

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



**Efecto de la temperatura y concentración de maltodextrina en la
higroscopicidad y solubilidad de la Luteína de Alfalfa (*Medicago
sativa* L.) microencapsulada por secado Spray Dryer**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Agroindustrial

Presentado por:

Bach. Belinda Estefania Quicaño Huaman

Asesor:

Mg. Fredy Rober Pariona Escalante

Ayacucho - Perú

2024

DEDICATORIA.

A mi padre, Beltrán QUICAÑO SUAREZ,
por su apoyo incondicional de superación y
constante apoyo a lo largo de mi vida y a
todas las personas que contribuyeron a la
culminación de este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, gestora del conocimiento de la ciencia, tecnología y cultura en sus diversas manifestaciones.

A cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por su desempeño, dedicación y esfuerzo que me brindaron para compartir sus conocimientos y ser una profesional que garantice un buen desempeño en todo ámbito.

A mi asesor, Mg. Fredy Robert, PARIONA ESCALANTE, por haberse comprometido desde un inicio y su apoyo invaluable para la culminación de la presente investigación.

Al ing. Prudencio OCHOA FLORES, por ser un referente y guía el cual contribuyo a culminar el presente trabajo de investigación.

A todos los que colaboraron para que se la presente investigación se realice y sirva como referencia y fuente de información de futuros trabajos de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos de la temperatura y concentración de la maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína de alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulado por secado por spray dryer.

Para la microencapsulación de la luteína, se obtuvo la luteína extraída de la alfalfa mediante el método Soxhlet utilizando etanol como solvente de la muestra; posteriormente realizando la microencapsulación con maltodextrina al 5 % y 10 % como agente encapsulante, en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias y el Centro de Desarrollo, Análisis y Control de Calidad de Medicamentos y Fitomedicamentos de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica utilizando el equipo BUCHI Mini Spray Dryer B-290; luego, se han determinado los parámetros óptimos de secado de la luteína teniendo como variables independientes: La temperatura de atomización $T_1 = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_2 = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Así como la concentración de la maltodextrina $C_1 = 5\%$ y $C_2 = 10\%$.

Los resultados obtenidos son respecto a las variables respuestas fueron la higroscopicidad y la solubilidad de la luteína microencapsulada mediante el secado por spray dryer, por el método de diseño estadístico compuesto central que formuló 11 tratamientos, obteniendo una solubilidad de un 100% puesto que no quedo ningún residuo, y una higroscopicidad óptima de 70,4749% a una temperatura de 155,26 °C y a una concentración de 11,9% de maltodextrina.

Se evaluó los efectos de la temperatura y concentración de la maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína de alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulado por secado por spray Dryer teniendo como valor óptimo de la microencapsulación de luteína mediante secado por spray dryer respecto a la higroscopicidad de la luteína microencapsulada fue del 70,4749 % a una temperatura de 155,26 °C y a una concentración de 11,9% de maltodextrina. De igual manera, al obtener las microcápsulas de luteína se obtuvo el 100% de solubilidad, ya que una vez realizada la prueba se observó que no quedo partículas en suspensión y tuvo una solubilidad completa.

Se recomienda realizar más investigaciones en diferentes alimentos que contienen luteína para así desarrollar nuevos productos para consumo humano; realizando diseños para la creación de nuevas tecnologías en la conservación de la luteína ya que es muy inestable en contacto con el medio ambiente. La universidad debería implementar equipos en buen funcionamiento para realizar este tipo de investigaciones.

Palabra clave: Microencapsulación, luteína, efectos, secado por atomización.

ABSTRACT

The objective of this research work was to evaluate the effects of temperature and concentration of maltodextrin on the hygroscopicity and solubility of alfalfa lutein (*Medicago sativa* L.) microencapsulated by drying by spray dryer.

For the microencapsulation of lutein, lutein extracted from alfalfa was obtained by the Soxhlet method using ethanol as the sample solvent; subsequently performing microencapsulation with 5% and 10% maltodextrin as an encapsulating agent, in the Food Analysis laboratory of the Professional School of Engineering in Food Industries and the Center for Development, Analysis and Quality Control of Medicines and Phytomedicines of the School Pharmacy and Biochemistry professional using the BUCHI Mini Spray Dryer B-290 equipment; Then, the optimal lutein drying parameters have been determined, having as independent variables: The atomization temperature $T_1 = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $T_2 = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$. As well as the concentration of maltodextrin $C_1 = 5\%$ and $C_2 = 10\%$.

The results obtained are with respect to the variable responses were the hygroscopicity and the solubility of the microencapsulated lutein by drying by spray dryer, by the central composite statistical design method that formulated 11 treatments, obtaining a solubility of 100% since there was no residue, and an optimal hygroscopicity of 70.4749% at a temperature of 155.26 $^{\circ}\text{C}$ and a concentration of 11.9% of maltodextrin.

The effects of temperature and concentration of maltodextrin on the hygroscopicity and solubility of alfalfa lutein (*Medicago sativa* L.) microencapsulated by spray drying were evaluated, taking the optimal value of lutein microencapsulation by spray dryer with respect to The hygroscopicity of microencapsulated lutein was 70.4749% at a temperature of 155.26 $^{\circ}\text{C}$ and a concentration of 11.9% maltodextrin. Likewise, when obtaining the lutein microcapsules, 100% solubility was obtained, since once the test was carried out it was observed that there were no suspended particles and it had complete solubility.

It is recommended to carry out more research on different foods that contain lutein in order to develop new products for human consumption; making designs for the creation of new technologies in the conservation of lutein since it is very unstable in contact with the environment. The university should implement well-functioning equipment to conduct this type of research.

Keyword: Microencapsulation, lutein, effects, drying spray.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. Problema principal.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4.1. Espacial.....	3
1.4.2. Temporal.....	4
1.4.3. Tecnológico.....	4
1.4.4. Social.....	4
1.5. VARIABLE E INDICADORES.....	4
1.5.1. Variable independiente.....	4
1.5.2. Variable dependiente.....	4
1.6. HIPÓTESIS.....	5
1.6.1. Hipótesis general.....	5
1.6.2. Hipótesis específicas.....	5
II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.1.1. A nivel internacional.....	6
2.1.2. A nivel nacional.....	9
2.1.3. A nivel regional.....	10
2.2. COLORANTES.....	11
2.2.1. Color.....	11
2.3. HISTORIA DE LA ALFALFA.....	12
2.4. ALFALFA.....	12

2.4.1.	Morfología de la alfalfa	12
2.4.2.	Taxonomía.....	12
2.4.3.	Producción de alfalfa.....	13
2.4.4.	Usos de la alfalfa	14
2.4.5.	Los carotenoides de la alfalfa	14
2.4.6.	Composición Química	15
2.5.	LA LUTEÍNA	16
2.5.1.	Composición química de la luteína	16
2.5.2.	Propiedades físicas	17
2.6.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA LUTEÍNA.....	18
2.6.1.	Usos de la luteína	18
2.7.	SECADO POR SPRAY DRYER.....	21
2.7.1.	Etapas en el secado por atomización.....	21
2.7.2.	Factores del secado por atomización.....	22
2.7.3.	Propiedades del producto seco	22
2.7.4.	Ventajas.....	23
2.7.5.	Desventajas.....	23
2.8.	MICROENCAPSULACIÓN	23
2.9.	DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	25
2.9.1.	Método de diseño de compuesto central	25
2.10.	SOFTWARE STATGRAPHICS.....	26
III.	MATERIAL Y MÉTODOS	27
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	27
3.2.	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	27
3.2.1.	Nivel de investigación	27
3.2.2.	Tipo de investigación	27
3.2.3.	Tipo de análisis estadístico.....	27
3.3.	MATERIALES	28

3.3.1.	Materiales.....	28
3.3.2.	Equipos	28
3.3.3.	Soluciones	28
3.3.4.	Métodos	28
3.3.5.	Proceso de extracción de la luteína de la alfalfa	30
3.3.6.	Descripción de procesos	31
3.3.7.	Determinación de la solubilidad	35
3.3.8.	Determinación de la Higroscopicidad	36
3.4.	DISEÑO EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA EN LA HIGROSCOPICIDAD Y SOLUBILIDAD DE LA LUTEÍNA DE ALFALFA (<i>Medicago sativa L.</i>) MICROENCAPSULADA POR SECADO SPRAY DRYER	37
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	39
4.1.	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y ESTADÍSTICO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA EN LA HIGROSCOPICIDAD Y SOLUBILIDAD DE LA LUTEÍNA DE ALFALFA (<i>MEDICAGO SATIVA L.</i>) MICROENCAPSULADA POR SECADO SPRAY DRYER 39	
4.1.1.	Solubilidad.....	39
4.1.2.	Higroscopicidad	41
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES	48
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
	ANEXOS	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del DCC del AP-HPC-C.....	7
Tabla 2. Longitudes de onda a diferentes rangos	11
Tabla 3. Taxonomía de la alfalfa.....	13
Tabla 4. Presencia de carotenoides en diferentes alimentos.....	15
Tabla 5. Composición fisicoquímica 100 gramos de alfalfa fresca.....	16
Tabla 6. Sustancias para recubrimiento en la encapsulación.....	24
Tabla 7. Resultados del diseño compuesto central.....	29
Tabla 8. Diseño estadístico de los 11 resultados	38
Tabla 9. Resultados de higroscopicidad	41
Tabla 10. Análisis de Varianza para HIGROSCOPICIDAD (ANOVA)	42
Tabla 11. Coeficiente de regresión para la higroscopicidad.....	44
Tabla 12. Maximización de la higroscopia en la microencapsulación de la luteína.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Medicago sativa L.	13
Figura 2. Formula en cadena de la luteína	17
Figura 3. Equipo de laboratorio para la extracción Soxhlet.....	19
Figura 4. Estructura química de la maltodextrina	24
Figura 5. Diagrama de flujo de la extracción y microencapsulación de la luteína.....	30
Figura 6. Selección de la alfalfa.....	31
Figura 7. Reducción de tamaño de la alfalfa.....	32
Figura 8. Extracción Soxhlet de luteína de la alfalfa	33
Figura 9. Proceso de microencapsulación de luteína de alfalfa	34
Figura 10. Luteína microencapsulada	35
Figura 11. Solución de luteína en el centrifugador	36
Figura 12. Luteína microencapsulada en los frascos	37
Figura 13. Solución de la luteína microencapsulada.....	40
Figura 14. Solución de la luteína microencapsulada.....	41
Figura 15. Diagrama de Pareto para la higroscopia	43
Figura 16. Resultado de la interacción para la higroscopicidad.....	43
Figura 17. Gráfica de superficie de respuesta estimada para luteína	44
Figura 18. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta.....	45

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, consistió en evaluar los efectos de la temperatura y concentración de la maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína de alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulado por secado por spray dryer.

El uso de colorantes de origen natural ha ido en aumento al transcurrir los años, debido a las investigaciones recientes, adquiriendo una mayor importancia en la industria alimentaria, es así donde la alfalfa surgió como una fuente de extracción del colorante, que es la luteína.

Los carotenoides son unos pigmentos que se encuentran en los cloroplastos y en los cromoplastos; estructuras fotosintéticas características de los alimentos de origen vegetal (frutas y verduras). Según la parte del producto que estemos analizando (semilla, piel o pulpa) el contenido de carotenoides va a verse afectado debido a que cada parte del fruto requiere de un tratamiento específico para que el rendimiento en la obtención de los carotenoides sea óptimo, (Delgado et al, 2018, p. 42).

Es por ello que la presente tesis se realizó para dar una alternativa en el uso de colorante natural en la industria cárnica, láctea, bebidas gasificadas, etc. Lo cual genera un valor agregado a la alfalfa y genera ingresos económicos para los productores en el vale de Huatatas, distrito San Juan Bautista, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

Finalmente, el trabajo de investigación esta enmarcado dentro del enfoque del tipo aplicada y nivel explicativo, ya que se ha evaluado el efecto de la temperatura y concentración de la maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína, con diferentes tratamientos obtenidos del programa STATGRAPHICS.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, la alfalfa se considera uno de los forrajes más cultivados a nivel mundial, por ser la más nutritiva debido a su alto valor energético; en la alimentación de todas las especies especialmente del ganado vacuno, la producción de esta va en incremento cada año, en las condiciones menos favorables se produce 15 a 20 t/ha, la alfalfa produce alto contenido de proteína; las variaciones en su composición química es de acuerdo a la relación del tallo y hojas de la alfalfa, el contenido de carotenoides en los tallos es 8 veces menor con respecto a las hojas, (González, 2002, p. 22).

Los carotenoides son pigmentos liposolubles presentes en frutas y verduras responsables de dar los colores rojo, amarillo, anaranjado y púrpura; debido a ello fueron extraídos para ser utilizados en la industria alimentaria, cosméticos, farmacéuticos y otros, los principales carotenos son α , β , γ -caroteno y licopeno, mientras que las principales xantofilas son la luteína, zeaxantina, astaxantina; la luteína se encuentra en frutas y hortalizas de hojas verdes, maíz, yema de huevo, sin embargo, debido a su estructura de los carotenoides se vuelven susceptibles a cambios, principalmente la oxidación, donde factores como la temperatura, luz, oxígeno, acidez, contenido de agua, acidez, etc. Pueden influir en dichos cambios, (Álvarez, 2016, p. 22).

Uno de los carotenos más importantes es la luteína debido al uso como antioxidante recomendado para enfermedades cardiovasculares, disminución de la degeneración macular (retina visual); estas características han generado gran interés, incrementando los estudios y el producto en el mercado, (Álvarez, 2016, p. 23).

Es así, que la microencapsulación se presenta como una alternativa para la conservación de la luteína, debido a su tecnología de empaque de materiales sólidos, líquidos o gaseosos para su conservación contra el medio ambiente circundante, humedad, pH, y oxidación, utilizando un agente encapsulante para realizar dicho proceso, (Esquivel, 2015, p. 181).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema principal

- ✓ ¿Qué efectos tendrá la temperatura y concentración de maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulada por secado spray dryer?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuáles son los parámetros óptimos de la temperatura y concentración de maltodextrina en la luteína microencapsulada por spray dryer en la higroscopicidad?
- ✓ ¿Cuáles son los parámetros óptimos de la temperatura y concentración de maltodextrina en la luteína microencapsulada por spray dryer en la solubilidad?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar los efectos de la temperatura y concentración de la maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína de alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulado por secado por spray dryer.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el efecto de la temperatura y concentración de la maltodextrina óptimo de la microencapsulación de luteína mediante secado por spray dryer respecto a la higroscopicidad de la luteína microencapsulada.
- ✓ Evaluar el efecto de la temperatura y concentración de la maltodextrina óptimo de la microencapsulación de luteína mediante secado por spray dryer respecto a la solubilidad de la luteína microencapsulada.

1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. Espacial

La alfalfa se obtuvo del valle de Huatatas, distrito de San Juan Bautista, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

La investigación se ha llevado a cabo en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la escuela profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias y el Centro de Desarrollo, Análisis y Control de Calidad de Medicamentos y Fitomedicamentos de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

1.4.2. Temporal

Se ha desarrollado la investigación en el lapso de diciembre del 2023 a marzo del 2024.

1.4.3. Tecnológico

La presente investigación se realizó utilizando una tecnología moderna, que fue el secado por atomización.

1.4.4. Social

Mejorar la calidad de vida de los productores, para que puedan satisfacer sus necesidades básicas como la alimentación, vestido, educación, etc.

1.5. VARIABLE E INDICADORES

Para el presente diseño del experimento, se precisaron las siguientes variables de estudio.

1.5.1. Variable independiente

- ✓ Temperaturas del proceso experimental de secado por spray dryer para 150 °C y 180 °C.
- ✓ Concentración del agente encapsulante de la maltodextrina al 5 % y 10 %

Dimensión

- ✓ Parámetros de secado y concentración del agente encapsulante maltodextrina.

Indicadores

- ✓ °C de la cámara de secado de la luteína microencapsulada.
- ✓ % de maltodextrina.

1.5.2. Variable dependiente

- ✓ Propiedades fisicoquímicas (solubilidad e higroscopicidad de la luteína microencapsulada).

Dimensión

- ✓ Porcentaje de solubilidad e higroscopicidad

Indicadores

- ✓ % de contenido de humedad en las microcápsulas de luteína.
- ✓ Partículas en suspensión.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

Hs

- ✓ Los efectos de la temperatura y concentración de la maltodextrina influyen positivamente en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína microencapsulada.

Ho

- ✓ Los efectos de la temperatura y concentración de la maltodextrina no influyen positivamente en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína microencapsulada.

1.6.2. Hipótesis específicas

Hs1

- ✓ Los parámetros óptimos de temperatura y concentración influyen positivamente en la higroscopicidad de la luteína microencapsulada.

Ho1

- ✓ Los parámetros óptimos de temperatura y concentración no influyen positivamente en la higroscopicidad de la luteína microencapsulada.

Hs2

- ✓ Parámetros óptimos de temperatura y concentración influyen favorablemente en la solubilidad de la luteína microencapsulada.

Ho2

- ✓ Parámetros óptimos de temperatura y concentración no influyen favorablemente en la solubilidad de la luteína microencapsulada.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La composición cualitativa y cuantitativa de los carotenoides presente en la alfalfa, se realizaron investigaciones a principios del año 2000.

2.1.1. A nivel internacional

Mechmechani et al. (2022) de acuerdo a la “Tecnología de obstáculos que utiliza enzimas encapsuladas y aceites esenciales para combatir las biopelículas bacterianas”.

Afirma que la microencapsulación de enzimas y aceites esenciales, es una nueva tecnología que promete mejorar su estabilidad y actividad biológica, además destaca los problemas relacionados con el biofilm en diversos campos y el uso de enzimas encapsuladas con aceites esenciales como agentes antibiofilm (p. 2311).

García (2017) menciona que el “Desarrollo de microencapsulados enriquecidos en carotenoides a partir de residuos de frutas tropicales para uso como colorantes naturales en alimentos”. El objetivo principal fue hacer un modelo de colorante natural para la industria de alimentos donde, obtuvo microcápsulas de forma regular y esféricas, mientras que la materia prima utilizada sin microcápsulas fue de forma irregular y fibrosas, reteniendo sustancias volátiles y preservando los carotenoides a una temperatura de 130°C y 180°C, estas temperaturas se escogió tratando de preservar y mantener la concentración de los carotenoides, ya que a menor temperatura se evita la descomposición de los carotenoides, pero a mayor temperatura se obtiene mayor cantidad de microencapsulado (pp. 9-10).

Saavedra (2017) en la tesis para optar el título de ingeniero en alimentos, titulado “Microencapsulación de aceite de pescado mediante secado por atomización convencional y libre de agua: Optimización y caracterización”. Tuvo como objetivo conservar el aceite de pescado, encapsulando como agente encapsulante hidroxipropilcelulosa optimizando y caracterizando los métodos de atomización convencional y libre de agua; teniendo como resultado que el triglicerido-HPC en el sistema APHPC-AC mejora la eficiencia de encapsulación. Teniendo como resultado, como se muestra en la siguiente figura, (p. 27).

Tabla 1

Resultados del DCC del AP-HPC-C

EXPERIMENTO	TEMPERATURA ("C)	RELACION AP/HPV	EE (%) X ± DE	RENDIMIENTO (%) X ± DE
1	154	1:1	14,9 ± 1,7	32,2 ± 2,3
2	196	1:1	24,1 ± 1,1	20,4 ± 1,1
3	154	1:4	54,5 ± 7,8	17,1 ± 1,7
4	196	1:4	52,2 ± 3,3	32,9 ± 0,7
5	150	1:2,5	29,7 ± 2,3	23,5 ± 2,1
6	200	1:2,5	44,7 ± 1,5	25,0 ± 0,4
7	175	1:0,7	8,3 ± 5,5	35,2 ± 1,8
8	175	1:4,3	55,1 ± 1,5	21,4 ± 3,2
9	175	1:2,5	36,8 ± 0,7	26,3 ± 4,1
10	175	1:2,5	36,8 ± 3,2	26,3 ± 2,2
11	175	1:2,5	36,8 ± 3,9	26,3 ± 1,2
12	175	1:2,5	36,8 ± 0,8	26,3 ± 0,9

AP: aceite de pescado; HPC: hidroxipropilcelulosa; X: promedio; DE: desviación estándar (n=3)

Nota. Fuente: Saavedra, (2017).

Álvarez, Henao (2016) menciona en la “Formulación de nanopartículas y micropartículas de luteína extraída por fluidos supercríticos a partir de excedentes de cosecha de lechuga (*Lactuca sativa L.*) y repollo (*Brassica oleracea*)”. Tuvo como objetivo formular microcápsulas de luteína. Para realizar el secado de la lechuga y repollo primero realiza el diseño a utilizar sobre las mezclas de ambos alimentos, caracterizando dichas formulaciones. Obteniendo como resultado un producto muy nutritivo dándole un valor agregado, manteniendo sus compuestos naturales. Formulación de nanopartículas y micropartículas de luteína extraída por fluidos supercríticos a partir de excedentes de cosecha de lechuga (*Lactuca sativa L.*) y repollo (*Brassica oleracea*). La luteína está presente en dichos alimentos, esta sustancia es rica en antioxidantes, (p. 9).

Según Figueroa et al. (2016) la “Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico”. Fue extraído el aceite partir de semillas utilizando fluidos supercríticos, para ser microencapsulado posteriormente por atomización y ser analizado a diferentes parámetros. Se utilizó la maltodextrina, goma arábiga y masterdry como agentes encapsulantes. Los ácidos grasos fueron comparados antes y después de la microencapsulación, también se evaluaron la morfología y el tamaño de las partículas. Durante el secado por atomización la temperatura de ingreso fue estadísticamente significativa utilizando la goma arábiga y la masterdry. De acuerdo a los resultados obtenidos el mejor agente encapsulante fue la goma arábiga, obteniendo partículas de 8,2 y 14 µm, con superficie continua en las paredes y ausencia de poros. Se logró comparar los tres agentes encapsulantes permitiendo la protección del aceite conservando sus componentes principales. Se obtuvo un rendimiento de 84,2% y 91,8% de eficiencia, (pp. 40-51).

Parra (2011) menciona en la Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, “Microencapsulación de Alimentos”. Indica que hay varias sustancias capaces de encapsular con materiales orgánicos como son: el polivinil alcohol, alginatos, lípidos, carbohidratos, gomas y proteína, dicha encapsulación se realiza mediante procesos físicos; también se puede encapsular mediante procesos químicos, es este proceso se encuentran, coacervación, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento en liposomas, inclusión molecular y en los procesos mecánicos están las técnicas de co-cristalización, secado congelamiento/enfriamiento, extrusión y finalmente se encuentra la técnica de secado por aspersión, siendo esta la más importante y utilizada en la industria alimentaria, (p.1).

Centeno (2011) menciona en la “Composición cuantitativa de los carotenoides de la alfalfa fresca. Variación en función del ciclo de crecimiento y estado de desarrollo de la planta”. Que, una vez realizado una evaluación detallada de las variaciones en la composición de los carotenoides de manera cuantitativa en la alfalfa fresca, desde su crecimiento y estado de desarrollo, obtuvo mediante un diseño estadístico que los carotenos son significativamente diferentes solo durante el primer ciclo. Las xantofilas indican un nivel de significancia durante el cuarto ciclo, (p. 295).

Escalona (2004) menciona en la “Encapsulados de luteína-enocianina y su aplicación en alimentos”. Que, fueron encapsulados los pigmentos de enocianina-luteína a una temperatura de 40, 60 y 80°C en oscuridad y presencia de oxígeno, obteniendo que, hubo degradación a la temperatura de 80 °C, pero no hubo ninguna variación de 40 y 60°C, mostrando estabilidad

durante los 30 días de estudio el color verde natural encapsulado con proteína de soja, (p. 10).

2.1.2. A nivel nacional

Según Huayllahuamán (2019) menciona que la “Microencapsulación de aceite esencial de menta negra (*Mentha piperita* L.) por atomización”. Una vez extraído el aceite esencial realizó la microencapsulación por atomización usando como agente encapsulante la goma arábiga, extraído mediante arrastre de vapor para evaluar los parámetros fisicoquímicos de las microcápsulas, (pp. 2-15).

Según Cárdenas et al. (2015) “Evaluación de tipo de encapsulante y temperatura de aire de secado por atomización en el contenido de ácido ascórbico, carotenoides totales y capacidad antioxidante de tumbo (*Passiflora mollissima* L.)”. Evaluó el CMC y la goma arábiga como agente encapsulante, mediante el secado por Spray Dryer, a diferentes concentraciones, obteniendo como resultado un mejor encapsulante que conserva mejor el contenido de carotenoides y vitamina C es la carboximetilcelulosa, (pp. 2-9).

Ochoa (2019) “Evaluación de los parámetros de secado por atomización en el contenido de vitamina C de microencapsulado de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)”. Menciona que el objetivo principal fue evaluar el efecto de las variables del proceso de secado por atomización sobre el contenido de vitamina C de la pulpa microencapsulado de copoazú; obteniendo valores dentro del rango de productos secos. Se desarrolló los ensayos experimentales de la pulpa de Copoazú siguiendo el delineamiento compuesto central rotacional 2k completo, con 4 puntos factoriales, 4 puntos axiales y 2 puntos centrales, totalizando 10 ensayos. Esta planificación tuvo como objetivo evaluar la influencia de las variables: temperatura de aire de entrada al secador, concentración de maltodextrina D 10, sobre las respuestas: humedad de la microcápsula, rendimiento del proceso, contenido de vitamina C, (pp. 3-7).

Riveros (2015) “Estabilidad de la vitamina C del zumo atomizado de Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), utilizando distintos encapsulantes”. Menciona que en dicho proyecto el objetivo principal fue analizar los encapsulantes en la estabilidad del jugo de aguaymanto; teniendo como resultado que con la Goma Arábiga al 50% presentó mejor conservación de ácido ascórbico durante el periodo de almacenamiento, mientras que con el Alginato de sodio y Goma de linaza no se obtuvieron resultados debido a que se pegaron en las paredes de la cámara de secado debido a la viscosidad, (p. 1-14).

Saavedra, et al. (2017). “Microencapsulación y su efecto en la retención de la capacidad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) secada por atomización-Lambayeque”. Refiere que la mashua es un tubérculo andino peruano y posee alto contenido de nutrientes beneficiosos para el cuerpo humano como es los antioxidantes, no obstante, en el proceso productivo hace que se pierdan dichos componentes, debido a la sensibilidad a la luz y al oxígeno; por ello, se determinó la capacidad de retención por el microencapsulamiento mediante el secado por atomización, (pp. 1-8).

2.1.3. A nivel regional

Cerda (2023) “Efecto de la proporción de grenetina, harina de sangre de pollo y pulpa de camu camu (*Myrciaria gubia HBK Mc Vaugh*) en el contenido de hierro y características sensoriales en gomitas comestibles”. Menciona que se realizó la optimización de una mezcla alimenticia fortificada para después procesar dichos resultados mediante el diseño estadístico de Box-Behnken. Para poder realizar dicha investigación primero se realizó la obtención del hierro orgánico microencapsulado, para posteriormente realizar la optimización de dicho producto, utilizando como muestras al camote de 50% a 70%, maracuyá al 10% a 20% y hierro orgánico a una concentración de 0.5% a 2%, mediante el diseño donde se obtuvo 15 tratamientos, (p. 51).

Villacresis (2023) “Optimización de una mezcla alimenticia fortificada con hierro orgánico microencapsulado, utilizando el método Box-Behnken”. Menciona que una vez realizada la formulación de una mezcla alimenticia el valor óptimo fue de 4,29 en la escala hedónica, esta mezcla fue analizada mediante un análisis fisicoquímico, en su composición nutricional obteniendo un alto contenido de proteína que fue de 5,70% y carbohidratos de 7,20%, posterior a esto, también se realizó el estudio de vida útil contabilizando la formación de mohos y levaduras a diferentes condiciones obteniendo <10UFC/g de ambos microorganismos, estos valores se encuentran dentro de las normativas vigentes en nuestro país, por lo que afirma que el producto es apto para consumo humano sin daños a la salud.

Ochoa (2023) “Microencapsulación de ácido carmínico mediante secado por atomización”. Tuvo como objetivo analizar los parámetros de secado mediante el secado por atomización teniendo como variables la temperatura de la cámara de secado de 150 °C a 200 °C y a una concentración de 5% a 10% de maltodextrina como agente encapsulante, y como variables respuestas principalmente se tuvo la solubilidad, absorbancia y el rendimiento. Dicho análisis se realizó mediante el diseño estadístico diseño central compuesto en la cual obtuvo 13tratamientos. Una vez realizada la microencapsulación mediante el secado por

atomización obtuvo un rendimiento de 25,62%, una absorbancia óptima de 0.30 y una solubilidad al 100% ya que no mostro partículas en suspensión en la solución.

2.2. COLORANTES

Son sustancias, los colorantes que pueden darle color a las células, estos se pueden clasificar en naturales, aquellos que se encuentran en la naturaleza y son extraídos de plantas o animales, y artificiales, los que se extraen de minerales y son procesados en el laboratorio, (Corrales y Caycedo, 2019, p. 75).

2.2.1. Color

A lo largo del tiempo, diferentes científicos, sobre el color han definido sus propias intenciones y lo han ligado a su campo de desempeño. Pero a la vez de acuerdo a su composición química y naturaleza de los mismos, estos absorben la luz solar emitiendo diferentes colores perceptibles al ojo humano, que son visibles en un rango de 400nm a 700nm para el ojo humano, (Corrales y Caycedo, 2019, p. 76).

Tabla 2

Longitudes de onda a diferentes rangos.

Longitud de onda absorbida (nm)	Longitud de onda emitido (nm)	Color percibido	Apreciación del color
~470 – 500	~700-620	Rojo	
~430 – 470	~620-592	Naranja	
~400 – 430	~592-578	Amarillo	
~610 – 700	~578-500	Verde	
~590 – 610	~500-450	Azul	
~570 – 590	~450-400	Violeta	

Nota. Fuente: Corrales y Caycedo, (2019).

2.3. HISTORIA DE LA ALFALFA

La alfalfa en la civilización tuvo un papel importante, por su uso en la alimentación en el caballo en el medio Oriente hasta aproximadamente 1200 AC. Se originó en Irán y Turquía regiones donde el clima es muy frío y los veranos son secos y cálidos. Posteriormente fue introducido en Grecia y la antigua Mesopotamia aproximadamente 500 años AC. Llegó a Italia en el siglo II AC para ser propagado por el imperio Romano, específicamente en España. Al caer el Imperio Romano desapareció al sur de Europa. Fue reintroducido con la invasión árabe para ser propagado en toda Europa.

Una vez descubierto el continente americano, fue introducido por portugueses en México y por españoles en Perú en el siglo XVI y posteriormente introducido en Estados Unidos, donde se expandió en diferentes lugares del mundo. Por su potencial elevado de forraje y su adaptación a diferentes condiciones ambientales, la alfalfa es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, con más de 32 millones de ha en todo el mundo, (Rodríguez, et al, 2022, pp. 17-19).

2.4. ALFALFA

Es una leguminosa la alfalfa forrajera de porte erecto, raíz pivotante y flores azules violetas. La alfalfa presenta generalmente unas semillas en forma arriñonada de color amarillento, la raíz de la alfalfa es robusta y profunda si no hay impedimentos la raíz puede alcanzar de 2 a 5 metros de profundidad que permite la absorción de agua de las partes profundas del suelo.

2.4.1. Morfología de la alfalfa

Es una ciencia la botánica morfológica que estudia la forma de todas las plantas, la alfalfa se divide en diferentes partes en las cuales se encuentran la semilla, raíz, corona, tallo, hoja, flor y fruto, (Rodríguez et al, 2022, p. 19).

2.4.2. Taxonomía

En el Perú podemos encontrar varias variedades y especies de alfalfa debido a sus variados climas en diferentes regiones, en lo cual se encuentran 12 registros de colecciones de especies realizados entre los años 1964 y 2003. Las especies más reconocidas se encuentran la *Medicago sativa* L., que puede crecer hasta los 4500 m.s.n.m. que se encuentra casi en todo el país, (Ministerio del ambiente, 2019, p. 4).

Tabla 3

Taxonomía de la alfalfa

Taxonomía <i>Medicago sativa</i>	
Reino	Plantae (plantas)
Sub reino	Viridiplantae (plantas verdes)
Infrareino	Streptophyta (plantas de tierra)
Superdivisión	Embryophyta
División	Tracheophyta (Plantas vasculares)
Subdivisión	Spermatophyta (plantas con semillas, fanerógamas)
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Rosanae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Medicago</i>
Especie	<i>Medicago sativa</i> L. alfalfa
Subespecie	<i>Medicago sativa</i> ssp. <i>sativa</i> L

Nota. Fuente: Ministerio del ambiente, (2019)

Figura 1

Medicago sativa L.



Nota. Fuente: Línea de base de la alfalfa con fines de bioseguridad en el Perú (2019)

2.4.3. Producción de alfalfa

La alfalfa tiene un alto contenido de proteínas, carbohidratos, minerales y vitaminas, deseables para los animales ya que este no es dañino, tiene larga vida y un elevado rendimiento; es importante considerar que la producción no depende la variedad ni de la siembra, si se desea obtener buenos resultados es necesario conocer y poner en práctica el

manejo que permite expresar su potencial máximo de la variedad que se desea sembrar. Se ha demostrado a lo largo de los años que el primer corte en la alfalfa permite obtener una alta densidad y larga vida, este primer corte se debe realizar cuando la planta alcanza un 30% a 50% de floración en toda la parcela, para un buen desarrollo de la raíz de la alfalfa favoreciendo el mayor número de crecimiento de las yemas, (Tarazona y Cabrera, 2022, p. 31).

2.4.4. Usos de la alfalfa

Comúnmente se utiliza como alimento para animales, conocidas como heno, ya que contiene un alto contenido de proteína y muy rica en minerales, es una fuente importante por la vitamina A y contiene 10 vitaminas que son diferentes; hoy en día es un alimento muy utilizado para un alto rendimiento en la producción de leche en el país. El corte es muy común para el uso diario en los ganados, pero en lugares con falta de mano de obra la mejor opción es el pastoreo de vacunos y equinos y animales menores, es un sistema muy económico para reducir gastos en la producción, (Tarazona y Cabrera, 2022, p. 32).

2.4.5. Los carotenoides de la alfalfa

Son sustancias liposolubles los pigmentos que tiene, los carotenoides se encuentran en la naturaleza de hojas verdes como las plantas, algas y bacterias; en su composición tiene 40 átomos de carbono, pueden tener una estructura acíclica o cíclica, debido a que tiene un alto número de carbonos en su estructura. Los carotenoides pueden clasificarse en dos grupos; los carotenoides que en su composición tienen solo carbono y hidrógeno denominados carotenos y aquellos que contienen oxígeno que se llaman xantofilas, (Arrellano, 2011, p. 16).

En la naturaleza se encuentran los carotenoides en forma “trans-trans” que es muy estable, sin embargo, es muy sensible a diferentes cambios en su composición; por ello fueron considerados imperfectos. En 1954 utilizando la técnica de la cromatografía se observó que en los carotenoides se encuentran 6 pigmentos en lo cual 1 es un caroteno y los cinco restantes son las xantofilas, dentro de este último grupo se encuentra la luteína, siendo la más importante, (Centeno, 2011, p. 297).

Tabla 4

Presencia de carotenoides en diferentes alimentos.

Carotenoides mayoritarios	Fuente
α - y β -caroteno	Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)
Licopeno	Tomates (<i>Lycopersicum spp</i>)
Luteína/Zeaxantina	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>), maíz (<i>Zea mays</i>), cempasúchil (<i>Tagetes erecta</i>), huevo de gallina
Violaxantina, β -criptoxantina, luteína/zeaxantina	Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)
Astaxantina	Salmón (<i>Salmo spp</i>), crustáceos, microalgas y levaduras
Cantaxantina	Crustáceos
Crocentina	Azafrán (<i>Crocus sativus</i>)

Nota. Fuente: Centeno, 2011

2.4.6. Composición Química

La alfalfa nos brinda un alto contenido de proteína, minerales y vitaminas de alta calidad, al igual que su valor energético, el cual se puede emplear como alternativa en suplemento alimenticio en niños con problemas de desnutrición en comunidades rurales alejadas, en la siguiente tabla 5 se muestra su composición fisicoquímica en 100 gramos de concentrado de alfalfa, (Ministerio del ambiente, 2019, p. 5).

Tabla 5

Composición fisicoquímica 100 gramos de alfalfa en base húmeda

Composición	%
Humedad	79,0
Proteína	4,3
Grasa cruda	0,6
Fibra cruda	4,9
Cenizas	2,1
ELN	9,1

Nota. Fuente: Evaluación de la composición química en productos enriquecidos con concentrado foliar de alfalfa (2009)

2.5. LA LUTEÍNA

La luteína de la alfalfa, es un antioxidante que se encuentra en la naturaleza que inactiva a los radicales libres que producen la oxidación de lípidos de esta manera protege la oxidación. La luteína presenta un punto de fusión de 193 °C, es soluble en solventes orgánicos como el cloroformo, benceno, acetona, éter etílico, sulfuro de carbono, etanol y metanol e insoluble en éter de petróleo, (Centeno, 2011, p. 297).

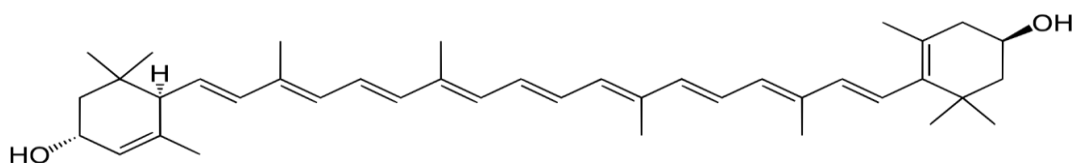
La luteína además de ser un antioxidante, brinda beneficios en la salud humana, principalmente en la vista, debido a su composición y por el color amarillo que se encuentra en la vista en la parte central de la retina. Es un pigmento de color amarillo que puede ser extraído por diferentes métodos como la destilación por vapor y la extracción por solventes, (Arellano, 2011, p. 19).

2.5.1. Composición química de la luteína

Este compuesto químico pertenece al grupo de xantofilas presente en los carotenoides, con una fórmula química $C_{40}H_{56}O_2$, dicha fórmula se muestra en la figura 3. Este componente presente en los carotenoides da el color verde a las hojas de los vegetales, frutas que presentan un color naranja y el color amarillo de las yemas en los huevos. La luteína generalmente está ligada a los ácidos grasos, (Arellano, 2011, p. 16).

Figura 2

Formula en cadena de la luteína



Nota. Fuente: Arellano, (2011).

En un carotenoide liposoluble la luteína presente en la mayoría de los vegetales, es las hojas principalmente, este compuesto es un antioxidante natural que protege y ayuda en la retina de los ojos mejorando la visión, esta propiedad antioxidante es relacionada principalmente debido a su estructura ya que inactiva los radicales libres mediante sus enlaces. Sin embargo, una vez extraídos la luteína se vuelve muy inestable en condiciones ambientales, (Arellano, 2011, p. 18).

2.5.2. Propiedades físicas

Los beneficios de la luteína dependen de sus propiedades físicas debido a su estructura geométrica como el tipo, tamaño y el color que brinda debido a sus grupos funcionales presentes en su composición, este es un pigmento de color amarillento, que se incluye en la dieta alimentaria brindando aportes a la salud, (Carranco; et al, 2011, p. 235).

2.5.2.1. Higroscopicidad

Es una propiedad física la cual tiene la capacidad de absorber humedad en un ambiente saturado de la humedad relativa, ya que un polvo de alta calidad debe tener una baja higroscopicidad, (Bhusari et al., 2014, p. 4).

Es una característica que presentan los materiales granulados que tienen una porosidad, que gracias a ello puede absorber o ceder humedad del ambiente. El producto que tiene higroscopicidad llega a un equilibrio con el ambiente cuando no gana ni cede humedad debido a las condiciones que se presentan. Este comportamiento solo se presenta en algunos materiales con una elevada porosidad. La higroscopicidad es una propiedad que poseen los materiales granulares que depende de la porosidad; debido a esta capacidad higroscópica el material puede ser almacenado teniendo en consideración la interacción de las variables físicas, químicas y biológicas. El equilibrio del material alcanza cuando el aire y el producto alcanzan igualar sus presiones de vapor, para que no haya intercambio de la humedad entre ambos medios, (Díaz, 2005, p. 2).

2.5.2.2. Solubilidad

La solubilidad es una propiedad física el cual mide la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en un líquido debido a su estructura molecular, indicando que la sustancia mientras más soluble será más fácil la dilución, (López, 2018).

La luteína es un carotenoide insoluble en agua y soluble en solventes orgánicos; por ello, la solubilidad es una de las pruebas más importantes que se realizan en sustancias sólidas, ya que la luteína es añadida mayormente para dar color a los alimentos con alto contenido de agua, y esta prueba de la solubilidad, si las microcápsulas son de forma amorfa serán muy solubles y por ende se disuelven en su totalidad. Mientras que si las partículas son de forma cristalina serán menos solubles, (Jarrín, 2021, p. 20).

La luteína en muchas ocasiones, su solubilidad disminuye de manera directa con la temperatura, sin embargo, existe un estado de equilibrio en la fase sólida y en la fase líquida sin haber contacto de materia entre ellas, a este estado lo denominan saturación o solubilidad máxima, (Vargas, 2015, p. 40).

2.6. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA LUTEÍNA

En la extracción de sustancias bioactivos uno de los métodos es la destilación de vapor y la extracción con solventes orgánicos. Generalmente los carotenoides son extraídos con solventes como: acetona, éter, benceno, hexano, etanol, etc. Ya que son sustancias liposolubles; pero, estos solventes al extraer dichas sustancias dañan su composición degradándolas. Por ello; se debe controlar los parámetros de extracción con sumo cuidado conservando las características bioquímicas del producto extraído, con tiempo, temperatura, rendimiento, selectividad, protección de las moléculas extraídas sin que sufran transformaciones. Diferentes estudios demostraron que la luteína es sensible a la luz, oxígeno y la alta temperatura en tiempos prolongados. Debido a ello, uno de los métodos de conservación es la microencapsulación, la cual protege a la sustancia mediante una pared fina, impidiendo que tenga contacto con la luz y el oxígeno, (Arellano, 2011, p. 6).

2.6.1. Usos de la luteína

Actualmente se usa como un alimento nutraceutico en la industria avícola ya que se deposita en su piel y en sus tejidos grasos y le proporciona un color amarillo característico de pollos de engorde y estos hacen que sea atractivo para el consumidor, (Eduardo, 2015, p. 1).

2.6.2. Extracción de la luteína por el método Soxhlet

La extracción Soxhlet se fundamenta en las siguientes etapas: 1) poner el solvente en un balón. 2) hervir el solvente hasta que se condense a reflujo. 3) el líquido condensado cae sobre el cartucho poroso para el sifoneo. 4) el solvente debe cubrir al cartucho para poder hacer reflujo, volviendo al balón junto con el compuesto que se desea extraer y seguir el mismo procedimiento. 5) repetir este proceso las veces necesarias hasta agotar toda la sustancia presente en la muestra, la sustancia extraída estará presente junto al solvente en el balón, (Eduardo, 2015, p. 2).

Figura 3

Equipo de laboratorio para la extracción Soxhlet.



Acondicionamiento de la muestra. Este proceso inicia acondicionando la muestra, para ello se debe reducir su tamaño para una mejor extracción, para sólidos de dureza alta es necesario utilizar cuchillas hasta que el 90% sea tamizado por una malla a 40 mm. Una vez lista la muestra es colocada al cartucho para su extracción. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

Cartucho. Es un recipiente en forma cilíndrica que es colocado en el equipo para su extracción el papel filtro con una porosidad adecuada es la más utilizada para este proceso; sin embargo, también se tiene otros materiales más resistentes para este proceso como la porcelana porosa. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

Cerrado del cartucho. Después de colocar la muestra en el cartucho, ya sea con la mano u otro material según sea el tipo de muestra a extraer; se debe cerrar bien el cartucho para evitar fuga de la muestra no deseada, para ello el más utilizado es el algodón con gasa. Ya que las paredes del cartucho son ásperas se debe empujar el tapón con algún material hasta el fondo por medio de una espátula. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

Colocación del solvente. Se debe añadir el solvente la cantidad requerida para su extracción, cubriendo el cartucho hasta su sifonada, sin quedar totalmente vacío el balón, ya que se puede secar la muestra y quemarse o al volver el solvente al balón caliente puede ocurrir algún tipo

de explosión ocasionando un accidente, si no se conoce la cantidad de solvente a colocar se debe añadir en el cartucho cubriendo totalmente y dejando un poco en el balón para no ocasionar algún accidente. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

Solventes para la extracción. Los solventes que se utilizan para la extracción dependen del compuesto a extraer ya que para, una extracción de lípidos los solventes que se requieren son los solventes orgánicos como el hexano y etanol, sin embargo, en la extracción de algas, mediante el uso del etanol se puede extraer el 98%, sin embargo, este compuesto también arrastra consigo otros elementos como azúcares, pigmentos o aminoácidos. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

Ebullición. Lo más frecuente es el uso de corrientes eléctricos para poder calentar el solvente hasta su ebullición y posterior evaporación. Para la extracción del material deseado. También se puede utilizar alguna fuente de calor como el mechero de bunsen para la ebullición llegando hasta la temperatura adecuada del solvente. Esta temperatura depende del tipo de solvente a utilizar ya que algunas de ellas tienen un bajo punto de ebullición. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

Enfriamiento. la refrigeración se da mediante el ingreso de agua fría en constante movimiento para poder enfriar el vapor calentado hasta su condensación. La conexión de las mangueras depende de la forma pueden ser en paralelo o en serie. Esto dependerá de la temperatura del vapor a enfriar. El flujo de agua debe ser regulable para utilizar únicamente lo requerido. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

Extracción. Al tener el equipo armado y listo para su funcionamiento. Primero se abre el flujo de agua para su refrigeración, cargando el cartucho con la muestra e introducir el solvente en el balón, se enciende el equipo para su calentamiento e inicie el proceso de extracción. una vez llegada a la temperatura adecuada el solvente iniciará a evaporarse para después condensarse sobre el cartucho, una vez cubierto el cartucho se realizará el sifoneo y rechupe, con todo el compuesto deseado a obtener. Una vez que este regulado el sifoneo será de manera regular ocurriendo en intervalos de 5 y 20 minutos aproximadamente, según las condiciones dadas del equipo. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

Finalización de la operación. Una vez finalizada la extracción, se debe esperar hasta que el sistema se enfríe para su fácil manipulación. Al enfriar el equipo se debe apagar el sistema de refrigeración, para después poder extraer el solvente con la muestra extraída requerida y eliminar el cartucho con el desecho. (Eduardo, 2008, pp. 3-4).

2.7. SECADO POR SPRAY DRYER

El secado por atomización es una operación unitaria ampliamente usada en la industria alimentaria, para obtener partículas sólidas con bajo contenido de humedad hacer un sólido con determinado contenido de agua. El producto obtenido puede ser en polvo o en cristales. Se debe conocer el equipo antes y después, características finales del producto y sobre todo en la eficiencia o las normas ambientales. Generalmente el rango de temperatura a trabajar es de 100°C a 210°C de acuerdo a la marca y características del equipo a utilizar en el proceso. Debemos especificar si el proceso es continuo o discontinuo para poder elegir el tipo de secador. Para ello se emplea: si la capacidad de producción es superior a cien kilogramos hora (100 kg/h). Se remueve la humedad mecánicamente, esta vía es más económica para la evaporación, (Ochoa, 2019, pp. 22-23)

2.7.1. Etapas en el secado por atomización

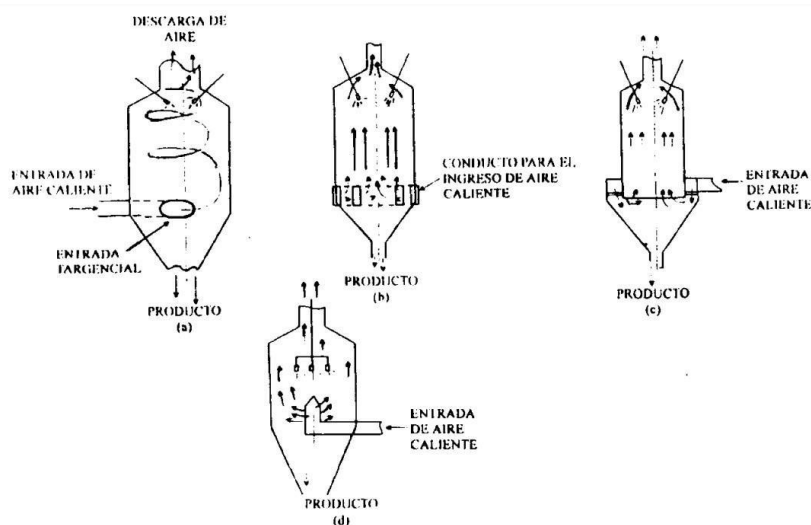
El secado por atomización tiene 4 etapas resaltantes:

- ✓ Atomización
- ✓ Contacto spray dryer
- ✓ Secado
- ✓ Separación

La atomización es la dispersión del fluido por medio de la energía entregada, convirtiéndola en partículas pequeñas dentro de un rango de tamaños que depende de las condiciones del tipo de atomizador que se tenga. El fluido atomizado que se conduce con el aire caliente (contacto spray – aire), que puede circular en co – corriente o en contracorriente, como se muestra en la siguiente figura, (Siccha; et al, 1995, p. 40).

Figura 4

Varios esquemas de flujos de entrada de aire caliente en co - corriente



Siguiendo la secuencia de secado por atomización, cada partícula pasa por dos etapas evidentes, la primera etapa es la de evaporación constante y la segunda etapa del decaimiento de la evaporación. El grado de secado alcanzado por cada partícula, están sujetas a: primero, del tiempo expuesto al medio caliente tanto de la temperatura final y la humedad de ese medio y segundo, por el tamaño de la partícula. (Siccha; et al, 1995, p. 41). El resultado de la atomización de cualquier producto depende de la manera en el cual se desarrollan los procedimientos.

2.7.2. Factores del secado por atomización

Los factores a considerar en el proceso de secado son los siguientes:

- ✓ Características y modelo del equipo.
- ✓ Condiciones del producto a atomizar y las propiedades a usar, para el flujo de alimentación.
- ✓ Distribución de gotas y diámetro medio.
- ✓ Patrón y flujo de aire.
- ✓ Carga calorífica del aire.
- ✓ Geometría de la cámara y forma de meseta del spray – aire.
- ✓ Distribución de temperatura dentro de la temperatura.
- ✓ Tiempos de retención y de residencia.
- ✓ Acumulación del producto a secar.
- ✓ Pérdidas de calor.
- ✓ Características finales del producto, (Siccha; et al, 1995, p. 41).

2.7.3. Propiedades del producto seco

Las propiedades a considerar para el producto seco atomizado son los siguientes.

- ✓ Densidad aparente.
- ✓ Tamaño, forma y distribución de las partículas.
- ✓ Contenido de humedad.
- ✓ Propiedades organolépticas como sabor, aroma y color.

Las propiedades mencionadas dependen de las condiciones de la materia prima inicial antes de secado por atomización, como son:

- ✓ Propiedades químicas del producto.
- ✓ Concentración
- ✓ Efecto de la variación de la temperatura del producto, (Siccha; et al, 1995, p. 44).

2.7.4. Ventajas

- ✓ Es una operación de un solo proceso, en el cual se eliminan varias operaciones unitarias relacionadas a la reducción del tamaño de partículas.
- ✓ Esta operación tiene capacidad para grandes cantidades de producto, (Siccha; et al, 1995, p. 46).

2.7.5. Desventajas

- ✓ La densidad de la muestra debe ser elevada para que no se obstruya el disco rotatorio, a pesar de querer obtener un producto libre de humedad gastando mayor energía en el secado.
- ✓ Estos secadores por atomización son de costos altos, principalmente cuando se requieren columnas lavadores y filtros mangas para recoger el polvo de salida del sistema ciclónico recolector, (Siccha; et al, 1995, p. 46).

2.8. MICROENCAPSULACIÓN

Es un proceso que rodea una sustancia mediante una pared acuosa protegiéndola de cambios externos. Las partículas tienen diferentes nombres según el tamaño final obtenido; si el diámetro del polvo obtenido es de 1-1000um, es una micropartícula. La microencapsulación es uno de los procesos más utilizados en la industria alimentaria debido a su uso y beneficios que brinda, debido a la estabilidad que proporciona en la sustancia encapsulada, como también en la eficiencia de la encapsulación, (Nava, 2015, p. 66).

2.8.1.1. Agentes utilizados en la microencapsulación

En la actualidad hay muchos materiales existentes de polímeros para recubrir la encapsulación, formando una fina capa en la superficie del material a conservar que puede ser orgánico y/o inorgánico que protege de daños externos como humedad, oxidación, luz, etc.

Los materiales que se utilizan más comúnmente son las gomas como; el agar, alginato, carragenina, goma arábica, carbohidratos como; almidón, dextranos, sacaros, jarabes de maíz, maltodextrina, celulosas como; ericelulosas, metilcelulosa, CMC, etc., lípidos como; ceras, parafinas, aceites, monoglicéridos, etc., proteínas como; gluten, caseína, albumina y materiales inorgánicos como; sulfato de calcio, (Csernoch et. al, 2018, p. 86).

En la presente investigación se va a optar por usar el Alginato de sodio porque es más soluble, lo que va a permitir que el componente que va a microencapsular sea más estable y que no altere sus propiedades fisicoquímicas, (Reyna et. al., 2015, p. 15)

Tabla 6*Sustancias para recubrimiento en la encapsulación*

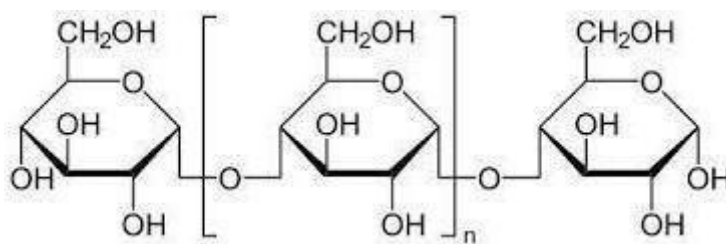
Tipos de cobertura	Cobertura específica
Gomas	Alginato de sodio, agar, carragenina, goma arábrica.
Carbohidratos	Almidón, dextranos, sacarosa, jarabes de maíz
Celulosas	Eticelulosa, metilcelulosa, acetilcelulosa, nitrocelulosa, carboximetil – celulosa
Lípidos	Ceras, parafinas, diglicéridos, monoglicéridos, aceites, grasas, ácido esteáricos, trisetearina.
Proteínas	Glúten, caseína, albúmina.
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos.

Nota. Tomado de Reyna et. al. (2015)

2.8.1.2. Maltodextrina (C₄₀H₅₆O₂)

Es un carbohidrato que es utilizado más comúnmente como agente encapsulante. Su uso es de un aglutinante, estabilizador, espesante e inhibidores en la producción de alimentos. Son fuente de energía principal. La maltodextrina se coloca en polvo para poder realizar la atomización. Es sensible a la humedad ya que son mezclas hidrosolubles, (Toledo, 2009, p. 6)

La maltodextrina es una mezcla de dextrosa, maltosa, oligo y polisacáridos obtenidos por hidrólisis enzimática parcial del almidón de maíz, tiene una humedad del 6 % como máximo, pH oscila entre 4 a 5.5, tiene dextrosa que oscila entre 18 a 22 % db. Su conservación, en envases bien cerrados, se debe proteger de la luz y de la humedad, (Toledo, 2009, p. 6)

Figura 5*Estructura química de la maltodextrina*

Nota. El gráfico representa la estructura química del ácido carmínico.

USOS

Es utilizado como inhibidores la maltodextrina. Agregado e caramelos y dulces mitad – suaves, que pueden prevenir la arena que aparece de los dulces y ampliar la vida útil. Rebajando y eliminando el olor del alimento, estabilizando los elementos de la alimentación como son el carácter, sabor y el aumento de la calidad, (Toledo, 2009, p. 7)

DOSIFICACIÓN

- ✓ Para dilución: 10 – 99 %.
- ✓ Aglutinación: 3 – 10 %
- ✓ Encapsulación: 2 – 10 %.
- ✓ Aumento en la viscosidad: 5 – 20 %.
- ✓ Como osmolaridad: 10 – 50 %, (Toledo, 2009, p. 8)

2.9. DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Es un conjunto de técnicas avanzadas de diseño de experimentos (DOE) que le ayuden a entender mejor y a optimizar las respuestas.

Apaza (2018), menciona que en el programa STATGRAPHICS hay muchos diseños que se utilizan en la optimización de respuestas, los cuales son los siguientes:

- ✓ Diseño de Box – Behnken
- ✓ Diseño de compuesto central
- ✓ Diseño factorial a 3 niveles

2.9.1. Método de diseño de compuesto central

Es una alternativa en cuanto al diseño 3^k siendo el más utilizado para ajustar superficies de respuesta de segundo orden.

- a. En este tratamiento se realiza diferentes combinaciones en el diseño factorial 2^k , con los niveles de los factores codificados -1 y +1.
- b. Las coordenadas de $2k$ pueden ser de la siguiente manera $((\acute{a}, 0, \dots, 0), (0, \acute{a}, 0, \dots, 0), (0, 0, \acute{a}, 0, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, \acute{a}))$, con $\acute{a} > 1$, y
- c. Mayor o igual un número n de repeticiones del punto central $(0, 0, \dots, 0)$.

El diseño es rotatable cuando la varianza se mantiene constante para todos los puntos ubicados en el centro del diseño, $\acute{a}$ debe ser igual a $F^{1/4}$, (Fermin y Corzo, 2004, p. 40).

2.10. SOFTWARE STATGRAPHICS

Este software es un programa estadístico el cual nos permite usarlo desde procedimientos descriptivos y visualizaciones gráficas hasta el análisis predictivo de datos, además de contar con muchas posibilidades que cubren una amplia gama de técnicas de análisis de datos como también. Se utiliza como una herramienta de análisis de datos de un trabajo donde cuenta datos estadísticos avanzadas, (Alarcón, 2015, p. 12).

Analizando dichos valores de manera más simple utilizando el software, este diseño fue utilizado por la facilidad y dominio del programa, con relación a otros programas estadísticos.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El desarrollo de la investigación fue en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias y el Centro de Desarrollo, Análisis y Control de Calidad de Medicamentos y Fitomedicamentos de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.2. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

El presente estudio tuvo los siguientes aspectos referido a este punto.

3.2.1. Nivel de investigación

Nivel explicativo, según su naturaleza, de acuerdo a su causalidad ya que se tiene términos independientes y dependientes. Además de que cada nivel de investigación tiene diversas modalidades para culminar con éxito la investigación. (Valderrama, 2017).

3.2.2. Tipo de investigación

Tipo aplicada, el presente estudio tiene un enfoque de tipo cuantitativo ya que predomina la cantidad y su manejo estadístico matemático, (Caballero, 2014)

3.2.3. Tipo de análisis estadístico

Para poder realizar la investigación se usó el análisis estadístico análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de confianza de 95%, utilizando el programa Statgraphics centurión versión 19.

3.3. MATERIALES

3.3.1. Materiales

- ✓ 11 fioles de 100 mL
- ✓ 10 papel filtro
- ✓ 1 mortero
- ✓ 11 vasos precipitados de 100 mL
- ✓ 1 espátula
- ✓ 1 probeta de 100 mL
- ✓ 11 bolsas de papel Kraft con cierre hermético
- ✓ 3 varillas de vidrio
- ✓ 5 lunas de reloj
- ✓ 5 placas petri

3.3.2. Equipos

- ✓ Equipo Soxhlet
- ✓ BUCHI Mini Spray Dryer B-290
- ✓ Estufa marca: MEMMERT
- ✓ Balanza analítica marca: OKAUS

3.3.3. Soluciones

- ✓ Alcohol etílico 96° GL
- ✓ Maltodextrina (5% al 10%)

3.3.4. Métodos

3.3.4.1. Diseño experimental de la microencapsulación de luteína

El presente diseño de investigación estadístico utilizado para la investigación fue el diseño central compuesto puesto que permite hacer experimentos secuenciales, permitiendo ampliar experimentos al agregar puntos axiales y centrales; para obtener dichos puntos se utilizó el programa de STATGRAPHICS, teniendo como variables independientes la temperatura de la cámara de secado entre 150 °C a 180 °C y la concentración del agente encapsulante, maltodextrina entre 5 % y 10 %, en condiciones controladas durante el proceso de la microencapsulación que serán sometidas al análisis de los resultados que han logrado.

Los detalles del diseño se presentan en la siguiente tabla 7, en el cual se obtuvo 11 tratamientos como se muestran a continuación. Se ingresó los datos de concentración y

temperatura al programa eligiendo el diseño compuesto central rotatable de 3 repeticiones, el cual arrojo los siguientes datos:

Tabla 7

Resultados del diseño compuesto central

Tratamientos	Valores codificados		Valores reales	
	X ₁	X ₂	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)
1	-1	-1	165,0	7,5
2	+1	-1	165,0	3,9645
3	-1	+1	180,0	10,0
4	+1	+1	150,0	10,0
5	- α	0	150,0	5,0
6	+ α	0	180,0	5,0
7	0	- α	165,0	7,5
8	0	+ α	165,0	7,5
9	0	0	143,787	7,5
10	0	0	165,0	11,0355
11	0	0	186,213	7,5

Una vez obtenida dichos resultados, se observó 5 variaciones de temperaturas y 5 variaciones de concentraciones de maltodextrina; obteniendo 8 combinaciones diferentes y 3 combinaciones iguales, siendo un total de 11 resultados.

3.3.4.2. Evaluación física del secado por spray dryer de la microencapsulación de la luteína de alfalfa.

La determinación física es importante en el secado por spray dryer microencapsulado de la luteína, estas variables nos mostraron la solubilidad y la higroscopicidad de acuerdo a los siguientes métodos.

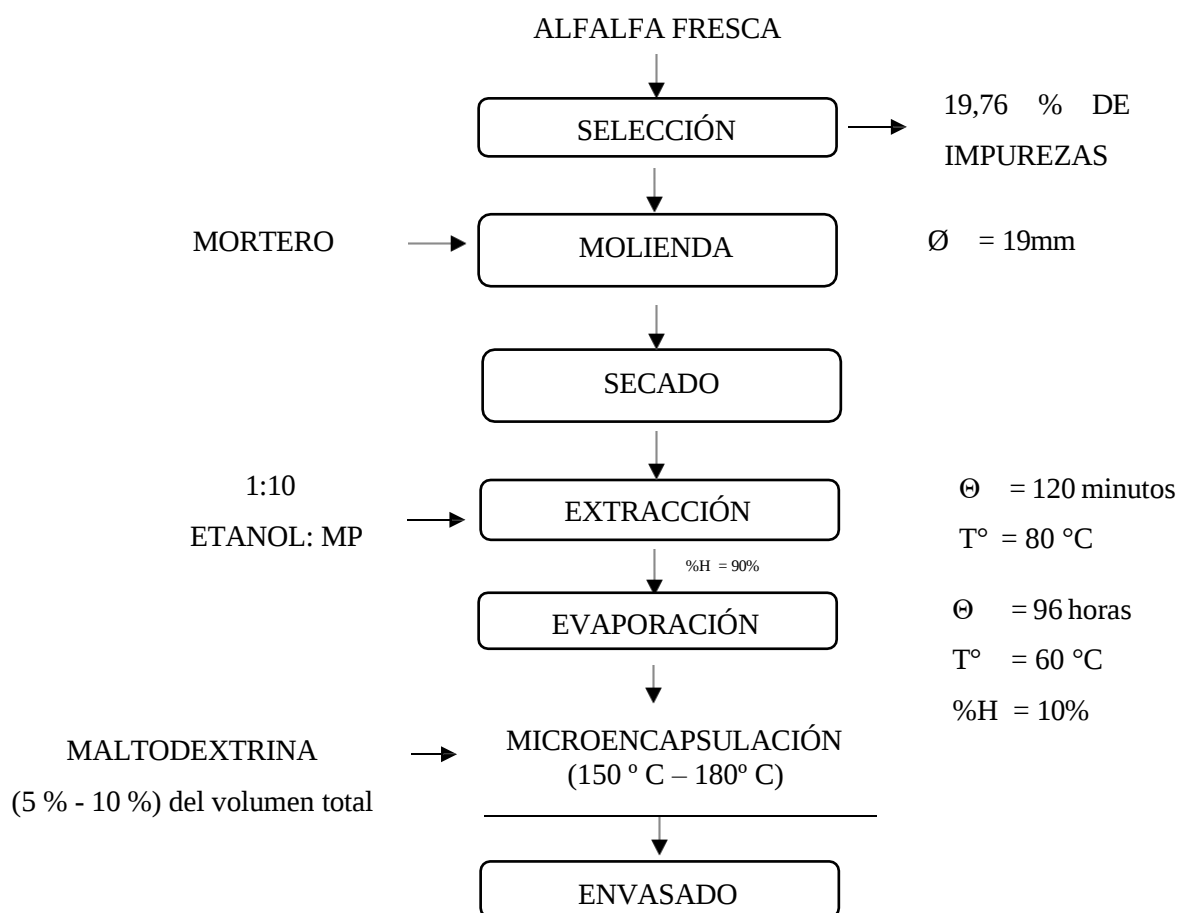
- **Solubilidad:** Dilución en agua
- **Higroscopicidad:** Absorción de la humedad

3.3.5. Proceso de extracción de la luteína de la alfalfa

La materia prima, alfalfa (*Medicago sativa L.*), se adquirió del Valle de Huatatas, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

Figura 6

Diagrama de flujo de la extracción y microencapsulación de la luteína



3.3.6. Descripción de procesos

En la presente investigación, la materia prima es la alfalfa fresca, proveniente del valle de Huatatas, se eligió la variedad Moapa 69 puesto que es una variedad que se adapta a diferentes climas y tiene mejor rentabilidad, el periodo de crecimiento 2 de 4 periodos, ya que a medida que va avanzando su desarrollo, va disminuyendo la producción de carotenos y, por ende, disminuye la producción de luteína; por otro lado, la variedad presenta una característica propia, siendo de rápida recuperación después del corte, alto rendimiento y resistencia a climas fríos.

✓ **Selección:** Una vez obtenido la alfalfa fresca y joven se seleccionó las impurezas como hojas muertas, palillos, entre otros de la alfalfa, obteniendo una separación de 80,24 % de hojas frescas que se utilizaron y 19,76 % de materias extrañas que se desecharon.

$$\text{Hojas frescas} = \frac{\text{materia prima final}}{\text{materia prima inicial}} * 100$$

$$\text{Hojas frescas} = \frac{10,7681}{12,7681} * 100$$

$$\text{Hojas frescas} = 80,24 \%$$

Figura 7

Muestra de alfalfa



✓ **Molienda:** Con la ayuda de un mortero se hizo la reducción de tamaño de la alfalfa a partes pequeñas para su fácil manipulación y reducir el volumen hasta obtener un tamaño deseado, para obtener una mejor extracción de la muestra, debido a que se tiene mayor contacto con el solvente de extracción.

Por ser un producto pastoso no se pudo determinar el diámetro de las partículas.

Figura 8

Reducción de tamaño de la alfalfa



✓ **Secado:** Una vez obtenida la muestra molida se llevó a estufa para reducir la humedad inicial de 80% aproximado y realizar el secado hasta una humedad del 20%, eliminando el agua obteniendo un producto semiseco a 50 °C durante 24 horas, para obtener mejor rendimiento en la extracción de la luteína con el etanol.

✓ **Extracción:** La extracción Soxhlet es un procedimiento que se aplica a diferentes alimentos sólidos, que extraen compuestos importantes para un estudio mediante el uso de diferentes solventes, llevándolas a ebullición durante tiempos prolongados para su extracción. En la presente investigación se añadió 100 mL de etanol para cada muestra en una relación de 1:10, se enrazó en una probeta para luego colocar en el balón, posteriormente se enciende el extractor Soxhlet a una potencia de 10 kW del manto eléctrico. La temperatura se debe mantener constante y en ebullición durante todo el proceso, de igual manera se debe tener el ingreso de flujo de agua de manera constante para su rápido enfriamiento y condensación del solvente. Durante la extracción se realizó 3 sifoneos para poder obtener un mejor rendimiento de la extracción.

Figura 9

Extracción Soxhlet de luteína de la alfalfa



★ **Muestra 1.**

Peso de la muestra: 12,2455 g

Volumen final: 97 mL

★ **Muestra 2**

Peso de la muestra: 11,0248 g

Volumen final: 98 mL

★ **Muestra 3**

Peso de la muestra: 12,6175 g

Volumen final: 97 mL

Se realizó la extracción 58 veces hasta obtener una solución de 5656 mL, para posteriormente llevarlo a vaporación y eliminar parte del solvente.

✓ **Evaporación:** Al obtener la solución de luteína 5656 mL se llevó a la estufa a 60°C por 96 horas para reducir el solvente y obtener una adecuada microencapsulación, hasta obtener una solución de 600mL a una concentración de 0,2M de luteína en la solución final, el cual sería a un porcentaje de humedad del 10%.

✓ **Microencapsulación**

Al obtener la solución de luteína de 600 mL, se colocó en 11 fiolas enrazadas a 50 mL de solución para posteriormente microencapsular, utilizando la maltodextrina como agente encapsulante a diferentes concentraciones, ya que la solución era homogénea al colocar los 50 mL de solución a cada fiola fue de 0,2M, de acuerdo a la proporcionalidad del volumen y el peso de los 11 tratamientos obtenidos.

✓ Una vez obtenida las 11 muestras según el diseño central compuesto obtenida con el Software STATGRAPHICS con agente encapsulada codificada de M1 hasta M11, como se

muestra en la Tabla 7, para añadir la solución acuosa de la luteína 50 mL medidos en una fiola para traspasarlo a los vasos precipitados.

- ✓ Se encendió el compresor del equipo BUCHI Mini Dryer B-290 para disponer de aire permanentemente, para que funcione el disco centrifugo del secador.
- ✓ Se encendió el ventilador de circulación de aire, se programó la temperatura deseada para atomizar, se esperó que el sistema de calentamiento llegue a dicha temperatura y se estabilice.
- ✓ Una vez estabilizada tanto la presión 3 Mpa, se alimentó la muestra al disco centrifugo, iniciando el proceso de secado por atomización, a una alimentación de 50ml por 15 minutos.

Figura 10

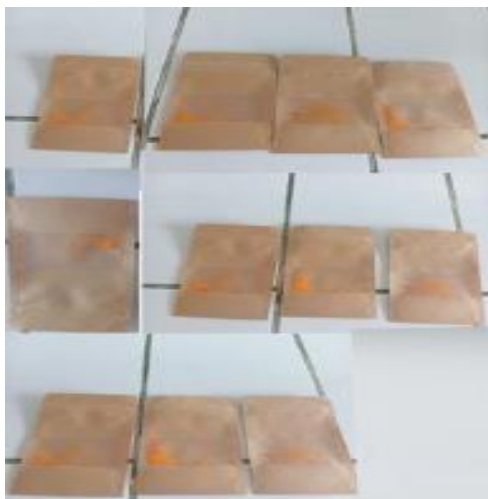
Microencapsulación de luteína de la alfalfa



- ✓ Concluyendo, la inyección de la solución, se cerró gradualmente la inyección de aire comprimido hacia el disco centrifugo, para apagar el sistema resistivo y continuar la circulación del aire con el compresor, para el enfriamiento gradual del equipo.
 - ✓ Una vez que haya bajado la temperatura de entrada hasta 70 °C del aire, se detuvo el funcionamiento del ventilador.
- ✓ **Envasado**
- ✓ Una vez obtenida la muestra seca y microencapsulada, se descargo el frasco de colección en polvo seco, recolectando todo el producto seco del interior de la cámara, tuberías ciclón para colarlo en papel kraft herméticamente cerrada para cada muestra.

Figura 11

Luteína microencapsulada



3.3.7. Determinación de la solubilidad

Para evaluar la solubilidad de la muestra microencapsulada fue de acuerdo a lo mencionado por, Serna et al. (2014), los siguientes pasos:

- ✓ Se pesaron 10 g de la luteína microencapsulada.
- ✓ Se mezcló con 10 mL de agua destilada hasta disolver homogéneamente.
- ✓ Se llevó a la centrifuga a 3000 rpm por 10 minutos y se tomó el sobrenadante.
- ✓ Se pesó las placas Petri (P0).
- ✓ Se pesó el sobrenadante que queda en el tubo de centrifuga colocándolo en las placas Petri (P1) y se determinó el peso del sobrenadante húmedo por diferencia de pesos (P1 – P0).
- ✓ Se calcula mediante la siguiente ecuación la cantidad de luteína sin disolver en el sobrenadante:

$$\% \text{ en suspensión} = \frac{\text{Peso del sobrenadante húmedo}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} * 100$$

Figura 12

Solución de luteína en el centrifugador



3.3.8. Determinación de la Higroscopicidad

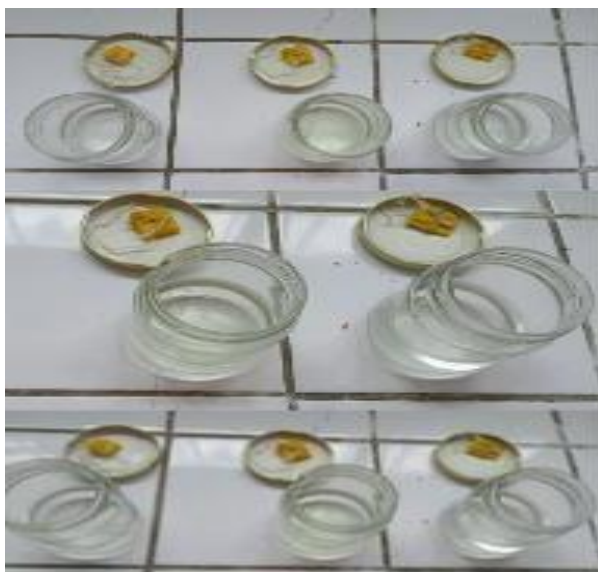
Se realizó la prueba de higroscopicidad por 7 días consecutivos, mientras se tenga mayor absorción de humedad en el producto microencapsulado disminuye la calidad del mismo, según (Jarrín, 2021), se realizaron los siguientes pasos:

- ✚ Se pesó las muestras iniciales en seco, (P0).
- ✚ En un envase de vidrio de 250 mL se mezcló NaCl con agua destilada, hasta obtener una solución salina saturada (100 mL).
- ✚ Se colocó en los envases de vidrio atados con un hilo la muestra de luteína con sumo cuidado para no mojarlas, que cumplirán la función de un desecador.
- ✚ Se dejó la muestra durante 7 días en los envases de vidrio con agua saturada de NaCl bien selladas para evitar el ingreso de la humedad del ambiente, para después poder pesarlas (P1).
- ✚ Se determinó el peso saturado de la muestra al séptimo día, (P1-P0).
- ✚ La higroscopicidad se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Higroscopicidad} = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

Figura 13

Luteína microencapsulada en los envases de vidrio



3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA EN LA HIGROSCOPICIDAD Y SOLUBILIDAD DE LA LUTEÍNA DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) MICROENCAPSULADA POR SECADO SPRAY DRYER

Se utilizó el método de diseño central compuesto rotatable para optimizar el procedimiento, como diseño estadístico de luteína microencapsulada por spray dryer: Teniendo como variables independientes: La temperatura de la cámara de secado $T_1 = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_2 = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la concentración de la maltodextrina $C_1 = 5\%$ y $C_2 = 10\%$. Se tuvo como variables dependientes la solubilidad e higroscopicidad. Estos valores obtenidos mediante dicho diseño estadístico se muestran en la tabla 8, dándonos un total de 11 resultados.

Los tratamientos totales y el nivel de la variable van a estar con respecto a la siguiente ecuación 1: 2

$$2n + 2n + 3\text{ PC} = 4 + 4 + 3 = 11$$

Tabla 8

Diseño estadístico de los 11 resultados.

Nº	Código	Temperatura (°C)	Concentración (%)
1	M1	165	7,5
2	M2	165	3,96
3	M3	180	10
4	M4	150	10
5	M5	150	5,0
6	M6	180	5,0
7	M7	165	7,5
8	M8	165	7,5
9	M9	143.79	7,5
10	M10	165	11,03
11	M11	186.2	7,5

El número de puntos centrales, según Montgomery (2005), está recomendando realizar entre 3 a 5 réplicas, para este diseño se está tomando en cuenta 3 puntos centrales para obtener resultados más eficientes en el procesamiento de datos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y ESTADÍSTICO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA EN LA HIGROSCOPICIDAD Y SOLUBILIDAD DE LA LUTEÍNA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA L.*) MICROENCAPSULADA POR SECADO SPRAY DRYER

4.1.1. Solubilidad

Peso de la muestra húmeda = 10g

Peso del sobrenadante húmedo = 0g

$$\% \text{ en suspensión} = \frac{\text{Peso del sobrenadante húmedo}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} * 100$$

$$\% \text{ en suspensión} = \frac{0}{10} * 100$$

$$\% \text{ en suspensión} = 0\%$$

Luego de realizar la prueba de solubilidad, se determinó que es 100 % soluble, puesto que no se observa ningún residuo en la solución final obtenida al realizar el centrifugado, ya que la luteína es muy hidrosoluble en agua.

Figura 14

Solución de la luteína microencapsulada



De acuerdo a López (2018), la solubilidad es una propiedad física el cual mide la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en un líquido debido a su estructura molecular, indicando que la sustancia mientras más soluble será más fácil la dilución; de acuerdo al resultado obtenido se muestra en la figura anterior que la luteína se disuelve completamente en agua.

Según lo mencionado por Jarrín (2021), al incorporar una sustancia a un alimento si se diluye en su totalidad nos indica que presenta una forma amorfa y por ello la solubilidad es superior, en cambio, si la sustancia es de forma cristalina la solubilidad disminuye. De acuerdo a lo mencionado por dicho autor, en la prueba realizada se obtuvo una solubilidad completa, puesto que después de la dilución no quedo partículas en la solución al interior de los tubos de centrifugado, indicándonos que la microencapsulación fue de forma amorfa, cubriendo al producto en su totalidad facilitando la dilución.

De acuerdo a Vargas (2015), la solubilidad de la luteína en muchas ocasiones disminuye con la temperatura, en la prueba realizada se observó que la solubilidad de la luteína en temperatura ambiente a 18°C se diluye al 100% esto debido a la microencapsulación, ya que el agente encapsulante utilizado es muy hidrosoluble en diferentes condiciones.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los parámetros óptimos de temperatura y concentración influyen favorablemente en la solubilidad de la luteína microencapsulada,

aceptando la hipótesis alternante, siendo estos parámetros de temperatura a 155 °C y a 11,9% de concentración de maltodextrina.

4.1.2. Higroscopicidad

Al transcurrir los 7 días, se dejó en envases de vidrio bien sellados en una solución saturada con NaCl a temperatura ambiente, se realizó el pesado y posterior cálculos de la higroscopicidad de cada una de las muestras, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Higroscopicidad} = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

Se determina la higroscopicidad para la muestra 1 (M1)

Peso saturado = 1,0651 g

Peso seco = 0,7281 g

Reemplazando en la ecuación:

$$M1 = \frac{1,0651 - 0,7281}{0,7281} * 100$$

$$M1 = 46,2849 \%$$

Se realiza dicho calculo para las 11 muestras obtenidas de acuerdo a la tabla 9, como se muestra a continuación.

Tabla 9

Resultados de higroscopicidad microencapsulada de la luteína

Muestra	Peso de luteína (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Higroscopicidad (%)
M1	3,1225	0,7281	1,0651	46,2849
M2	3,2568	0,7108	1,1349	59,6652
M3	2,9584	0,7801	1,1789	51,1217
M4	2,5102	0,7274	1,1265	54,8666
M5	2,1632	0,7504	1,1354	51,3060
M6	3,7589	0,7462	1,0958	46,8507
M7	2,1463	0,7249	0,9827	35,5635
M8	3,0872	0,7335	1,1245	53,3061
M9	3,3217	0,7427	1,0892	46,6541
M10	2,1879	0,7167	1,1257	57,0671
M11	2,8542	0,7472	0,9530	27,5428

Al realizar los cálculos de la higroscopicidad, dichos resultados fueron llevados al programa staticgraphic para determinar la influencia de las variables independientes en su composición química de la luteína, que se muestra a continuación.

Figura 15

Solución de la luteína microencapsulada



Tabla 10

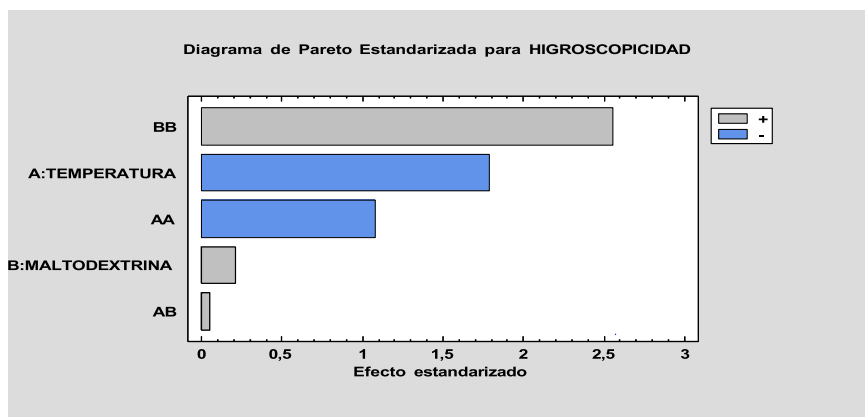
Análisis de Varianza para higroscopicidad microencapsulada (ANOVA)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A: TEMPERATURA	155,117	1	155,117	3,20	0,1337
B: MALTODEXTRINA	2,16141	1	2,16141	0,04	0,8411
AA	56,0512	1	56,0512	1,16	0,3314
AB	0,126025	1	0,126025	0,00	0,9613
BB	316,233	1	316,233	6,52	0,0510
Error total	242,363	5	48,4725		
Total (corr.)	893,033	10			

En la tabla 10 se muestra que no hay variaciones ya que el valor P es mayor a 0,05, indicando que no son significativamente diferente a cero entre los 11 tratamientos realizados con un nivel de confianza del 95%. Esto nos indica que la higroscopicidad varía según la temperatura y concentración del agente encapsulante aumentando o reduciendo la misma.

Figura 16

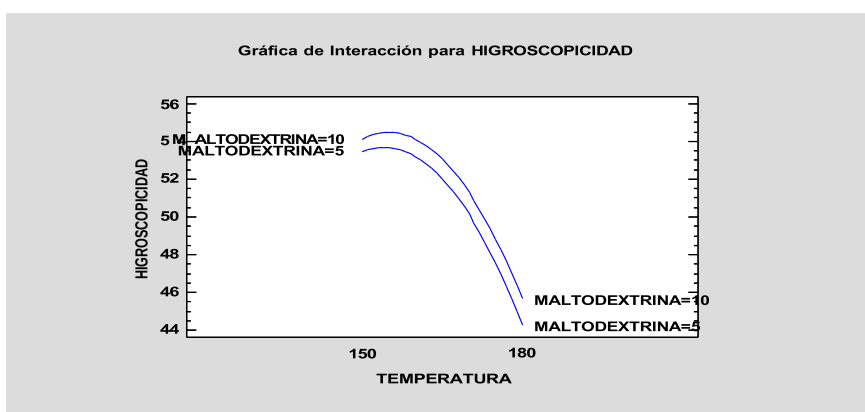
Diagrama de Pareto para la higroscopia



Como se muestra en la figura 16, la higroscopia no tiene significancia entre la temperatura de la cámara de secado y concentración de la maltodextrina como variables independientes, sobre todo en la concentración de la maltodextrina ya que la línea vertical solo corta a esta variable más no a la temperatura, esto nos muestra que la higroscopiedad como variable dependiente influye mucho sobre el tipo de agente encapsulante a utilizar, ello se debe evaluar de la misma y optar por el más compatible con la muestra utilizada, como se muestra en el diagrama de Pareto.

Figura 17

Resultado de la interacción para la higroscopiedad



Como se muestra en la figura 17, la temperatura y concentración de la maltodextrina no tienen relación entre sí, ya que ambas líneas no se unen en ningún momento.

Tabla 11*Coefficiente de regresión para la higroscopicidad*

Variables	Resultados
Constante	-216,08
A: TEMPERATURA	4,29176
B: MALTODEXTRINA	-18,5331
AA	-0,0140025
AB	0,00473333
BB	1,19733

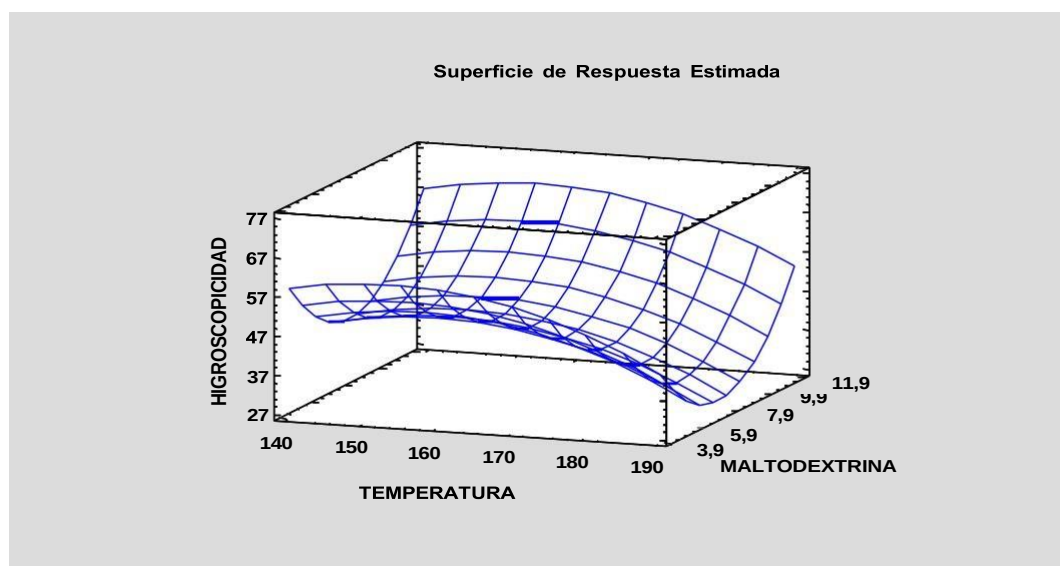
Las variables estudiadas como la temperatura y la concentración del agente encapsulante generan variación para la higroscopicidad, ya que los resultados son diferentes estadísticamente. A continuación, se muestra la ecuación del diseño utilizado.

Ecuación de la higroscopicidad:

$$\text{Higros.} = -216,08 + 4,29176 * A - 18,5331 * B - 0,0140025 * A^2 + 0,00473333 * A * B + 1,19733 * B^2$$

$$R^2 = 0.9885$$

La regresión se obtuvo mediante el programa Microsoft Excel.

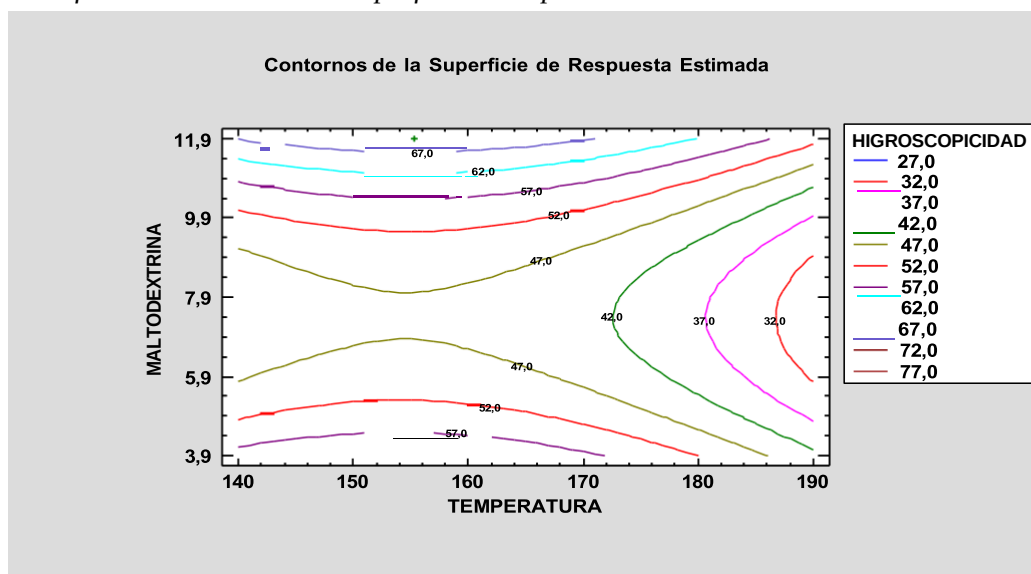
Figura 18*Gráfica de superficie de respuesta estimada para luteína*

Como se muestra en la figura 18, la luteína tiene mayor higroscopicidad óptima en los puntos centrales entre las temperaturas 150 °C a 180 °C y a una concentración aproximada del 11%

de maltodextrina, siendo este valor aproximado de 36 % de higroscopicidad, requiriendo que la higroscopicidad sea mayor para su fácil dilución. De acuerdo a Díaz (2005), este comportamiento se presenta solo en materiales con alta porosidad para evaluar la forma de almacenamiento del producto sin tener interacción con el medio ambiente y se conserve mejor. El equilibrio higroscópico se da cuando no hay interacción entre el medio externo e interno.

Figura 19

Gráfica de contornos de la superficie de respuesta



Como se muestra en la figura 19, la higroscopicidad tiene mejores resultados en la microencapsulación con temperaturas y concentración de la maltodextrina en los puntos centrales, siendo un 50% aproximadamente.

Optimización de la higroscopicidad

Meta: maximización de la higroscopicidad

Valor óptimo = 35,5635%

Este valor se obtuvo mediante el software utilizado en la presente tesis.

Tabla 12

Maximización de la higroscopia en la microencapsulación de la luteína

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
TEMPERATURA	140,0	190,0	155,261
MALTODEXTRINA	3,9	11,9	11,9

En la tabla 12, se observa la optimización la cual maximiza la higroscopia sobre la región indicada siendo 155,261 °C de temperatura y 11,9% de maltodextrina para obtener el 35,5635 % de higroscopicidad, obtenidas mediante el programa STATICGRAPHICS.

Según las tablas y gráficas obtenidas podemos afirmar que, de los 11 tratamientos, resulto la muestra 2 con la mejor higroscopia. De acuerdo a Díaz (2005) menciona que los materiales granulados tienen mayor porosidad, es por ello que absorben mayor cantidad de humedad del ambiente que lo rodea; este comportamiento se presenta en materiales de alta porosidad, por ello depende del medio en la que se encuentra. En la presente investigación se observó que el material microencapsulado gana un alto porcentaje de humedad, indicando que las partículas tienen mucha porosidad.

Los efectos de la temperatura y la concentración de la maltodextrina en la microencapsulación de la luteína es de manera positiva de acuerdo a las gráficas del diagrama de Pareto, interacción, puntos centrales y la optimización a mayor temperatura y concentración de agente encapsulante mejor la conservación de la luteína microencapsulada, sin alterar su composición nutricional, de igual modo la solubilidad es mucho mejor a mayor temperatura de secado y a la concentración de la maltodextrina ya que se forman partículas fáciles de disolver; de la misma forma la higroscopicidad es mucho mejor a mayor temperatura y concentración del agente encapsulante. De acuerdo a Nava, (2015) indica que la microencapsulación es uno de los procesos más utilizados en la industria alimentaria debido a su uso y beneficios que brinda, debido a la estabilidad que proporciona en la sustancia encapsulada, como también en la eficiencia de la encapsulación.

CONCLUSIONES

1. Se evaluó los efectos de la temperatura y concentración de la maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la luteína de alfalfa (*Medicago sativa L.*) microencapsulado por secado por spray dryer, donde ambos parámetros influyen solo en la higroscopicidad, de acuerdo al ANOVA ya que se tiene un valor óptimo de 35,5635% donde se tiene una mejor calidad del producto final.
2. El valor óptimo de la microencapsulación de luteína mediante secado por spray dryer respecto a la higroscopicidad de la luteína microencapsulada fue del 35,5635 % a una temperatura de 155,26 °C y a una concentración de 11,9% de maltodextrina.
3. Al obtener las microcápsulas de luteína se obtuvo el 100% de solubilidad, ya que una vez realizada la prueba del centrifugado se observó que no quedo partículas en suspensión. Concluyendo que dicha propiedad mejoro al realizar el secado por Spray Dreyer.

RECOMENDACIONES

1. Promocionar el consumo de luteína para reducir el índice de anemia infantil, enfermedades visuales y prevenir enfermedades cardíacas en nuestra ciudad.
2. Incentivar a más alumnos a realizar otros tipos de extracción de la luteína, con diversos solventes y métodos para obtener resultados más eficientes y de mejor rendimiento.
3. Realizar diseños mediante el uso de nuevos softwares para la creación de nuevas tecnologías en la conservación de la luteína ya que es muy inestable en contacto con el medio ambiente.
4. Utilizar la luteína en diferentes alimentos desde un color naranja a un color amarillo, como son los alimentos cárnicos (aves), néctares, jugos, bebidas gasificadas, bebidas lácteas, etc.
5. La universidad debería implementar equipos en buen funcionamiento para realizar este tipo de investigaciones como el atomizador, equipos de fluidos supercríticos, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Henao, M. V. (2016). *Formulación de nanopartículas y micropartículas de luteína extraída por fluidos supercríticos a partir de excedentes de cosecha de lechuga (Lactuca sativa L.) y repollo (Brassica oleracea)* [Tesis de Magister, Corporación Universitaria Lasallista]. http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1686/1/Formulacion_nano_y_microparticulas_luteina.pdf
- Alarcón, C. (2015). *Optimización de parámetros de extracción de antocianinas del maíz morado (ZEA mayz L.) por el método de superficie de respuesta y verificación experimental* [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1279>
- Apaza, R. (2018). *Optimización de la formulación para la elaboración de hamburguesa a partir de doncella (Pseudoplatystoma fasciatum Linnaeus) mediante superficie respuesta* [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://hdl.handle.net/10757/654533>
- Arellano Corral, C.A. (2011). *Extracción de Luteína a partir de Flores de tagete (tagete erecta) y estabilización por microencapsulación* [Tesis de Ingeniero, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/qf-arellano_ca/pdfAmont/qf-arellano_ca.pdf
- Batistuzzo, J.A; Itaya, M; Eto, Y. (2021). *Formulário Médico-Farmacêutico*. São Paulo/ SP: Atheneu, 6ª Ed. https://cienciasfarmaceuticas.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Formulario_Medico_Farmacutico_6ed.-2021-Lan%C3%A7amentopdf.pdf
- Bhusari, S. N.; Muzaffar, K.; Kumar, P. 2014. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266: 354-364
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591014005828>
- Caballero, A (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*. Mexico, D.: Grupo Editorial Patria.
- Cárdenas Orihuela, P. E.; Huamán Valle, M. A. (2015). *Evaluación de tipo de encapsulante y temperatura de aire de secado por atomización en el contenido de ácido ascórbico*,

- carotenoides totales y capacidad antioxidante de tumbo (Passiflora mollissima L.)* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1299>
- Carranco Jáuregui, M.; Calvo Carrillo M.; Pérez Gil Romo F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión Vol. 61 N° 3 pp. 233-241. <http://ve.scielo.org/pdf/alan/v61n3/art01.pdf>
- Centeno Martínez, Carmen (2011). Composición cuantitativa de los carotenoides de la alfalfa fresca. Variación en función del ciclo de crecimiento y estado de desarrollo de la planta. Instituto de Alimentación y Productividad Animal (C.S.I.G). 293-307. Madrid. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5120806>
- Cerda, Jhenyfer (2023). *Efecto de la proporción de grenetina, harina de sangre de pollo y pulpa de camu camu (Myrciaria gubia HBK Mc Vaugh) en el contenido de hierro y características sensoriales en gomitas comestibles* [Tesis de Ingeniera, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Corrales Ramírez, L. C.; Caycedo Lozano L. (2019). Principios fisicoquímicos de los colorantes utilizados en microbiología (76), 73 – 100.
- Csernoch, C., Gallo, A., & Mazzobre, M. (2018). Optimización de Microcápsulas de Antocianinas y Maltodextrina por Liofilizado. Revista Tecnología Y Ciencia, (30), 81–87. <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/140>
- Delgado, L.; Núñez, E.; Muñoz, F. y Andueza, D. (2015). Cómo maximizar el cultivo de la alfalfa. (69), 68 – 77. https://citarea.cita-aragon.es/bitstream/10532/3138/1/2015_293.pdf
- Delgado Ulloa, O. I.; Roque Cueva, A. S. (2018). *Influencia de la temperatura y cantidad de Na₂CO₃ en la extracción de ácido carmínico a partir de Dactylopius coccus costa “cochinilla* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10525>
- Díaz Ortiz, J. E.; 2005. Propuesta metodológica para determinar el potencial de humedad de un material granular a partir de la humedad relativa Vo. 7 N° 1. Pp. 1-7. https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/download/2528/3278/5066

- Eduardo Nuñez, Carlos (2008). Extracciones con equipo Soxhlet. Pp. 1-5.
<https://es.slideshare.net/abel82tombino/39-extraccinconequipo-soxhlet>
- Escalona López, S. E.; (2004). *Encapsulados de luteína-enocianina y su aplicación en alimentos* [Tesis de Ingeniera, Universidad Nacional de Chile].
https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2004/escalona_s/sources/escalona_s.pdf
- Esquivel Gonzáles, B. E.; Ochoa Martínez, L. A.; Rutiaga Quiñones, O. M. (2015).
 Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, pp. 180-192.
<https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176006.pdf>
- Fermin, W; Corzo O.; 2004. Comparación teórica y práctica del diseño compuesto central rotatable con el diseño san Cristóbal Ortogonalizado en la Optimización de la Deshidratación Osmótica del Melón. Vol. 16 N° 1: 39-44.
<https://core.ac.uk/download/pdf/235924705.pdf>
- Figuerola, Paola M; Ceballos, Miguel A y Hurtado, Andrés M. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. Rev.Colomb.Quim. [online]. 2016, vol.45, n.2, pp.39-47.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.57481>.
- García Chacón, J. M. (2017). *Desarrollo de microencapsulados enriquecidos en carotenoides a partir de residuos de frutas tropicales para uso como colorantes naturales en alimentos* [Tesis de Magister, Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59901/TESIS.JULIANA.FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzáles Méndez, M. (2002). La alfalfa deshidratada y su calidad actual. Pp. 24-30.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_mg/mg_2002_146_24_30.pdf
- Huayllahuamán, E. (2019). *Microencapsulación de aceite esencial de menta negra (Mentha piperita L.) por atomización* [Tesis de Ingeniero, Universidad Peruana Unión].
<http://hdl.handle.net/20500.12840/2076>
- Jarrín, K. (2021). *Obtención de microcápsulas de colágeno hidrolizado enriquecido con pulpa de Ananas comusus (piña) mediante el método de secado por atomización para su posterior aplicación en la industria alimentaria* [Tesis para optar el título

- profesional, Universidad de las Fuerzas Armadas].
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/29280>
- López Rojas, D.; (2018). Ciencias Naturales y Medio Ambiente.
<https://www.webcolegios.com/file/0cc8d6.pdf>
- Mechmechani, S., Khelissa, S., Gharsallaoui, A. et al. (2022). Tecnología de obstáculos que utiliza enzimas encapsuladas y aceites esenciales para combatir las biopelículas bacterianas. *Appl Microbiol Biotechnol* 106, 2311–2335.
<https://doi.org/10.1007/s00253-022-11875-5>
- Ministerio del Ambiente. (2019). LÍNEA DE BASE DE LA ALFALFA CON FINES DE BIOSEGURIDAD EN EL PERÚ. (5), 1 – 45
https://bioseguridad.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2020/02/estudio_lb_alfalfa.pdf
- Nava Reyna, Erika; Michelena Álvarez, Georgina; Iliná, Anna; Martínez Hernández, José Luis (2015). Microencapsulación de componentes bioactivos, (23), 64 - 70.
<https://www.redalyc.org/pdf/674/67446014009.pdf>
- Ochoa Flores, p., Cosinga Eslava, Y. (2023). *Microencapsulación de ácido carmínico mediante secado por atomización* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/6012/1/TESIS%20IA311_Och.pdf
- Ochoa Huamán, E. (2019). *Evaluación de los parámetros de secado por atomización en el contenido de vitamina C de microencapsulado de copoazú (Theobroma Grandiflorum)* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/492>
- Parra Huertas, R. A. (2011). Revisión: *Microencapsulación de Alimentos*. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 63(2), 1-2.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>
- Rivero Cayetano, A. B. (2015). *Estabilidad de la vitamina C del zumo atomizado de Aguaymanto (Physalis peruviana L.), utilizando distintos encapsulantes* [Tesis de

Ingeniero, Universidad Nacional de Huancavelica].
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/119>

Rodriguez, N. E.; Eroles, S.F.; Basigalup, D.H.; Köpp, M.M. (2022). *CAPÍTULO 2. ORIGEN, DIFUSIÓN, MORFOLOGÍA Y FENOLOGÍA*, (19), 17 – 39.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1145306/1/2022-22-07-Alfalfa-del-cultivo-a-sus-mutiples-usos.pdf>

Saavedra Aguilar, C. P. (2017). *Microencapsulación de aceite de pescado mediante secado por atomización convencional y libre de agua: Optimización y caracterización* [Tesis de Ingeniero, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170382>

Saavedra Baca, J. C.; Távara Guerrero, C. P. (2017). *Microencapsulación y su efecto en la retención de la capacidad antioxidante de la mashua (Tropaeolum tuberosum) secada por atomización-Lambayeque* [Tesis de Ingeniero, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/4113>

Serna, L., Torres, C. & Ayala, A. (2014). Evaluación de Polvos Alimentarios obtenidos de Cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes Funcionales. *Información tecnología* 26(2). <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v26n2/art06.pdf>

Siccha, A & Lock de Ugaz, O. (1995). *Secado por atomización (Spray Dryer)*. 40 – 46. 8354-
[https://Texto del artículo-32907-1-10-20140216 \(1\).pdf](https://Texto%20del%20articulo-32907-1-10-20140216%20(1).pdf)

Tarazona, Reyes, H; Cabrera Espinoza, R. (2022). *Efecto de los abonos orgánicos en el rendimiento de forraje de alfalfa (Medicago sativa L.) variedad moapa en chavinillo, yarowilca Huánuco, 2021* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].
<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/7096/TAG00915T22.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Toledo, M; (2009). Análisis del comportamiento en almacenamiento de la maltodextrina con el analizador de sorción ATG, 6-7.
https://www.mt.com/mt_ext_files/Editorial/Generic/1/BeverageNews_06_0607_Editorial-Generic_1224599112485_files/BeverageNews_6_sp_6-7.pdf

Vargas, Pedro (2015). *Estudio Teórico-Experimental de la solubilidad y la presión de vapor de Disoluciones acuosas de Nitratos y Nitritos Alcalinos para sistemas de Absorción de alta Temperatura*. [Tesis Doctoral, Universitat Rovira I Virgili].

Villacresis, Arlette (2023). *Optimización de una mezcla alimenticia fortificada con hierro orgánico microencapsulado, utilizando el método Box-Behnken*. [Tesis de Ingeniera, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5199/1/TESIS%20IA300_Vil.pdf

ANEXOS

Anexo 1

Panel de fotografías

Figura 20

Muestra de la alfalfa



Figura 21

Molienda de la alfalfa



Figura 22

Extracción Soxhlet de la luteína



Figura 23

Secado de los cartuchos con la muestra



Figura 24

Atomización de la luteína



Figura 25

Luteína microencapsulada



Figura 26

Luteína en solución

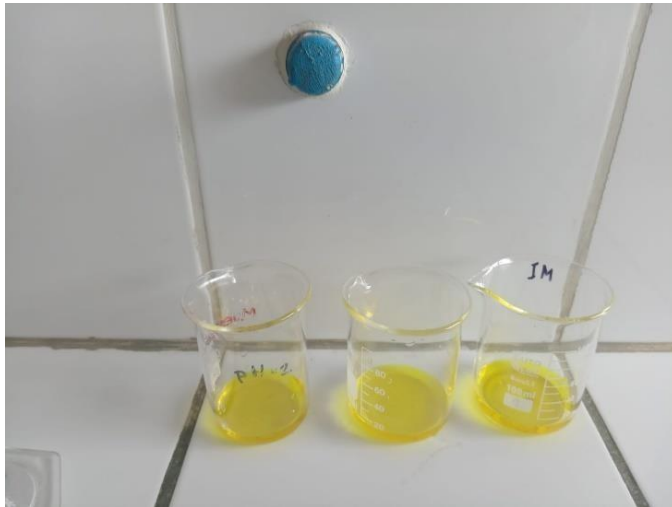


Figura 27

Prueba de higroscopicidad



Figura 28

Pesado de la muestra de higroscopicidad



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

Efecto de la temperatura y concentración de maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la Luteína de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulada por secado Spray Dryer

Expositor: Belinda Estefanía Quicaño Huaman
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente N° 2435995

Resolución Decanal N° 124-2024-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 02-07-2024

En la Sala de Conferencia "Pedro Villena Hidalgo" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día viernes doce de julio del año dos mil veinticuatro, se reunieron la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Belinda Estefanía Quicaño Huaman**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ, Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA y Mg. Percy Segundo HUAUYA PABLO, bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la Facultad), Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Wuelde Cesar DIAZ MALDONADO (Secretario-Docente(e)).

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Efecto de la temperatura y concentración de maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la Luteína de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulada por secado Spray Dryer** presentado por la Bachiller **Belinda Estefanía Quicaño Huaman**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 120-2024-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Belinda Estefanía Quicaño Huaman**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treinta y cinco minutos.

Finalizado la exposición de la Bachiller, el presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Percy Segundo HUAUYA PABLO, Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA y Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ. Luego el Presidente invitó al Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

A continuación, el presidente del jurado invito al sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO CATORCE (14).**

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:****Efecto de la temperatura y concentración de maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la Lutefina de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulada por secado Spray Dryer****Expositor: Belinda Estefanía Quilcaño Huaman
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial**

Expediente N° 2435995

Resolución Decanal N° 124-2024-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 02-07-2024

Finalmente, el Presidente del Jurado dispuso que se invite a la Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, la Bachiller **Belinda Estefanía Quilcaño Huaman**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las doce del medio día con cincuenta y cinco minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente

Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ
Miembro

Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA
Miembro

Mg. Percy Segundo HUABYA PABLO
Miembro

Mg. Wuelde Cesar DIAZ MALDONADO
(Secretario Docente(e))

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria



UNSCH

FACULTAD DE
**INGENIERIA QUÍMICA
Y METALURGIA**

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

La Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, el egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor el Ing. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE se procedió a la evaluación de originalidad del archivo adjunto con el TURNITIN - UNSCH, **de acuerdo a los criterios establecidos en el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**; cuyos resultados son:

Tesis Efecto de la temperatura y concentración de maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la Luteína de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulada por secado Spray Dryer

Nombre y Apellido : Bach. **Belinda Estefania Quicaño Huaman**
Identificador de entrega : 2429764413
Fecha : 09-set-2024 08:20p.m. (UTC-0500)
Archivo : Tesis_final_Belinda_Quica_o.pdf (1.85M)

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del 17% de ÍNDICE DE SIMILITUD realizado con Depósito de trabajos estándar, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 10 de setiembre del 2024.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Dr. Ing. Saúl R. Chuqui Diestra
DIRECTOR

C.c.
Const. N°11-2024
Archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
Av. Independencia S/N - Ayacucho
Telf. 066-303496
Correo: ep.agroindustrial@unsch.edu.pe

Efecto de la temperatura y concentración de maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la Luteína de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) microencapsulada por secado Spray Dryer

por Belinda Estefania Quicaño Huaman

Fecha de entrega: 09-set-2024 09:17 a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2429764413

Nombre del archivo: Tesis_final_Belinda_Quica_o.pdf (1.85M)

Total de palabras: 14883

Total de caracteres: 86426

Efecto de la temperatura y concentración de maltodextrina en la higroscopicidad y solubilidad de la Luteína de Alfalfa (*Medicago sativa L.*) microencapsulada por secado Spray Dryer

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	17%	2%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	6%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unsch.edu.pe	3%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.uchile.cl	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.uncp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru	1%
	Trabajo del estudiante	
6	ezproxybib.pucp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	repository.lasallista.edu.co	1%
	Fuente de Internet	

8	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
9	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
11	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
13	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
14	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
15	1library.co Fuente de Internet	<1 %
16	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
17	Moyet De Leon, Nest. "Variacion del porciento de humedad relativa en los salones de clases versus diferentes tipos de materiales educativos expuestos y no expuestos a dicha humedad, en escuela una elemental del distrito de caguas II", Proquest, 2012.	<1 %

18

repositorio.unjfsc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo