante} * \text{Temperatura}$$

Variable	Setting
Ratio Encapsulante	10%
Temperatura	120 °C

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
-3.41333	0.0386580	(-3.50248; -3.32419)	(-3.59162; -3.23504)

Prediction for Humedad

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Humedad} = 5.2948 - 0.3182 \text{ Ratio Encapsulante} - 0.8849 \text{ Temperatura} - 0.0030 \text{ Ratio Encapsulante} * \text{Temperatura}$$

Variable	Setting
Ratio Encapsulante	10%
Temperatura	120 °C

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
6.49487	0.0243623	(6.43869; 6.55105)	(6.38251; 6.60723)

Anexo 5

Testimonio Fotográfico



Fotografía 1. Preparación de materia prima para obtención de pulpa.



Fotografía 2. Filtrado de pulpa de tuna amarilla.



Fotografía 3. Formulación de encapsulante (maltodextrina) y pulpa de tuna amarilla.



Fotografía 4. Secado por atomización pulpa de tuna amarilla.



Fotografía 5. Medición de color con el Colorímetro Konica Minolta.



Fotografía 6. Análisis del encapsulado de pulpa de tuna amarilla.



Fotografía 7. Reactivos para determinación de capacidad antioxidante DPPH.



Fotografía 8. Producto final del encapsulado de pulpa de tuna amarilla.