



UNCP

Universidad Nacional del Centro del Perú

Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias

Optimización del proceso de microencapsulación de aceite de palta obtenido por CO₂ supercrítico

Guevara Bernaola, Beliza
Quispe Florentino, Betina Yudid

Huancayo
2019





Esta obra está bajo una licencia

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

[Repositorio Institucional - UNCP](#)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



TÍTULO DE LA TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE PALTA
OBTENIDO POR CO₂ SUPERCRÍTICO**

PRESENTADO POR LAS BACHILLERES:

GUEVARA BERNAOLA, Beliza

QUISPE FLORENTINO, Betina Yudid

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

HUANCAYO - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

DE LA BACHILLER : YUDID BETINA QUISPE FLORENTINO
 FACULTAD DE : INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
 PARA OPTAR EL TITULO DE : INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú, a los diecisiete días del mes enero del año dos mil diecinueve con la presencia del Jurado Examinador conformado por los siguientes Catedráticos :

PRESIDENTA : Dra. MARY ANA LUISA PORRAS OSORIO
 JURADOS : Dra. CLARA RAQUEL ESPINOZA SILVA
 Ing. JUAN FEDERICO RAMOS GOMEZ
 Dr. MIGUEL ANGEL QUISPE SOLANO
 SECRETARIA : Ing. JOHN GOMEZ HERRERA
 SUPLENTE : Ing. ROLANDO QUINTANA DIAZ

El Presidente del Jurado Examinador, de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, siendo las 9:00 am ordenó dar inicio al acto de sustentación de Tesis ante el jurado nombrado por resolución N° 004-2019-D-FAIIA/UNCP.

La Bachiller procedió a la exposición de su Tesis Titulada:
 " OPTIMIZACION DEL PROCESO DE MICROENCAPSULACION DE ACEITE DE PALTA OBTENIDO POR CO₂ SUPERCRITICO ". asesorado por la docente Dra. Clara Raquel Espinoza Silva.

Los señores miembros del jurado procedieron a realizar las preguntas y objeciones del caso, luego la señora presidenta dispuso que la sustentante se retire del auditorio para deliberar; luego se pasó a la votación secreta con el siguiente resultado :

..... *Aprobada por unanimidad*
 El Jurado acordó que la Bachiller pase al estrado para escuchar el resultado, lo que fue anunciado por la señora Presidenta quién la *felicitó*, con lo que terminó el acto, siendo las *10:40*

 VOCAL
 VOCAL
 PRESIDENTA
 VOCAL
 SECRETARIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

DE LA BACHILLER : BELIZA GUEVARA BERNAOLA
 FACULTAD DE : INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
 PARA OPTAR EL TITULO DE : INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú, a los diecisiete días del mes enero del año dos mil diecinueve con la presencia del Jurado Examinador conformado por los siguientes Catedráticos :

PRESIDENTA : Dra. MARY ANA LUISA PORRAS OSORIO
 JURADOS : Dra. CLARA RAQUEL ESPINOZA SILVA
 Ing. JUAN FEDERICO RAMOS GOMEZ
 Dr. MIGUEL ANGEL QUISPE SOLANO
 SECRETARIA : Ing. JOHN GOMEZ HERRERA
 SUPLENTE : Ing. ROLANDO QUINTANA DIAZ

El Presidente del Jurado Examinador, de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, siendo las 9:00 am ordenó dar inicio al acto de sustentación de Tesis ante el jurado nombrado por resolución N° 004-2019-D-FAIIA/UNCP.

La Bachiller procedió a la exposición de su Tesis Titulada:
 " OPTIMIZACION DEL PROCESO DE MICROENCAPSULACION DE ACEITE DE PALTA OBTENIDO POR CO₂ SUPERCRITICO ".asesorado por la docente Dra. Clara Raquel Espinoza Silva.

Los señores miembros del jurado procedieron a realizar las preguntas y objeciones del caso, luego la señora presidenta dispuso que la sustentante se retire del auditorio para deliberar; luego se pasó a la votación secreta con el siguiente resultado :

Aprobada por unanimidad

El Jurado acordó que la Bachiller pase al estrado para escuchar el resultado, lo que fue anunciado por la señora Presidenta quién la felicitó, con lo que terminó el acto, siendo las 10:40 am


 PRESIDENTA

 VOCAL

 VOCAL

 VOCAL

 SECRETARIA
 DOCENTE

ASESORA

Dra. Clara Raquel Espinoza Silva

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios, por permitirnos realizar nuestras metas y sueños.

A nuestra asesora la Dra. Clara Raquel Espinoza Silva por su dirección en la realización de este trabajo de tesis, por todos los conocimientos, paciencia, confianza y consejos brindados durante el tiempo de realización de este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por ser nuestra alma mater y por la educación académica que nos brindó.

A nuestros Padres, por el apoyo incondicional que nos brindaron durante nuestra vida académica. A nuestra familia que nos brindaron palabras de aliento cuando nos sentimos caídas.

Al Dr., Luis Condeso Hoyos, por el apoyo desinteresado que nos brindó.

Y finalmente a todos los que hicieron posible la realización de este trabajo.

Dedicatoria

A nuestros padres por ser ejemplo de esfuerzo y perseverancia

INDICE DE CONTENIDOS

I.	INTRODUCCIÓN.....	2
II.	MARCO TEÓRICO.....	4
	2.1 ANTECEDENTES.....	4
	2.2 BASE TEÓRICA.....	4
	2.2.1 LA PALTA, PRODUCCIÓN NACIONAL Y BENEFICIOS.....	4
	2.2.1.1 Origen.....	4
	2.2.1.2 Clasificación taxonómica.....	5
	2.2.1.3 Razas de palta.....	5
	2.2.1.4 Híbridos de la palta.....	7
	2.2.1.5 Producción.....	8
	2.2.1.6 Aceite de palta.....	9
	2.2.1.7 Calidad del aceite.....	10
	2.2.2 MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITES.....	11
	2.2.2.1 Morfología de las microcápsulas.....	12
	2.2.2.2 Métodos de microencapsulación.....	14
	2.2.2.3 Tipos de encapsulante.....	20
	2.2.2.4 Método de extracción de aceites comestibles por fluido supercrítico.....	22
	2.2.2.5 Superficie de respuesta.....	24
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
	3.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN.....	25
	3.2 MATERIA PRIMA.....	25
	3.3 REACTIVOS.....	25
	3.4 EQUIPOS Y MATERIALES.....	25
	3.4.1 Equipos.....	25
	3.4.2 Materiales.....	26
	3.5 MÉTODOS.....	26

3.5.1	Extracción del aceite de palta	26
3.5.2	Preparación de la emulsión	26
3.5.3	Obtención de las microcápsulas mediante el secado por aspersión	26
3.5.4	Contenido de aceite total	27
3.5.5	Contenido de aceite superficial	27
3.5.6	Eficiencia de microencapsulación	27
3.5.7	Rendimiento de secado	28
3.5.8	Humedad de las microcápsulas	28
3.5.9	Índice de peróxido de las microcápsula	28
3.5.10	Índice de acidez.....	29
3.5.11	Diseño experimental.....	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	32
4.1	Maximización del rendimiento de secado	32
4.2	Humedad de las microcápsulas	35
4.3	Maximización de la eficiencia de microencapsulación (EE)	39
4.4	Estabilidad del aceite de palta	42
4.5	Optimización del proceso de microencapsulación.....	47
4.6	Índice de acidez.....	49
4.7	Tamaño de partícula.....	49
V.	CONCLUSIONES	53
VI.	RECOMENDACIONES.....	54
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Palta de variedad Fuerte.....	8
Figura 2: Producción y rendimiento en las regiones del Perú.....	8
Figura 3: Evolución de la producción de la palta en el Perú (2010-1017).....	9
Figura 4: Composición de una microcápsula de aceite.	11
Figura 5: Tipos de microcápsulas	13
Figura 6: Proceso de microencapsulación mediante el secado por aspersión	17
Figura 7: Ilustración de los 4 sistemas de emulsiones (W/O,O/W,W/OW,O/W/O)	19
Figura 8: Punto supercrítico de los fluidos	23
Figura 9: Superficie de respuesta para el rendimiento de secado.....	35
Figura 10 Superficie de repuesta para la humedad de las microcápsulas.....	38
Figura 11: Superficie de respuesta para la eficiencia de microencapsulación	41
Figura 12 Superficie de respuesta para la estabilidad del aceite microencapsulado expresado en índice de peróxido.	45
Figura 13: Rampas de deseabilidad para las condiciones optimizadas de las microcápsulas de aceite de palta.....	48
Figura 14: Microcápsula esférica	51
Figura 15: Microcapsula irregular sin fisura.....	51
Figura 16 : Microcápsula irregular sin fisura.....	51
Figura 17: Perímetro y área de la microcápsula.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la palta	5
Tabla 2. Características de las razas de aguacate.....	6
Tabla 3 Tamaño de partícula según el método de microencapsulación	13
Tabla 4 : Impacto de la morfología.....	14
Tabla 5: Métodos de microencapsulación	15
Tabla 6: Materiales de grado alimentario utilizados para la encapsulación	21
Tabla 7:Factores y niveles del diseño CCD	30
Tabla 8: Variables dependientes analizadas con el diseño CCD	31
Tabla 9: Resultados del rendimiento de microencapsulación obtenidos para cada tratamiento.....	32
Tabla 10: Análisis de varianza- Rendimiento de secado	33
Tabla 11: Valores de la humedad de las microcápsulas obtenidas para cada tratamiento	36
Tabla 12: Análisis de varianza - humedad de las microcápsulas.....	37
Tabla 13: Valores de los porcentajes de eficiencia de microencapsulación obtenidas para cada tratamiento	39
Tabla 14: Análisis de varianza – Eficiencia de microencapsulación	40
Tabla 15: Valores del índice de peróxidos obtenidas para cada tratamiento y para el aceite patrón analizado.....	43
Tabla 16: Análisis de varianza-Índice de peróxido	44
Tabla 17: Condiciones óptimas de operación y valores de respuestas predichas	48

ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO 1: Valores del índice de peróxido	61
ANEXO 2: Análisis del ajuste del Rendimiento de secado	62
ANEXO 3: Análisis del ajuste de la humedad de las microcápsulas	63
ANEXO 4: Análisis del ajuste para la Eficiencia de microencapsulación	64
ANEXO 5: Valores obtenidos del índice de peróxido antes del proceso de clarificación con carbón activado	65
ANEXO 6: Valores obtenidos del índice de peróxido del aceite clarificado con carbón activado.....	66
ANEXO 7: Fotos.....	67

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue investigar los efectos de las variables del proceso en la microencapsulación del aceite de palta extraído por fluido supercrítico, para optimizar dicho proceso. El proceso es para conseguir un polvo (microcápsula de aceite de palta, recubiertas con maltodextrina (MD) y albumina (AL)). Obtener la eficiencia de encapsulación más alta evaluado con diseño experimental de superficie de respuesta, Desing Expert. Se realizaron 13 experimentos con 5 repeticiones en el punto control o punto central, las variables independientes fueron la proporción de encapsulantes y temperaturas de entrada de aire caliente. La emulsión estuvo compuesta por un 20 % de materiales de pared, 10 % de aceite y 70 % de agua; la proporción MD: AL fue de 1:1, 1:4 y 4:1, en relación al 100 % del material de material de pared. Las temperaturas del aire a la entrada del secador fueron de 130, 140 y 150 °C.

El rendimiento de secado no se vio afectado significativamente por la temperatura de secado ni la proporción de MD: AL. Tanto la humedad de las microcápsulas, eficiencia de microencapsulación y la rancidez oxidativa del aceite se vieron afectas significativamente por el efecto de los factores. La eficiencia de microencapsulación máxima fue de 6,43 % a una proporción de 1:1 de materiales de pared y una temperatura de 150 °C, el índice de peróxido más bajo fue de 47,5 meq O₂/kg de aceite sucedió cuando se atomizó a una temperatura de 140 °C y proporción de 1:1. Los parámetros de optimización fueron de 142 °C y una proporción de MD: AL de 49 %:51 %, el índice de acidez para la muestra resultante de los datos optimizados fue de 1,4025 mgKOH/g y respecto al tamaño de partícula se determinó que están tienen perímetro de 4,385 μm y un área de 1,469 μm^2 , presentado una estructura de multicapa.

Palabras clave: aceite, palta, microencapsulación, materiales de pared, fluido supercrítico.

I. INTRODUCCIÓN

Se conoce que el aceite de palta tiene un alto contenido de ácidos grasos polinsaturados, entre ellas el omega 9 la cual disminuye el nivel de colesterol en la sangre, pero también hacen que se deterioren con una reacción oxidativa por presencia de oxígeno, luz, metales, etc. También contiene vitaminas entre las que resaltan la vitamina A y E, rica en potasio, hierro y magnesio; estas características hacen que el aceite de palta tenga un alto valor nutritivo.

Hoy en día se busca disponer de alimentos funcionales, alimentos funciones que se pueden obtener mediante la incorporación de aceites como el del olivo y la palta, las cuales son ricas en ácidos grasos insaturados que producen efectos benéficos al organismo. Estos aceites comestibles pueden ser obtenidos mediante diferentes métodos que incluyan procesos mecánicos y/o químicos. Estos aceites una vez extraídos son susceptibles a sufrir cambios o alteraciones como la hidrólisis, lo cual favorece la formación de ácidos grasos libres que se ve reflejado en el grado de acidez de los aceites, y la rancidez que es la alteración de las características sensoriales por efectos de factores externos que oxidan los ácidos grasos, estos factores son luz, oxígeno, y temperatura lo cual conduce a una rancidez oxidativa donde los ácidos grasos insaturados se transforman en peróxidos e hidroperóxidos los cuales son inestables dando origen a compuestos como cetonas y aldehídos provocando en el aceite cambios de sabor y olor.

Existen métodos químicos como son la incorporación de antioxidantes artificiales para evitar la oxidación del aceite, también hay métodos físicos entre ellos está la microencapsulación que nos permite proteger compuestos activos de factores externos, mediante el uso de materiales de materiales de pared. El método de microencapsulación es usado para disminuir la rancidez oxidativa de los aceites, siendo aplicado en aceites como el del pescado, olivo, semillas oleaginosas y aceites esenciales. Estos productos microencapsuladas pueden ser incorporados a los alimentos con la finalidad de otorgarles propiedades nutricionales.

La microencapsulación de compuestos activos puede realizarse por diferentes métodos, entre las cuales la más usada es el secado por aspersion, por su gran facilidad, además de ser un proceso que llevado a la industrialización tiene un bajo costo.

El Objetivo general de esta investigación fue optimizar el proceso de microencapsulación de aceite de palta por secado por aspersion mediante el método de superficie de respuesta. Esta optimización busco la maximización del rendimiento de

secado, análisis de humedad de las microcápsulas, maximizar la eficiencia de microencapsulación, minimizar la rancidez oxidativa del aceite de palta microencapsulado y se analizar el índice de acidez y tamaño de partícula para el tratamiento óptimo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Respecto al problema de investigación ya se trabajaron los siguientes autores: Bae y Lee (2008) quienes trabajaron con aceite de aguacate prensado en frío, microencapsularon mediante secado por pulverización usando proteína de suero solo o en combinación con maltodextrina. Los polvos obtenidos usando solamente proteína de suero eran esféricos y lisos. El aumento de la proporción de maltodextrina les dio como resultado una mayor densidad aparente y humectabilidad; Figueroa, Ceballos y Hurtado (2016) realizaron microencapsulado mediante secado por aspersion de aceite de mora. Extrajeron aceite a partir de semillas de mora empleando fluidos supercríticos y posteriormente se microencapsuló y se evaluó la influencia de diferentes condiciones de operación en el rendimiento, y la eficiencia del proceso. Se emplearon como materiales encapsulantes: masterdry, goma arábica y maltodextrina. Estudiaron el tamaño y morfología de las microcápsulas. La goma arábica resultó ser el mejor encapsulante entre los tres estudiados.; Cameiro, Tonon, Grosso, y Hubinger (2013) estudiaron la combinación de maltodextrina con diferentes materiales de la pared en la microencapsulación del aceite de linaza mediante secado por pulverización, para maximizar la eficiencia de encapsulación y minimizar la oxidación de los lípidos. La maltodextrina se mezcló con goma arábica, concentrado de proteína de suero o dos tipos de almidón modificado en una proporción de 25:75. Las emulsiones de alimentación utilizadas para la producción de partículas se caracterizaron por su estabilidad, viscosidad y tamaño de gota.

2.2 BASE TEÓRICA

2.2.1 LA PALTA, PRODUCCIÓN NACIONAL Y BENEFICIOS.

2.2.1.1 Origen

La palta conocida también como aguacate es un fruto nativo de América Central. Según William (1977) el árbol es originario de Mesoamérica situada en las zonas altas entre el Centro de México y Guatemala encontrándose fósiles de más 8000 años de antigüedad en la región de Tepexpán en México (Bernal y Diaz, 2008; Ministerio Agricultura y Riego Perú, 2015). Se cree que con el intercambio comercial entre las civilizaciones nativas llegó a Centroamérica donde fue adaptada y posteriormente expandida a Colombia Venezuela, Ecuador y Perú. Según el historiador Inca Garcilaso De La Vega el

origen de su nombre en Perú es ameritado a Túpac Inca Yupanqui quien en su camino a la provincia de Cahari conquistó una provincia llamada Palta, lugar de donde se llevó este fruto al Valle de Urubamba (Ministerio Agricultura y Riego Perú, 2015).

2.2.1.2 Clasificación taxonómica

La palta pertenece a la familia de las Lauráceas formada por 52 géneros y alrededor de 3500 especies entre las cuales se encuentran los Laureles, el Alcanfor y la Canela, que son los más antiguos y muy cultivados en la actualidad (Bernal y Diaz, 2008; Vélez, 2011). En la tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica de la palta.

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la palta

Reino	Vegetal
división	Spermatophyta
Subdivisión	Dicotiledóneo
Subclase	Dipétala
Orden	Ranales
Familia	Lauraceae
Género	<i>Persea</i>
Especie	<i>Persea Americana</i> <i>Miller</i>

Fuente: Vélez, E.M (2011)

2.2.1.3 Razas de palta

Botánicamente la palta se clasifica en tres grupos o razas: la raza antillana (*Persea americana* variedad *americana*); la raza mexicana (*Persea americana* variedad *drymifolia*) y la raza guatemalteca (*Persea nubigena* Variedad *guatemalensis*). La raza mexicana y guatemalteca se caracterizan por ser muy resistentes a temperatura bajas incluso pueden soportar heladas, mientras que la antillana, está adaptada solo a climas tropicales (Bernal y Diaz, 2008)

En la tabla 2 se pueden observar algunas de las características de las tres razas de palta. Actualmente se considera a las tres razas dentro de la especie *Persea americana* Miller (Ministerio Agricultura y Riego Perú, 2015).

Tabla 2. Características de las razas de aguacate

CARACTERÍSTICAS		MEXICANA <i>Persea americana</i> var. <i>drymifolia</i>	GUATEMALTECA <i>Persea nubigena</i> Var. <i>guatemalensis</i>	ANTILLANA <i>Persea americana</i> var. <i>americana</i>	
Adaptación (clima)		Frío	Frío moderado a medio	Cálido	
Temperatura mín. (°C)		-9	-4,5 a 6,0	-2,2 a 4,0	
Temperatura óptima.(°C)		8 a 15	12 a 22	22 a 8	
Origen		Tierras altas de México	Tierras altas de México y Guatemala	Tierras bajas de América Central y Suramérica.	
HOJAS	Olor a anís	Si	No	No	
	Color(verde)	Oscuro lustroso	Oscuro lustroso	Claro opaco	
	Tamaño	Pequeño	Variable	Variable	
	Peso (g)	25 a 250	200 a 1500	250 a 2500	
	Contenido de aceite (%)	30	18 a 20	5 a 15	
FRUTO	Grosor	Delgado	Grueso	Mediano	
	Tamaño (mm)	0,8	3,0 a 6,0	1,5 a 3,0	
	Cascara	Textura	Lisa	Áspera	Lisa
		Consistencia	Suave	Leñosa, quebradiza	Flexible
	Tamaño	Grande	Pequeña	Grande	
SEMILLA	Estado	Adherida o suelta	Adherida	Suelta	
Floración o maduración		5-6 a 8 meses	10 a 15 meses	9 a 11 meses	

Fuente: Bernal, J. y Díaz, C. (2008)

2.2.1.4 Híbridos de la palta

La palta es una planta que presenta alta polinización cruzada lo cual facilita a la obtención de especies híbridas, ya sea de forma natural o artificial. Estos híbridos nacen con la necesidad de mejoramiento de la palta siendo resultado del cruce de variedades de distintas razas, como los híbridos obtenidos del cruce de la raza mexicana y guatemalteca que combinan características de resistencia al frío y tamaño, y la guatemalteca con la antillana, lográndose obtener variedades con mayor adaptación que las progenitoras (Bernal y Díaz, 2008).

Algunos cultivos híbridos de la palta son: Sharwil, Ettinger, Hass, Fuerte y Ryan (mexicana-guatemalteca); Booth, Galo, Gema y Simpson (antillana-guatemalteca) (Bernal y Díaz, 2008). En el Perú las principales variedades cultivadas son de origen híbrido entre las cuales encontramos paltas de las variedades Hass, Fuerte, Gwen y Bacon (Ministerio Agricultura y Riego Perú, 2015).

a. Palta de la variedad fuerte

Esta variedad es resultado de la hibridación del cruce de un progenitor de raza guatemalteca y otra mexicana, siendo originaria de Puebla-México (Ministerio Agricultura y Riego Perú, 2015). Es resistente al frío y es una de las variedades más cultivadas en el mundo. Anteriormente en el Perú fue la variedad más cultivada siendo reemplazada por el cultivo de la variedad Hass.

Presenta un fruto periforme, de un tamaño mediano y peso promedio de 300 a 400, g, la calidad de la pulpa es buena y presenta consistencia carnosa, con un contenido de aceite de 18 a 24%. (Ministerio Agricultura y Riego Perú, 2015; Bernal y Díaz, 2008). Su cultivo no es muy recomendado en la región costa, mientras que en la sierra y selva, se pueden obtener muy buenas cosechas.



Figura 1: Palta de variedad Fuerte

2.2.1.5 Producción

En la Figura 2 tenemos la producción de palta en el Perú por regiones en el año 2007, observando que las regiones de Loreto y Lambayeque son las que tienen una alta producción con gran rendimiento.

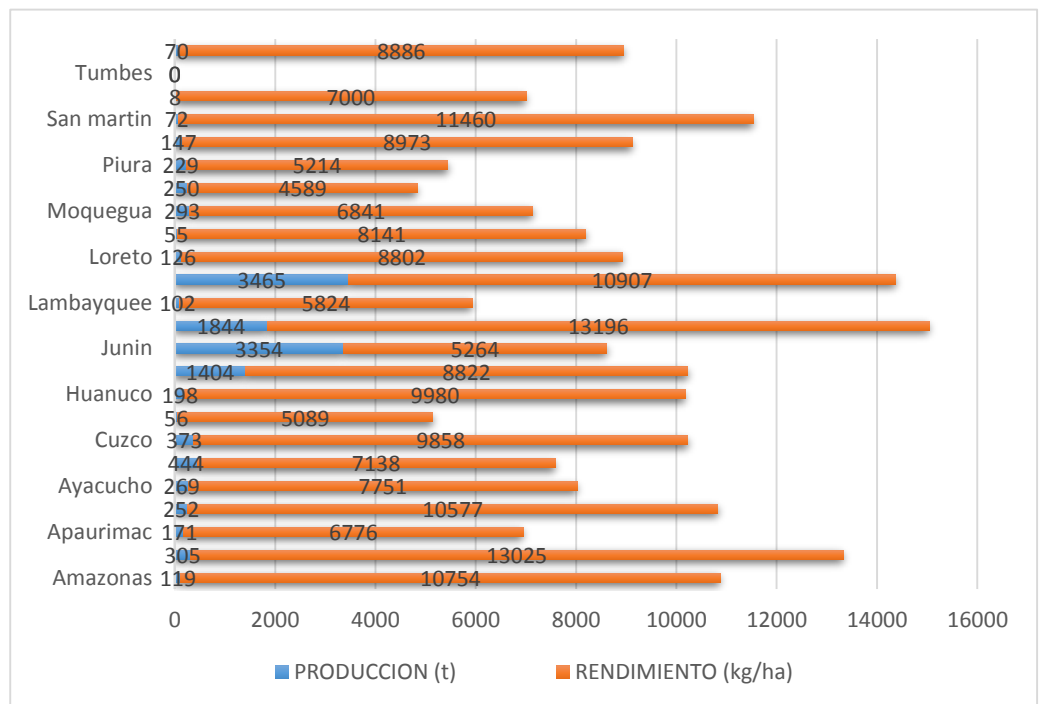


Figura 2: Producción y rendimiento en las regiones del Perú

Fuente: Ministerio de Agricultura-DGIA

En la figura 3 se presenta la evolución de la producción de palta en el Perú, que muestra un aumento de producción anual, alcanzando un valor de 65 587 toneladas producidas en el año 2016, mientras que para el año 2017 se vio un pequeño descenso.

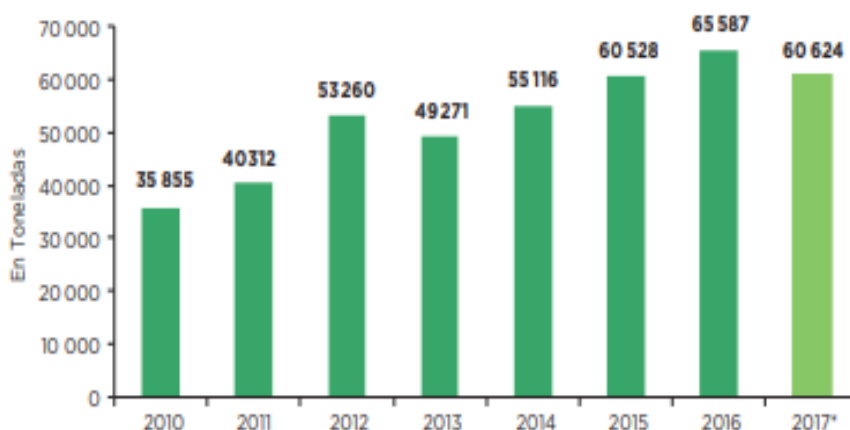


Figura 3: Evolución de la producción de la palta en el Perú (2010-2017)

Fuente Ministerio Agricultura y Riego Perú, 2015

Según cifras del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), “El Niño costero tuvo un impacto en la producción de paltas”.

2.2.1.6 Aceite de palta

La palta es uno de los frutos que posee un alto contenido de aceite, sus valores varían entre 15 y 19 %, logrando rendimiento de alrededor del 10% de la pulpa fresca.(Olaeta, 2003). Su aceite es muy rico en ácidos grasos insaturados, siendo el más representativo el ácido oleico conocido también como omega 9 presente en un porcentaje de hasta 80 %. Las propiedades del aceite se originan durante el crecimiento y maduración del fruto, además de verse influenciado por la época y lugar de cultivo, ya que se reportado que una misma variedad encontrándose en su estado madurez óptima puede entregar diferentes lecturas en cuando a composición y rendimiento. (Marcelo, 2011).

a. Beneficios del aceite de palta

Los ácidos grasos presentes en la palta facilitan la pérdida de peso, favorable para personas que tienen sobrepeso, también tienen la propiedad de una coagulación anormal de la sangre, alivia los síntomas del síndrome

premenstrual. Reducen la acumulación de lípidos en las paredes arteriales, disminuyen la presión arterial, intervienen en el mantenimiento y realización de la contracción cardíaca. Hacen que el colesterol malo (LDL) disminuya y el colesterol bueno (HDL) aumente. (Schaffer, Wolstenholme, y Whiley, 2013) (MINAGRI, 2015)

2.2.1.7 Calidad del aceite

Los criterios de calidad son parámetros que reflejan la buena praxis en el proceso de extracción del aceite virgen. Junto con la catación, dan su categoría al aceite virgen. Todos los tipos de aceites tienen para medir su calidad las siguientes pruebas fisicoquímicas: El Índice de Acidez (expresado como % de Ácido Oleico) durante el almacenamiento en los aceites y grasas comestibles evidencia un incremento en una primera etapa, como resultado de la actividad enzimática de las lipasas, hasta alcanzar un valor máximo, a partir del cual comienza a disminuir. Esta disminución pudiera ser explicada por el hecho de que los ácidos grasos libres hayan comenzado a oxidarse a compuestos oxigenados, como por ejemplos hidroperóxidos, por la acción de agentes químicos (oxígeno, temperatura, luz, trazas metálicas) o agentes bioquímicos (microorganismos, enzimas lipoxidasas) o la combinación de ambos, en función de las condiciones de almacenamiento y de la composición del aceite almacenado. (CODEX, 2015) (Strayer, Belcher, Fine, y Mcbrayer, 2006)

El índice de peróxido mide el grado de oxidación de un aceite, y se da cuando el oxígeno reacciona con los ácidos grasos insaturados, dando como producto primaria la formación de hidroperóxidos, los cuales dan lugar a la formación de productos secundarios como aldehídos, cetonas, hidrocarburos y epóxidos, resultando un aceite rancio de mal sabor y olor. (Strayer, Belcher, Fine, y Mcbrayer, 2006)

Se ha desarrollado una escala de calificación para medir la oxidación de los aceites. Los aceites frescos poseen un valor de índice de peróxido menor a 1, para aceites de uso industrial es 5, mientras que los aceites con un valor de 10 meq O₂/kg son considerados como rancios o de mala calidad (Manzocco, Calligaris, Anese, y Nicoli, 2016).

2.2.2 MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITES

La microencapsulación es definida como un proceso mediante el cual se aísla un compuesto de naturaleza sólida, líquida o gaseosa dentro de uno o más materiales de recubrimiento con el fin de otorgarles estabilidad protegiéndolos de reacciones provocadas por agentes externos que puedan conllevar a su deterioro.(Bakry *et al.*, 2016)(Parra, 2011).

Una microcápsula está formada por el material de núcleo o fase interna que es el compuesto bioactivo al cual se quiere proteger, y por el material de pared o cápsula que es el recubrimiento, el cual puede conformarse por la combinación de uno o más polímeros sean naturales o artificiales (Bakry *et al.*, 2016)(F. Gibbs, Selim Kermasha y Inteaz Al, 1999)(Islas, 2002).

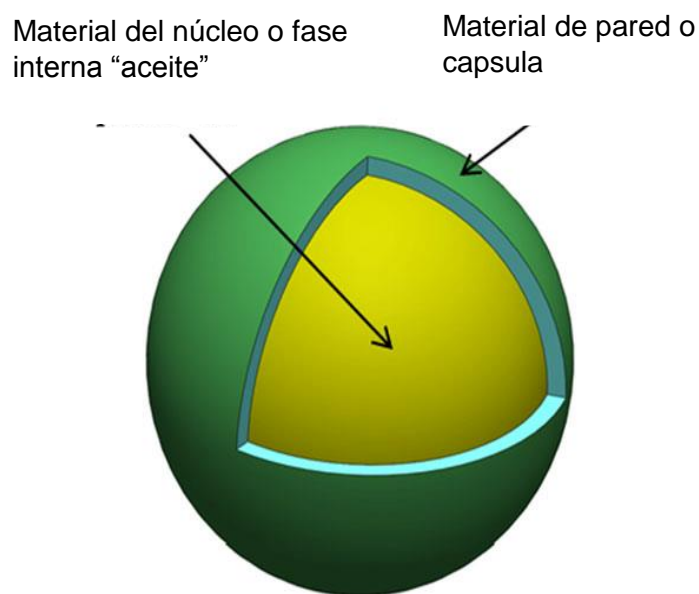


Figura 4: Composición de una microcápsula de aceite.

Fuente:(Bakry *et al.*, 2016)

En la industria alimentaria esta técnica es ampliamente aplicada para la microencapsulación de aceites esenciales y comestibles debido a que presentan alta inestabilidad y sensibilidad a factores ambientales tales como temperatura, luz, humedad y oxígeno. El uso de un material de pared bloqueará la interacción del compuesto bioactivo y estos factores adversos ayudando a preservar su estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento.(Parra, 2011; Paulo y

Santos, 2017). Otra de las ventajas es que ayuda a controlar la volatilidad, higroscopicidad y pérdida de sabor y permite una liberación controlada del compuesto activo bajo condiciones deseadas permitiendo un mejor manejo del mismo.(Parra, 2011).

2.2.2.1 Morfología de las microcápsulas

La microcápsula es una pequeña esfera, recubierta, este es una membrana continua, no tiene grietas ni fisuras. (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, y Saurel, 2007; Anandharamakrishnan y Padma , 2015). La microcápsula no debe tener rajaduras ni huecos, cuanto más irregular sea menor será su poder de protección al núcleo y esto generar degradación oxidativa o hidrolítica durante su almacenamiento. (Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014) en la figura 5 se muestra los tipos de microcápsulas. En la tabla 3 se muestra el tamaño de partícula. En investigaciones realizadas, analizaron la morfología en la encapsulación de aceite de sésamo, de la muestra óptima sus resultados fueron microcápsula irregulares sin rajaduras y de menos de 20 um. (Gibbs, Selim Kermasha y Inteaz Al, 1999). En una investigación de microencapsulación de aceite de linaza se probaron diferentes tipos de encapsulantes y basándose solo en la morfología los resultados esféricos con superficie lisa y sin grietas obtuvieron a partir de una mezcla de maltodextrina (MD) y almidón modificado (HI-cap) (Carneiro , Tonon , Grosso , y Hubinger, 2012).

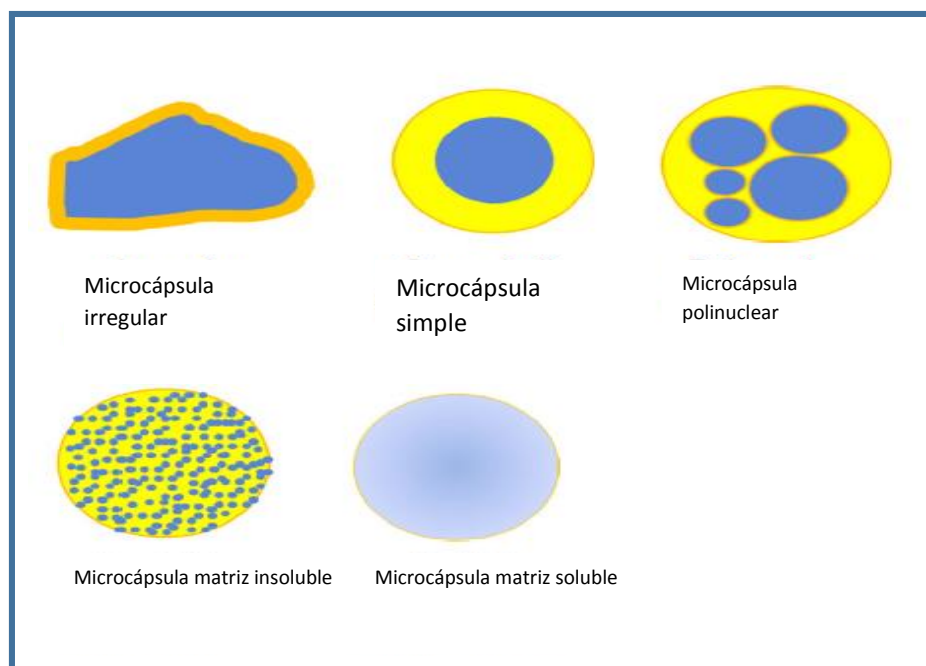


Figura 5: Tipos de microcápsulas Fuente: (Gibbs, Selim Kermasha, y Intez Al, 1999)

Tabla 3 Tamaño de partícula según el método de microencapsulación

Métodos de microencapsulación	Tamaño de microcápsula (μm)
Secado por aspersión	1-50
Secado por congelamiento	20-200
Extrusión	200-2000
Lecho fluidizado	>100
Coacervación simple	20-200
Coacervación compleja	5-200
Inclusión molecular	5-50

Fuente: Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014

El secado por atomización es conveniente para que la fase interna este protegido e influye en las propiedades fisicoquímicas del producto atomizado. (Anandharamakrishnan y Padma , 2015)

Depende también del tipo de microcápsula para la protección del núcleo ya sea para el oxígeno, presión, luz, calor y agua. (Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014; Hae Soo, 2014). En la tabla 4 se muestra el impacto que tiene.

Tabla 4 : Impacto de la morfología

MORFOLOGÍA DE LAS MICROCÁPSULAS Y SU IMPACTO					
Protección contra	Microcápsula irregular	Microcápsula simple	Microcápsula de pared múltiple	Matriz con pared insoluble	Matriz con pared soluble
Oxígeno	Favorable	Bueno	Excelente	Favorable	Escaso
Agua	Favorable	Bueno	Excelente	Favorable	Escaso
Presión	Excelente	Pobre	Favorable	Bueno	Excelente
Calor	Bueno	Favorable	Bueno	Pobre	Escaso
Luz	Excelente	Bueno	Bueno	Favorable	Escaso

Fuente: Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014

2.2.2.2 Métodos de microencapsulación

Los métodos para microencapsular el material del núcleo se clasifican en dos grupos: los métodos químicos y los mecánicos.(Madene, Jacquot, Scher, y Desobry, 2006). Los métodos mecánicos implican cambios físicos y hacen uso de la tecnología disponible para otorgar estabilidad a las microcápsulas, mientras que los procesos químicos implican reacciones de polimerización que pueden mejorarse con la variación de las condiciones de proceso. El tipo de método se empleará teniendo en cuenta las características físico-químicas del material de pared y núcleo a emplear, y el tamaño de microcápsula deseado tabla. (Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014) . Algunos de los métodos más empleados se listan en la tabla 5.

Tabla 5: Métodos de microencapsulación

Métodos de microencapsulación	
Métodos químicos	Métodos mecánicos
Coacervación simple	Secado por aspersión
Coacervación compleja	Secado por congelamiento
Inclusión molecular	Extrusión
Gelificación ionotrópica	Lecho fluidizado
Polimerización interfacial	Co-cristalización
Evaporación de solvente	Emulsificación
Atrapamiento de liposomas	Preparación de suspensión centrifuga
Inclusión compleja	
Electroinyección o técnica electrohidrodinámica.	

Fuente: (Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014)

La coacervación o separación de fases es considerada como el método que dio origen a la microencapsulación y el más ampliamente usado. Consiste en la separación de partículas de una solución coloidal las cuales luego se aglomerarán por separado para formar gotas pequeñas de un soluto rico en polímeros conocida como coacervado y una fase líquida conocida como medio de coacervación. (Bakry et al., 2016; Hae, 2014; Madene et al., 2006; Parra, 2011). El material de núcleo a encapsular debe de ser compatible con el coacervado e insoluble o poco soluble en el medio de coacervación (Madene et al., 2006)

Existen dos métodos de coacervación: una coacervación simple en la cual solo se hace uso de un solo polímero y una compleja cuando se usa más de un polímero. (Hae, 2014) pag. 138. Para la coacervación simple se tiene que hacer uso de un co-solvente que induzca la separación de fases (Parra, 2011), mientras que en una coacervación compleja puede usarse hidrocoloides o producir una pequeña variación del pH para la formación del coacervado (Bakry

et al., 2016). Los polímeros a usar en una coacervación compleja deben de ser de cargas opuestas.

En los últimos años la tecnología de fluidos supercríticos también es usada para microencapsular compuestos bioactivos. Esta tecnología hace uso del CO₂ como solvente, aprovechando sus características de gas y líquido al encontrarse en su punto crítico, además de no ser tóxico y es de fácil eliminación. (Bakry *et al.*, 2016) menciona que este método ha sido usado exitosamente para la microencapsulación de aceites esenciales, puesto que este método no los expone al oxígeno y no hace uso de altas temperaturas que puedan degradarlos.

a. Microencapsulación mediante secado por aspersion

De todos los métodos mencionados el secado por aspersion es el más usado en la industria alimentaria. Algunos de las ventajas de este método es que es económico y tecnológicamente disponible, es un proceso continuo e idóneo para compuestos sensibles al calor, y proporciona un eficiencia de microencapsulación relativamente alta en comparación con otro métodos. (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015 ;Gibbs, Selim Kermasha y Intez Al, 1999; Parra, 2011)

Por otro lado la microencapsulación mediante secado por aspersion produce partículas muy finas que si serán aplicadas en líquidos requerirán de un proceso adicional , como la aglomeración para mejorar sus propiedades de solubilidad, también presenta limitación en cuanto al tipo de materiales de pared a utilizar , ya que la mayoría de estos deben de ser solubles en agua (Bakry *et al.*, 2016). Otra desventaja es que el material de núcleo pueda quedar en la superficie de la capsula lo cual provocaría el proceso de oxidación (Madene *et al.*, 2006).

Este método se ha usado para microencapsular aceites esenciales para prevenir su volatilidad, aceites comestibles de origen animal como la del pescado y de origen vegetal procedentes del olivo, palma, palta, microalgas, albaca y semillas. (Bakry *et al.*, 2016), también microorganismos como Lactobacillus y Bifidobacterias para alargar su supervivencia en productos lácteos, enzimas como la quimosina, proteasas y lipasas para poder controlar su liberación, probióticos para mejor su viabilidad, pigmentos naturales como

carotenoides, antocianinas y licopeno en respuesta a la necesidad de consumir productos naturales y minerales (Parra, 2011)

Principio del secado por aspersión

El principio de secado por aspersión se basa en la dispersión de un sólido o líquido en una solvente que entra en contacto con un gas (generalmente aire) que se encuentre a una temperatura que sea capaz de evaporarlo, para la obtención de un material seco. Este proceso consta de tres pasos, el primero consiste en la preparación de la emulsión que contendrá el material de núcleo y al material de pared, el segundo es la atomización de la emulsión en la cámara de aspersión y por último se da el secado de las pequeñas gotas de la emulsión atomizada al entrar en contacto con el aire caliente (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015; Bakry et al., 2016; Madene et al., 2006)

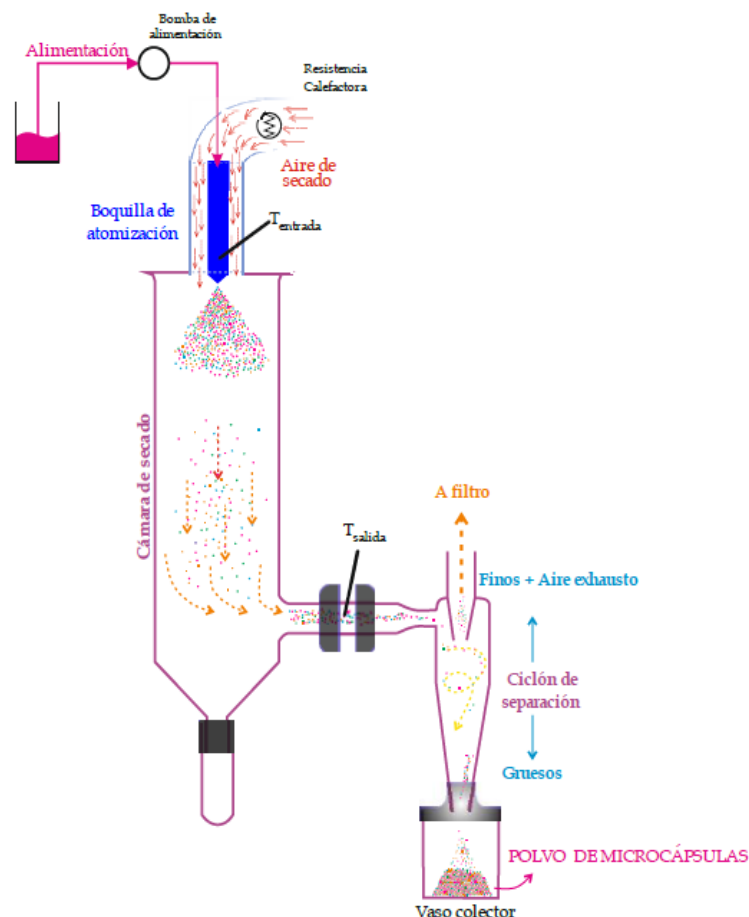


Figura 6: Proceso de microencapsulación mediante el secado por aspersión
Fuente: (Di, 2016)

En la figura 6 podemos observar que mediante una bomba de alimentación la emulsión es transportada hacia el atomizador, el cual la libera en forma de gotas muy pequeñas en el interior de la cámara de secado donde se pone en contacto con el aire caliente que evaporará el agua presente en las gotas, y que a la vez transportará las microcápsulas formadas hacia el ciclón de separación; las microcápsulas se depositan en el vaso recolector mientras que el aire exhausto cargado de partículas finas pasan a un filtro para luego ser liberado.

Por otro lado existen dos factores que influyen en la eficacia del proceso de microencapsulación que vienen a ser la preparación de la dispersión o emulsión y las condiciones de proceso de secado por aspersion.(Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh y Robert , 2014)

Preparación de la emulsión

Para poder microencapsular un compuesto bioactivo mediante el método de secado por aspersion lo primero que debemos de hacer es preparar una emulsión que contenga al material de núcleo. Una emulsión es la suspensión coloidal de un líquido (fase dispersa) en otro que sea inmiscible en él (fase continua), (McClements, 2005, pag. 19; Vaclavik y Christian, 2014, pag 311). Estos líquidos son generalmente aceite y agua de las cuales dependerá el tipo de emulsión a formar, dependiendo de cuál de ellos actúa como fase dispersa y continua. Se dice que una emulsión es de aceite en agua cuando la fase continua es el agua, y es de agua en aceite cuando fase continua es el aceite y la dispersa el agua. (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015) , además existen emulsiones múltiples de aceite en agua en aceite y agua en aceite en agua como se muestra en la figura 7.

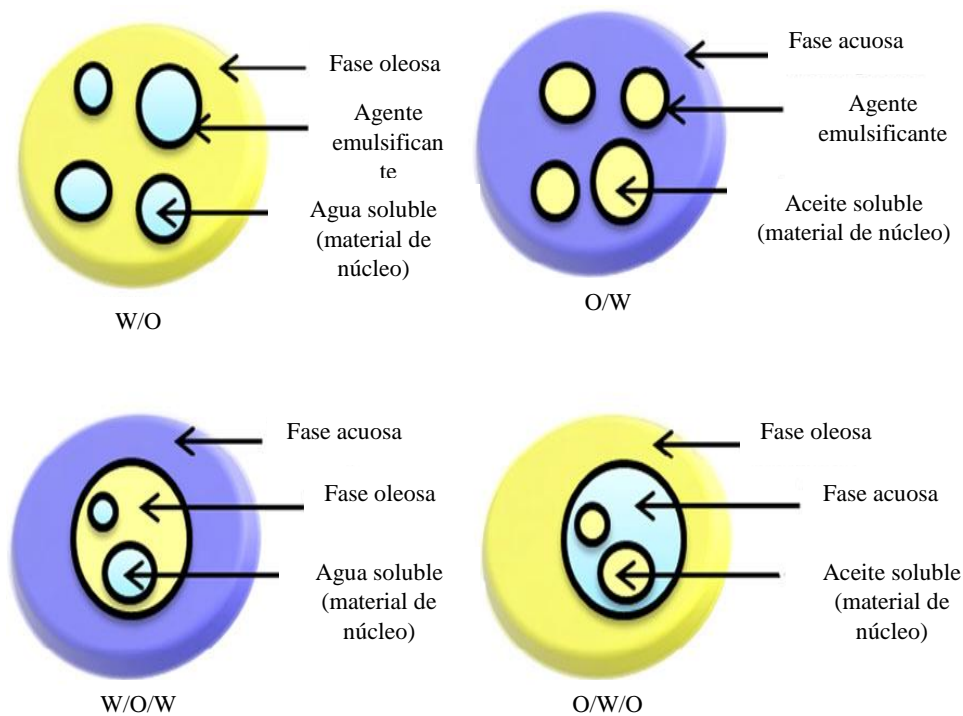


Figura 7: Ilustración de los 4 sistemas de emulsiones (W/O,O/W,W/O/W,O/W/O) Fuente:(Bakry *et al.*, 2016)

Es posible formar una emulsión con tan solo agua y aceite, pero que se volverán a separar con el tiempo, es por eso que una emulsión también debe de contar con un emulsionante o surfactante que recubra las gotas de emulsión y evite que estas se reagrupen entre sí (Vaclavik y Christian, 2014), por lo que para la formación de una emulsión se debe de considerar agua (fase acuosa), aceite (fase oleosa) y un emulsionante (materiales de pared).

Para la formación de una emulsión estable se tiene que dispersar el emulsionante en la fase continua (agua), luego al agregar el aceite, la tensión interfacial de ambos líquidos se verá reducido por la presencia de emulsionante. En necesario separa el aceite en gotas pequeñas y que permanezcan dispersas en el agua, para lo cual se necesitar un homogeneizador, el cual formará pequeñas gotas de aceite a las cuales se adsorberá el emulsificante (esto puede provocar que la viscosidad de la emulsión aumente), permitiendo la formación de más gotas a través de las cuales fluirá el agua formando la fase continua.(Vaclavik y Christian, 2014).

Son tres las características a considerar en la preparación de una emulsión que influyen en la eficacia del secado por aspersion: el contenido de sólidos totales, la viscosidad y el tamaño de microcápsula (Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014).

Si el tamaño de gota de la emulsión es inversamente proporcional a la estabilidad de la emulsión; es decir, Si el tamaño de gota es menor evita el rompimiento de la emulsión causada por la agregación de gotas.(McClements, 2005)

Un aumento en la concentración de sólidos de la emulsión aumenta la eficiencia de microencapsulación (Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014; Hae, 2014), pero puede aumentar su viscosidad lo cual pueden producir inclusiones de aire en el interior de las cápsulas, (Bakry *et al.*, 2016), además de no ser favorable durante su alimentación al atomizador. Una alta viscosidad también provoca la disminución de la velocidad de secado y microcápsulas de gran tamaño (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015)

Condiciones de operación

Los parámetros importantes a controlar son: Temperatura de entrada y salida del aire y velocidad del flujo de alimentación de la solución (Parra, 2011). La temperatura de salida del aire no puede ser controlada por lo que dependerá de la temperatura de entrada del aire y la velocidad del flujo de alimentación, mientras que la temperatura de salida está directamente relaciona con la humedad del producto obtenido.(Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015). p68-71. Una temperatura de entrada alta favorece el rendimiento de secado, pero podría provocar pérdidas degradativas del material de núcleo (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015) p24

2.2.2.3 Tipos de encapsulante

Los encapsulantes son aquellos que se convierten en el material de cubierta, que se encargan de proteger al núcleo. (Parra, 2011; Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, y Saurel, 2007).

En investigaciones de microencapsulación de aceite de sachainchi se observó que a medida que la proporción de maltodextrina aumentaba con relación a la goma arábica el tamaño del núcleo graso aumentaba. También se observa que la maltotextrina y la goma arábica se estabilizan al pasar 24 h. (Parra, 2011)

En la naturaleza encontramos muchísimas moléculas hidrofílicas e hidrofóbicas, e incluso algunas son mixtas y tienen una parte que se puede relacionar con el agua y otra que no. Los fosfolípidos que forman las membranas celulares y que se agrupan de forma que su parte hidrofílica esté en el exterior, en contacto con sustancias polares como el agua, y sus partes hidrofóbicas se encuentran en el interior agrupadas en torno a otras moléculas hidrofóbicas. El que una molécula sea hidrofílica o sea hidrofóbica dependerá básicamente de su carga o polaridad. El agua por ejemplo es un dipolo, es una molécula polar, tiene carga positiva y negativa y sólo se juntará con otras sustancias que tengan también carga. En cambio, las moléculas hidrofóbicas son apolares, o sea que no tienen carga, y por eso no se mezclan con moléculas polares como el agua. (Gaonkar, Niraj, Atul Ramesh , y Robert , 2014; Gibbs, Kermasha, Alli, y Mulligan, 1999; Parra, 2011). En la tabla 6 podemos observar los tipos de encapsulantes.

Tabla 6: Materiales de grado alimentario utilizados para la encapsulación

Clases de material	Tipos de materiales
Proteínas	Proteínas de la leche Proteínas de la soya Proteínas del huevo Proteínas del trigo Proteínas del maíz
Polisacáridos	Productos de almidón, maltodextrinas, dextrinas, almidón resistente, almidón modificado Gomas, agar, alginatos, carragenanos, pectina, carboximetilcelulosa, quitosano.
Lípidos	Aceites y grasa naturales Mono y diglicéridos Fosfolípidos Glicolípidos Ceras

Fuente: Tomado de (Agustín y Sanguansri, 2013)

a. Proteínas

Las propiedades funcionales de las proteínas hacen que la emulsión sea más estable por lo cual son una buena carcaza para las microcápsulas, es muy usada en la microencapsulación de aceites ya que posee la propiedad de ser anfóteras. Los más usados en investigaciones ha sido las proteínas de la leche. (Parra, 2011) (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley y Saurel, 2007),

La albúmina tiene carga eléctrica negativa. Existe tipos de albumina seroalbúmina es la proteína del suero sanguíneo, ovoalbúmina es la albúmina de la clara del huevo, lactoalbúmina es la albúmina de la leche. (Rosenoer, Oratz, y Rothschild, 1977). En investigaciones sobre el encapsulado de aceite esencial clavo de olor han usado lactosuero y maltodextrina. (Hernández, 2011)

b. Polisacáridos

Entre los más usados es la maltodextrina ya que tiene un costo bajo, su uso en altas concentraciones en el microencapsulado da más vida útil a los aceites comestible, estos son elaborados por hidrólisis ácida o enzimática de los almidones, también es incolora, inodora son compuestos hidrofílicos tiene poca afinidad con compuestos hidrofóbicos. (Gibbs, Kermasha, Alli, y Mulligan, 1999; Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, y Saurel, 2007; Parra, 2011). En la mayoría de investigaciones han hecho uso de la maltodextrina por su costo y su eficiencia pero mezclándolo goma arábica, lactosuero, almidón modificado HI-cap. (Paulo y Santos, 2017; Hernández, 2011)

2.2.2.4 Método de extracción de aceites comestibles por fluido supercrítico

Entre los métodos de extracción de aceites comestibles tenemos por solventes, este método deja residuos químicos como el hexano, éter de petróleo que son los solventes más usados. Podemos encontrar los siguientes sistemas de extracción: Tubo bult, extracción soxhlet, extracción por inmersión, extracción por troeng y extracción por fluidos supercríticos (Mossoba, 2015)

El método más antiguo y usado en la actualidad con modificaciones es la extracción en frío también conocida como la extracción por prensado, existe una

variedad de equipos pero que todas cumplen la función de ejercer presión para que el aceite salga de su membrana que lo protege. Para la aplicación de este método, la materia prima debe ser acondicionada, esto quiere decir que debe de estar triturada o que tenga un tamaño de partículas menores a 1 ml para que tenga más rendimiento. Este método a comparación de los otro, su rendimiento es bajo. (Mossoba, 2015)

También tenemos extracción con fluidos supercríticos, este método utiliza sustancias que a condiciones de temperatura y presión se convierten en disolventes (Rozzi y Singh, 2002). En la figura 8 tenemos el punto crítico del CO₂, en este punto la sustancia se comporta como gas para que tenga mayor fluidez y como líquido para que se comporte como un solvente. (Mossoba, 2015)

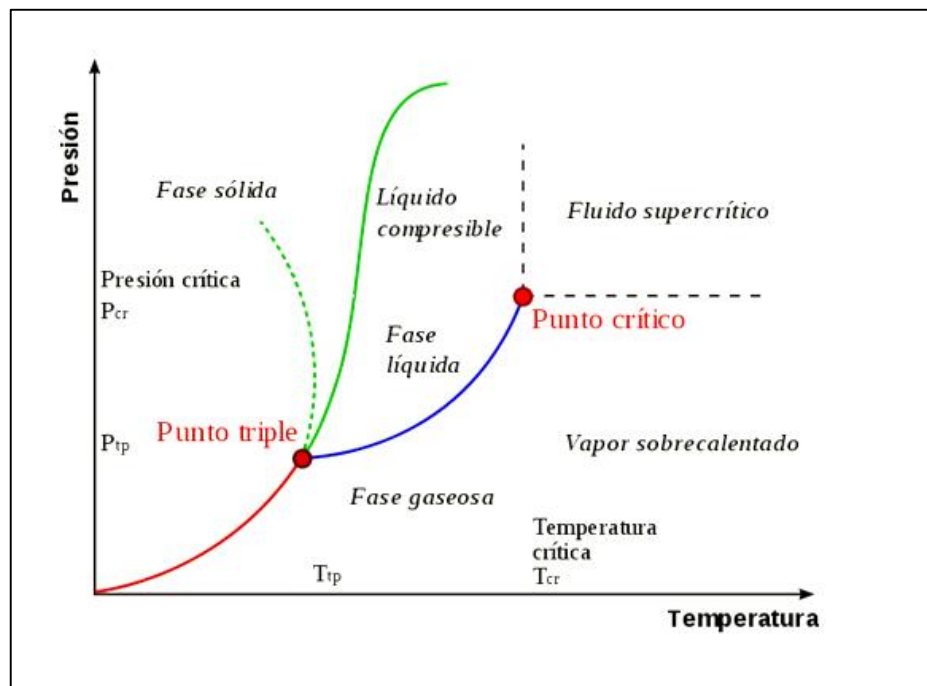


Figura 8: Punto supercrítico de los fluidos. Fuente: (Parra, 2011)

Hay una variedad de sustancias usadas para la extracción por fluido supercrítico (Parra, 2011)

Los fluidos supercríticos tienen coeficiente de difusión y la viscosidad más baja que los líquidos, al no tener tensión superficial ingresa con facilidad a los poros y mejora su extracción, es un buen selecto durante la extracción, se controla temperaturas y presiones, este método deja residuos químicos, permite el reciclaje del gas usado en la extracción, el gas más usado es el CO₂ supercrítico

a temperatura alrededor de 304°K y presión de 7 MPa este gas se parece a las propiedades del solvente hexano y actúa como un solvente polar. (Sapkale, Patil, Surwase y Bhatbhage, 2000) (Rozzi y Singh, 2002)

2.2.2.5 Superficie de respuesta

En 1971 Box y Wilson expusieron los conceptos de Superficie de Respuesta. La Superficie de Respuesta (RSM), es una metodología que modelan y analizan, que usa técnicas matemáticas en los tratamientos que realiza en la investigación, en la respuesta de interés es dependiente de otros factores. Esta técnica da valores razonables de la variable respuesta, y determinar el modelo matemático y obtener los valores de los factores independientes que optimizan el valor de la variable respuesta.(Carvajal, 2013; Parra, 2011)

Se le conoce como factores, a las condiciones del proceso que influyen en la variable respuesta, estos pueden ser cuantitativos o cualitativos. A la variable respuesta es una cantidad medible que es afectado por condiciones del investigador. (Myers, Montgomery, y Anderson-Cook, 2009)

En el Método de las Superficies de Respuestas se obtiene una curva a la cual se llamará también superficie a través de los puntos y de la utilización de una función de regresión o función base. La función base generalmente es un polinomio de primer orden o segundo orden o está compuesta por términos que son funciones trigonométricas (Carvajal, 2013). Los coeficientes de la función base pueden ser estimados con una regresión matemática, utilizando el método de los mínimos cuadrados. El modelo empírico resultante es llamado Superficie de Respuesta. Un experimento consiste en elegir ciertas unidades experimentales, seleccionar los valores de los factores en distintos niveles y registrar el valor de la variable de respuesta.(Myers *et al.*, 2009)(Carvajal, 2013)

Los diseños experimentales más usados son Box Benhken y Central Compuesto (CCD).(Parra, 2011). Los tratamientos dictados por el esquema experimental, los cuales son representados mediante una matriz de diseño $X_n \times X_p$ donde p es el número de parámetros a estimar, son aplicados a igual número de unidades experimentales. En MSR cada una de las respuestas, Y_i , $i = 1, 2, \dots, r$, de interés se supone que pueden ser escritas en función de las k variables, de la siguiente manera $y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) + \epsilon_i$, donde la función que modela esta relación está dada, generalmente por polinomios de primer y segundo orden (Carvajal, 2013)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación fue desarrollada en la estación experimental del Mantaro en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, con ubicación de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

3.2 MATERIA PRIMA

Palta de la variedad Fuerte adquirida del sector de Charsagua (altitud 1431 msnm) del Distrito de Moquegua Provincia de Mariscal Nieto del Departamento de Moquegua.

3.3 REACTIVOS

- ✓ Ácido acético, pureza 99.8 %, grado analítico.
- ✓ Cloroformo, grado analítico.
- ✓ Yoduro de potasio, grado analítico.
- ✓ Almidón soluble, grado síntesis, Merck.
- ✓ Hexano, grado analítico
- ✓ Tiosulfato de sodio, grado analítico, Merck

3.4 EQUIPOS Y MATERIALES

3.4.1 Equipos

- ✓ Liofilizador, Manufacturer Price Freeze Liofilizador Dryer, mpdeloBDF-86V58
- ✓ Atomizador, Mini Spray Dryer, modelo B-290
- ✓ Equipo de Extracción Supercrítico, Aplied Separations, Spe-Ed SFE Basic.
- ✓ Congelador, CFC FREE Biobase, modelo BDF- 86V58
- ✓ Agitador magnético, VELP, Modelo 20500011
- ✓ Balanza analítica, OAHUS, modelo DV215CD
- ✓ Equipo Soxhlet,
- ✓ Bomba de vacío, senna, modelo 3-20924
- ✓ Cocinilla eléctrica.

3.4.2 Materiales

- ✓ Bureta 10 mL
- ✓ Embudo Büchner
- ✓ Campana de desecación
- ✓ Frascos ámbar (50 mL).
- ✓ Espátula de metal
- ✓ Pipetas de 1, 5,10 mL

3.5 MÉTODOS

3.5.1 Extracción del aceite de palta

Para la extracción se empleó el método de extracción por CO₂ supercrítico. Las paltas fueron previamente liofilizadas en láminas delgadas por 30 h, luego se molieron 25 g de palta seca para colocarlas en el tubo de extracción. La extracción se realizó a una temperatura de 40 °C y 400 bares de presión.

El aceite obtenido fue almacenado en frascos de color ámbar para su posterior uso.

3.5.2 Preparación de la emulsión

Se preparó soluciones encapsulantes con 20 % de sólidos utilizando maltodextrina y albúmina de huevo como materiales de pared. Primero se disolvió la albumina de huevo con el 50 % del agua destilada en un agitador a 1100 RPM durante 30 min, luego se le agrego la maltodextrina y el agua restante, y se llevó a agitación por 30 min para finalmente añadir el aceite en una proporción de 50% respecto al contenido del material de pared.

Para la preparación de 70 ± 0.2 g de emulsión, se pesaron 49 ± 0.2 g de agua destilada, 7 ± 0.2 g de aceite y 14 ± 0.2 g de material de pared.

3.5.3 Obtención de las microcápsulas mediante el secado por aspersión

Las emulsiones preparadas se secaron en un atomizador Mini Spray Dryer B-290 de la marca BUCHI. Fueron alimentadas a una velocidad constante de 10 ml/min a tres temperaturas de entrada de aire de secado de 130,140 y 150 °C ± 5 °C. Las microcápsulas obtenidas fueron almacenadas en bolsas herméticas

de polietileno y guardadas en una campana de desecación para su posterior análisis.

3.5.4 Contenido de aceite total

El contenido de aceite total se determinó por el método de extracción Soxhlet. Se pesaron 2 gramos de microcápsulas a las cuales se les extrajo el aceite empleando hexano como disolvente de extracción por un tiempo de 6 h. El disolvente residual se eliminó en una estufa a 70 °C. El aceite obtenido después de la evaporación fue pesado y tomando como contenido de aceite total de las microcápsulas.

3.5.5 Contenido de aceite superficial

El contenido de aceite superficial se calculó mediante el método descrito por Bae E. y Lee S. (2008) con algunas modificaciones. Se pesaron 2 gramos de microcápsulas a las cuales se le añadió 15 ml de hexano y se agito lentamente por 1 min (cuidando de que las microcápsulas no se rompan). La mezcla disolvente se filtró a través de un papel filtro Whatman N° 1. Las microcápsulas obtenidas en el papel filtro se secaron en una estufa a 70°C para eliminar el disolvente residual. El contenido de aceite superficial se calculó por diferencia de peso de las microcápsulas antes y después del lavado con hexano.

3.5.6 Eficiencia de microencapsulación

La eficiencia de microencapsulación se determinó en base al contenido de aceite total y superficial presente en la microcápsula mediante la siguiente relación.

$$EM(\%) = \frac{AT - AS}{AT} \times 100$$

Donde:

EM (%): Eficiencia de microencapsulación en porcentaje en masa.

AT: Aceite total presente en la microcápsula (g).

AS: Aceite superficial presente en la microcápsula (g).

3.5.7 Rendimiento de secado

El rendimiento de microencapsulación se determinó en base al contenido de sólidos de la emulsión y el peso de microcápsulas obtenidas.

$$RM(\%) = \frac{P}{ST} \times 100$$

Donde:

RM (%): Rendimiento de microencapsulación en porcentaje en masa.

P: Peso de las microcápsulas obtenidas (g).

ST: Sólidos totales presentes en la emulsión. (g)

3.5.8 Humedad de las microcápsulas

La humedad de las microcápsulas se determinó mediante el método AOAC 950.46 (2005). Se pesó 2 gramos de microcápsulas y fueron secadas en una estufa a 105 °C por un tiempo de 3 h. Las muestras se retiraron de la estufa, se enfriaron en una campana de desecación y se registraron los pesos. El análisis fue realizado por duplicado.

$$H(\%) = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} \times 100$$

Donde:

H (%): Humedad en porcentaje de masa.

M1: Masa de la placa vacía.

M2: Masa de la placa más las microcápsulas antes de secar (g).

M3: Masa de la placa más las microcápsulas después del secado (g).

3.5.9 Índice de peróxido de las microcápsula

Las microcápsulas fueron almacenadas en bolsas herméticas de polietileno expuestas al medio ambiente durante 1 mes. Se fue extrayendo 10 g de

microcápsulas cada 15 días para su análisis. Primero se extrajo el aceite de las microcápsulas por CO₂ supercrítico. El índice de peróxido (IP) del aceite fue determinado por el método AOAC 965.33 (2005) con algunas modificaciones. Se colocó 1g de aceite extraído en un matraz, al cual se le añadió 7.5 ml solución de ácido acético y cloroformo (3:2), y 0.5 ml de solución de yoduro de potasio saturado, se llevó el matraz a un ambiente oscuro por 1 min y luego se le añadió 0.5ml de solución de almidón al 1% como indicador y se tituló con una solución de tiosulfato de sodio. Simultáneamente se realizó una muestra en blanco en donde en vez de aceite este se reemplazó por agua. Se anotaron los gastos. El IP del aceite se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{S \times M \times 1000}{m}$$

Donde:

IP: Índice de peróxido en miliequivalente de peróxido/ kg aceite

S: Gasto de tiosulfato de sodio en mL.

M: Molaridad de la solución de tiosulfato de sodio

m: Muestra en polvo seca en g.

3.5.10 Índice de acidez

El método AOAC 940.28 tienen otras variaciones que también son aplicables para medir el índice de acidez. Se Pesó la muestra de aceite en un matraz de 250 ml, se adicionó 50 ml de etanol previamente neutralizado con una base, este debe quedar con una coloración rosa débil antes de añadir al matraz, añadir fenoftaleína al 1 % en alcohol de 95% y titular con hidróxido de sodio al 0.1 N. La constante 1.99 es el factor para pasar de porcentaje a contenido de ácido que predomina en el aceite de palta.

$$IA = \frac{G \times N \times 1.99}{m}$$

G: Gasto

N: Normalidad del hidróxido de Sodio

m: Peso de la muestra peso

3.5.11 Diseño experimental

Diseño Compuesto Central (CCD)

El diseño CCD contemplo 2 factores o variables independientes y 3 niveles, para la construcción de modelos polinómicos de segundo orden, y el análisis de su superficie de respuesta para su optimización.

En la Tabla 7 se muestran los factores (variables independientes) y sus respectivos niveles propuestos, estos fueron la proporción de Maltodextrina y albumina (%) y temperatura de aire de entrada (°C)

Tabla 7: Factores y niveles del diseño CCD

Variables independientes	Nivel de las variables		
	-1	0	+1
X_1 : Temperatura de entrada de aire de secado (° C)	130	140	150
X_2 : Proporción de maltodextrina-albúmina como microencapsulantes (%)	20:80	50:50	80:20

Las respuestas (variables dependientes) analizadas fueron el rendimiento de secado (%), la humedad de las microcápsulas (%), eficiencia de microencapsulación (%) y el Índice de peróxidos del aceite microencapsulado (meq O₂/kg de aceite). En la Tabla 8 se muestran las respuestas analizadas, y el objetivo de optimización de cada una.

Tabla 8: Variables dependientes analizadas con el diseño CCD

Variables dependientes	Unidades	Optimo
Y ₁ :Humedad (H)	%	-
Y ₂ :Rendimiento de secado (R)	%	Máximo
Y ₃ :Eficiencia de microencapsulación (E)	%	Máximo
Y ₄ :Índice de peróxido	meq O2/kg	Mínimo

La relación entre los factores y las variables respuesta se calculará mediante el siguiente polinomio de segundo orden

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} X_j^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} X_i X_j$$

Donde:

Y: Variables respuesta.

β_0 : Constante.

β_j : Coeficiente lineal.

β_{jj} : Coeficiente cuadrado

β_{ij} : Coeficiente del producto cruzado.

k: Número de los factores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la optimización del proceso de microencapsulación de aceite de palta. Se realizaron trece tratamientos, teniendo como factores a la temperatura de entrada de aire de secado (°C), con valores de 130, 140 y 150 °C; y la proporción Maltodextrina: Albumina (%) de 1:1,1:4 y 4:1, en relación al 100 % del material de pared.

4.1 Maximización del rendimiento de secado

La tabla 9 nos muestra los resultados de los rendimientos de secado obtenidos para cada tratamiento, expresado en porcentajes que estuvieron comprendidas entre valores de 27.77% a 36.54 %.

Tabla 9: Resultados del rendimiento de microencapsulación obtenidos para cada tratamiento

FACTORES			RESPUESTA
N°	Temperatura (° C)	Concentración M:Al (%)	Rendimiento (%)
1	150	50:50	32,8571
2	150	80:20	34,0476
3	140	50:50	30,7938
4	140	50:50	30,7936
5	140	50:50	30,9524
6	130	50:50	27,7776
7	140	50:50	34,0451
8	140	80;20	36,5477
9	140	50:50	34,5081
10	140	20:80	34,6826
11	130	20:80	30,5557
12	130	80:20	34,6824
13	150	20:80	33,6510

Cabe resaltar que los análisis de cada respuesta se realizaron por duplicado, para garantizar que no exista falta de ajuste entre los factores y respuestas estudiadas.

La ecuación 1 muestra el modelo cuadrático ajustado para el rendimiento de secado. La tabla 10 nos muestra que el valor p de modelo fue de 0,0615, el cual fue obtenido con un coeficiente de determinación R^2 de 0,7213 sin presentar falta de ajuste ($p_{LOF} = 0,7124$). Esto nos indicó que el rendimiento de secado no se ve afectado significativamente por la temperatura de secado ni la proporción MD:AI, tanto en sus términos lineales como su interacción. Figueroa y Ceballos (2016) también encontraron que la temperatura de secado no afecta significativamente el rendimiento de microencapsulación de aceite de mora, usando maltodextrina como encapsulante.

Por otro lado la proporción MD: AI en su término cuadrático, fue significativo como se observa en los datos reportados en la tabla 10. Sin embargo, el modelo es adecuado para representar los datos experimentales.

$$R = -418,08302 + 6,25298 X_1 + 0,11901 X_2 - 3,10842 \times 10^{-3} X_1 X_2 - 0,021328 X_1^2 + 3,51662 \times 10^{-3} X_2^2 \quad (1)$$

Tabla 10: Análisis de varianza- Rendimiento de secado

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Valor F	Valor p	
Regresión	50,20	5	10,04	3,62	0,0615	No Significativo
X_1	9,48	1	9,48	3,42	0,1069	
X_2	6,80	1	6,80	2,46	0,1611	
$X_1 X_2$	3,48	1	3,48	1,26	0,2995	
X_1^2	12,56	1	12,56	4,54	0,0707	
X_2^2	27,67	1	27,67	9,99	0,0159	
Error residual	19,39	7	2,77			
Falta de ajuste	5,15	3	1,72	0,48	0,7124	No Significativo
Error puro	14,24	4	3,56			
Total	69,59	12				

R^2	0,7213
R^2_{ajuste}	0,5223
$R^2_{predicho}$	-0,0446

Los valores de R^2 predicho y R^2 ajustado mostrados en la tabla 10 fueron -0.0446 y 0.5223 respectivamente. El valor del R^2 ajustado nos indica que el modelo ajustado explica el 52.23 % de la variabilidad de la respuesta y el valor negativo del R^2 predicho implica que la media general es mejor predictor para el rendimiento de secado que la ecuación presentada. El análisis de residuos (diferencia entre los valores ajustados de cada respuesta y los valores obtenidos) nos indica la bondad de ajuste del modelo que implica una suposición de distribución normal, mientras la falta de un patrón definido en las gráficas de representación de los residuos contra el número de corridas y valor ajustados fortalece la hipótesis de idoneidad del modelo. En el anexo 2 se muestran los criterios de evaluación de ajuste, donde la relación entre los valores predichos y los valores experimentales obtenidos presentaron una distribución normal (anexo 2.a), de igual manera los residuos entre los valores reales y predichos tuvieron una relación normal (anexo 2.b), por otro lado la relación de los residuos contra el número de corrida (anexo 2.c) y contra los valores predichos (anexo 2.d) no presentaron un patrón definido, ratificando el ajuste de los datos experimentales al modelo propuesto.

La figura 9 muestra la superficie de respuesta para el rendimiento de secado, donde se puede observar que el rendimiento de secado no aumenta considerablemente con la variación de proporción de materiales de pared ni con el incremento de la temperatura de secado, alcanzando su valor más alto de 36,54 % a una temperatura de 140 °C. Si la temperatura de secado es insuficiente, el agua presente en las gotas atomizadas no podrá ser evaporada completamente, por lo que estas tienden a pegarse en las paredes de la cámara de secado. Resultados similares fueron reportados por (Kha, Nguyen, Roach, & Stathopoulos, 2014), quienes obtuvieron un mayor rendimiento de secado con el aumento de la temperatura siendo este de 65,32% a una temperatura de 162 °C y con valor mínimo de 44,13 % a 148 °C, pudiendo observar que existe una diferencia mínima entre los valores en cuanto a temperatura y rendimientos.

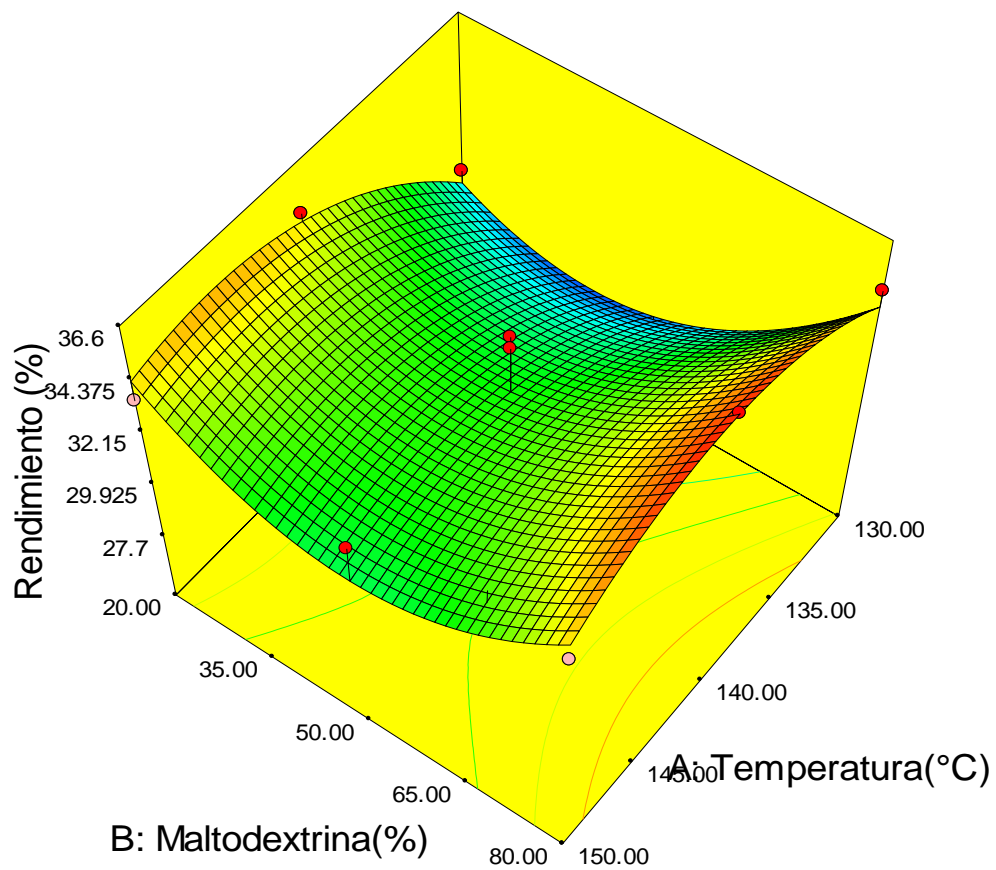


Figura 9: Superficie de respuesta para el rendimiento de secado

Se pudo observar que el efecto de la proporción de materiales de pared y la temperatura son insignificantes sobre el rendimiento de secado, sin embargo, los resultados obtenidos ayudaron a optimizar el proceso.

4.2 Humedad de las microcápsulas

En la tabla 11 se muestran los valores de los porcentajes de humedad obtenidas para cada tratamiento. El contenido de humedad de las microcápsulas estuvo comprendido en un rango de 1.51% a 2.66 % a temperaturas de 150 y 130 °C respectivamente.

Tabla 11: Valores de la humedad de las microcápsulas obtenidas para cada tratamiento

FACTORES			RESPUESTA
N°	Temperatura (° C)	Concentración MD:Al (%)	Humedad (%)
1	150	50:50	1,9385
2	150	80:20	1,5175
3	140	50:50	2,2850
4	140	50:50	2,2885
5	140	50:50	2,2830
6	130	50:50	2,3925
7	140	50:50	2,2865
8	140	80;20	1,8045
9	140	50:50	2,3015
10	140	20:80	2,6450
11	130	20:80	2,6635
12	130	80:20	2,1850
13	150	20:80	2,0075

A continuación, se muestra el modelo cuadrático ajustado para la humedad de las microcápsulas en función a los factores estudiados y sus interacciones representados por la ecuación 2.

$$H = -18.25697 + 0.32715 X_1 - 1.15278 \times 10^{-3} X_2 - 9.58333 \times 10^{-6} X_1 X_2 - 1.27250 \times 10^{-3} X_1^2 - 7.55556 \times 10^{-5} X_2^2 \quad (2)$$

Observando el análisis de Varianza de la Tabla 12 podemos observar que los efectos de los factores Temperatura (X_1) y Proporción MD:Al (X_2) afectan significativamente a la humedad ya que el valor p del modelo fue inferior a 5% con un R^2 de 0,9532, esto nos indica que existe una correlación estadísticamente significativa entre las variables. Sin embargo el valor p del modelo de falta de ajuste fue inferior a 0.05, lo que indico que la falta de ajuste fue significativa, esto quiere decir que el modelo presentado no es apropiado para ajustar los datos experimentales obtenidos. De la misma manera las gráficas mostradas en el anexo 3 muestra la falta de ajuste ya que la relación entre valores experimentales contra

los predichos (Anexo 3,a) y la probabilidad normal de sus residuos no presentaron una distribución normal.

Tabla 12: Análisis de varianza - humedad de las microcápsulas.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Valor F	Valor p	
Regresión	1,16	5	0,23	28,53	0,0002	Significativo
X_1	0,53	1	0,53	64,73	< 0,0001	
X_2	0,55	1	0,55	67,04	< 0,0001	
$X_1.X_2$	$3,306 \times 10^{-5}$	1	$3,306 \times 10^{-5}$	$4,064 \times 10^{-3}$	0,9510	
X_1^2	0,045	1	0,045	5,50	0,0515	
X_2^2	0,013	1	0,013	1,57	0,0505	
Error residual	0,057	7	$8,136 \times 10^{-3}$			
Falta de ajuste	0,057	3	0,019	352,34	< 0,0001	Significativo
Error puro	$2,147 \times 10^{-4}$	4	$5,367 \times 10^{-5}$			
Total	1,22	12				

R^2	0,9532
R^2_{ajuste}	0,9198
$R^2_{predicho}$	0,5254

Es conocido que a altas temperaturas de secado el agua presente en las pequeñas gotas atomizadas se evaporará más rápido que a bajas temperaturas, permitiéndonos obtener microcápsulas con menor contenido de agua residual. Esto se ve evidenciado en la figura 10 que muestra la superficie de respuesta ajustada para la humedad de las microcápsulas en función de los factores. Se puede observar que a medida que la proporción de maltodextrina presente en la emulsión disminuye (el porcentaje restante en base al 100 % fue de Albumina), el contenido de humedad de las microcápsulas se incrementa. (Böger, Georgetti, & Kurozawa, 2018), reportaron que al microencapsular aceite de la semillas de uva con goma arábica, obtuvieron microcápsulas con mayor humedad que las microencapsuladas con goma arábica y maltodextrina.

De igual manera el contenido de humedad se ve incrementado al disminuir la temperatura de secado. Esto también se ve evidenciado en el análisis de varianza (Tabla 10), ya que el efecto de la temperatura y proporción de MD:Al en su término lineal influyeron significativamente en el contenido de humedad de las microcápsulas. En el caso del efecto cuadrático de ambos factores ($P_{X1} = 0,0515$ y $(p_{X2} = 0,2505)$ y su interacción ($p = 0,9510$) estos no fueron significativos.

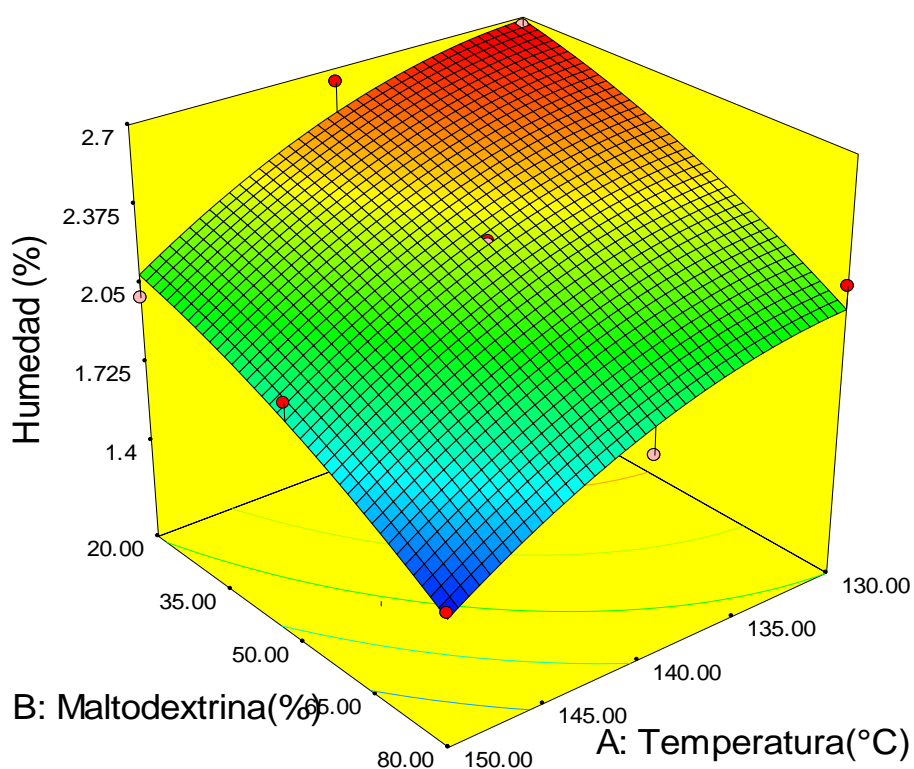


Figura 10: Superficie de repuesta para la humedad de las microcápsulas.

Cuaspu, (2015) obtuvo efectos similares de la temperatura de secado sobre la humedad de microcápsulas de aceite de palta, observando que el factor más influyente en la humedad de las microcápsulas fue la temperatura, obteniendo microcápsulas con valores de humedad entre 0,8 % y 1,67 % correspondientes a temperaturas de 180 y 150 °C respectivamente. De igual manera (Bae y Lee, 2008), obtuvieron valores de humedad comprendidos entre 2,24 – 2,89 %, en la microencapsulación de aceite de palta usando maltodextrina y proteína de suero de leche como encapsulantes.

Los valores de humedad de microcápsulas no se ajustaron adecuadamente al modelo planteado. Además, el valor de R^2 predicho fue de 0,5254, un valor bajo que indica que el modelo también contiene términos insignificantes que lo vuelven ineficiente, Para mejorar el ajuste de los datos al modelo se tendrían que eliminar algunos de los termino insignificantes para así disminuir la diferencia entre el valor de R^2 y R^2 predicho. Sin embargo, las humedades obtenidas fueron bajas, lo cual no representó influencia algunos para las demás respuestas, por lo que no se enfatizó en la búsqueda de un modelo y su optimización ya que las microcápsulas con humedades inferiores pueden presentar higroscopicidad mientras que microcápsulas con altas humedades pueden disminuir la vida útil de las mismas, haciéndolas propensas para el desarrollo de hongos.

4.3 Maximización de la eficiencia de microencapsulación (EE)

Las cantidades de aceite total y aceite superficial de las microcápsulas fueron calculadas, ya que fueron determinantes para conocer la eficiencia de microencapsulación, estos valores se encuentran reportados en el anexo 1. Una vez obtenidos los valores se calculó la eficiencia de microencapsulación para cada tratamiento los cuales se detallan en la tabla 13, donde se observa que los valores obtenidos se encuentran comprendidos entre 20,29 % y 67,43 %.

Tabla 13: Valores de los porcentajes de eficiencia de microencapsulación obtenidas para cada tratamiento

N°	FACTORES		RESPUESTA
	Temperatura (° C)	Concentración MD:AI (%)	Eficiencia de microencapsulación (%)
1	150	50:50	67,4320
2	150	80:20	36,7869
3	140	50:50	65,4723
4	140	50:50	65,0442
5	140	50:50	64,8619
6	130	50:50	26,6993
7	140	50:50	65,5548
8	140	80:20	26,1560
9	140	50:50	64,7666
10	140	20:80	59,2558
11	130	20:80	42,7693
12	130	80:20	20,2995
13	150	20:80	32,6638

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 14 indican que la eficiencia de microencapsulación se ve afectada por el efecto de la temperatura de secado y la proporción de MD:AI ($p = 0,0142$), existiendo una relación significativa entre factores y respuestas. Tanto la temperatura y proporción de MD:AI como su interacción ejercieron efectos insignificantes en la eficiencia de microencapsulación, pero este se vio afectado significativamente por el efecto cuadrático de ambos.

Tabla 14: Análisis de varianza – Eficiencia de microencapsulación

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Valor F	Valor p	
Regresión	3334,68	5	666,94	6,57	0,0142	Significativo
X_1	369,96	1	369,96	3,64	0,0980	
X_2	441,12	1	441,12	4,34	0,0756	
$X_1.X_2$	176,80	1	176,80	1,74	0,2286	
X_1^2	539,15	1	539,15	5,31	0,547	
X_2^2	928,11	1	928,11	9,14	0,0193	
Error residual	710,94	7	101,56			
Falta de ajuste	710,43	3	236,81	1862,97	< 0,0001	Significativo
Error puro	0,51	4	0,13			
Total	4045,62	12				

R^2	0,8243
R^2_{ajuste}	0,6987
$R^2_{predicho}$	-0,7467

El modelo cuadrático ajustado que contempla todos los efectos para la eficiencia de microencapsulación se muestran en la ecuación 3, con un coeficiente de correlación de los datos experimentales de 82.43 %,y con la presencia de falta de ajuste ($P_{LOF} < 0.0001$), por lo que se afirma que el modelo no es adecuado para ajustar los datos experimentales. Así mismo la representación de los valores obtenidos experimentalmente en función a los predichos no presentaron una distribución normal (Anexo 4,a), los residuos entre los valores reales y predichos no indicaron una buena correlación entre ambos (Anexo 4, b),.La relación entre

residuos contra valores predicho y número de corridas no presentaron un patrón definido (Anexo 4,c y anexo 4, d).

$$E = -2665,92859 + 38,79803 X_1 - 1,35149 X_2 + 0022161X_1X_2 - 0,13972 X_1^2 - 0,020368 X_2^2. \quad (3)$$

En la figura 13 se observa la gráfica de superficie de respuesta para la eficiencia de microencapsulación, con una eficiencia máxima de 67 % a una temperatura de 150 °C y una concentración de MD:Al de 50:50. Esta superficie de respuesta nos indica que la eficiencia de microencapsulación se incrementa a medida que la temperatura de secado aumenta y la proporción de maltodextrina presente en la emulsión disminuye.

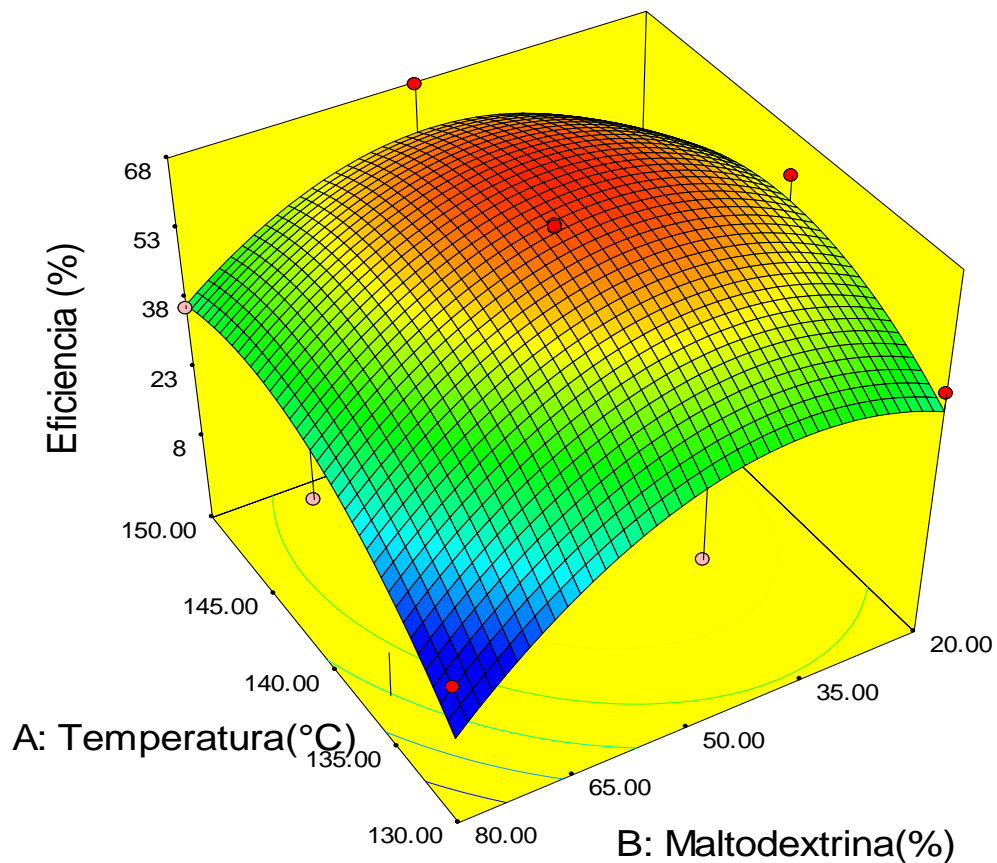


Figura 11: Superficie de respuesta para la eficiencia de microencapsulación

(Tonon, Pedro, Grosso, y Hubinger, 2012), reportaron valores de eficiencia de microencapsulación de aceite de semillas de lino comprendidos entre 37 y 97 %, el cual fue fuertemente influenciado por el tipo de material de pared y la concentración de aceite, resultando la maltodextrina el encapsulante que ayudo a obtener una mayor eficiencia. De la misma manera (Le, Tran, TTon, Tran, Huynh, Nguyen y Le, 2017) estudiaron la combinación de proteína de suero con diversos carbohidratos como materiales de pared para microencapsular aceite de semilla de calabaza, reportando que la combinación de proteína-maltodextrina brindan microcápsulas con alta eficiencia de microencapsulación, alcanzando valores de 94.5 %, a una proporción de proteína: maltodextrina de 1:3. Por otro lado (Bae y Lee, 2008) en su trabajo de microencapsulación de aceite de palta obtuvieron eficiencias de microencapsulación comprendidas entre 45 y 66 %, reportando la mayor eficiencia (66 %) a una mayor proporción de maltodextrina/ proteína de suero le leche que fue de 90:10 %. Asimismo (Böger, Georgetti y Kurozawa, 2018) reportaron que el aceite de las pepas de uva microencapsuladas con goma arábica y maltodextrina presentaron mayor contenido de aceite superficial, lo que se vio reflejada en una baja eficiencia de microencapsulación en comparación con las microencapsuladas solo con goma arábica con valores de 63,47 % y 67,92 % respectivamente.

Se puede observar que los valores de eficiencias de microencapsulación obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por los autores mencionados. Pese a la diferencia de proporciones de materiales de pared usados, se observa que para la formación de un material de pared para aceites debe de estar constituida por una proteína y un carbohidrato, ya que sabe que los carbohidratos a pesar de tener buenas características respecto a buena solubilidad, y baja viscosidad, poseen poca afinidad con los compuestos hidrofóbicos como el aceite y son carentes en cuanto a solubilidad interfacial, propiedad que presentan las proteínas (Calvo, Castaño, Lozano, y González, 2012; Madene, Jacquot, Scher, y Desobry, 2006)

4.4 Estabilidad del aceite de palta

Se realizó el análisis de estabilidad oxidativa debido al alto contenido de ácidos grasos insaturados presentes en el aceite de palta, lo que los hace vulnerables a la oxidación. Este análisis nos indica que tan eficiente es la microencapsulación para conservar la calidad del aceite microencapsulado.

En el anexo 5 se muestran los valores de índice de peróxidos (IP) del aceite patrón y aceite microencapsulado estudiadas durante un mes, los análisis se realizaron al día 1, día 15 y día 30, de cada respectivo tratamiento, almacenados bajo condiciones ambientales. Para la optimización, de esta respuesta solo se consideraron los valores de índice de peróxido correspondientes al día 30 los cuales se encuentran reportados en la tabla 15.

Tabla 15: Valores del índice de peróxidos obtenidas para cada tratamiento y para el aceite patrón analizado

FACTORES			RESPUESTA
N°	Temperatura (° C)	Concentración MD:AI (%)	I.P (meq O ₂ /kg)
1	150	50:50	57,5
2	150	80:20	75,0
3	140	50:50	50,0
4	140	50:50	50,0
5	140	50:50	47,5
6	130	50:50	50,0
7	140	50:50	47,5
8	140	80;20	77,5
9	140	50:50	50,0
10	140	20:80	72,5
11	130	20:80	65,0
12	130	80:20	57,5
13	150	20:80	67,5

En la Tabla 16 se muestra el análisis de varianza para el índice de peróxido, que muestra un valor p del modelo correspondiente a 0.0020, indicando que el índice de peróxido se ve afectada significativamente por la temperatura de secado y la concentración MD:AI ($p < 0.05$), con un coeficiente de determinación de 90,31 %. El IP del aceite solo se vio afectado significativamente por la temperatura de secado en su término lineal y la proporción de MD:AI en su término cuadrático, mientras que los demás términos resultaron insignificantes.

Tabla 16: Análisis de varianza-Índice de peróxido

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Valor F	Valor p	
Regresión	1338,12	5	267,62	13,05	0,0020	Significativo
X_1	126,04	1	126,04	6,14	0,0423	
X_2	4,17	1	4,17	0,20	0,6659	
$X_1.X_2$	56,25	1	56,25	2,74	0,1417	
X_1^2	8,63	1	8,63	0,42	0,5374	
X_2^2	1048,36	1	1048,36	51,10	0,0002	
Error residual	143,61	7	20,52			
Falta de ajuste	136,11	3	45,37	24,20	0,0050	Significativo
Error puro	7,50	4	1,87			
Total	1481,73	12				
R^2	0,9031					
R^2_{ajuste}	0,8339					
$R^2_{predicho}$	0,3429					

A continuación, se presenta la ecuación de segundo orden para el índice de peróxido del aceite microencapsulado en función a los factores en su término lineal y cuadrático e interacciones factores.

$$IP = -219,45402 + 4,78161 X_1 - 3,88697 X_2 + 0,012500 X_1 X_2 - 0,017672 X_1^2 + 0,021648 X_2^2 \quad (4)$$

El modelo presento falta de ajuste ($p_{LOF} = 0,0050$), lo cual indicó que la ecuación no es capaz de representar nuestros datos experimentales obtenidos. El valor del $R^2_{predicho}$ fue de 0,3429, confirmando que el modelo no es bueno para predecir respuestas futuras. Para mejorar el ajuste de los datos al modelo se tendrían que eliminar los términos insignificantes para la respuesta, o buscar un modelo de mayor complejidad que pueda describir nuestros datos experimentales.

La figura 12 nos muestra el diagrama de superficie de respuesta para el índice de peróxido del aceite microencapsulado. Podemos observar que el IP se vio incrementado con el aumento de la temperatura de secado, esto se debió a que las altas temperaturas tienden a oxidar más rápido el aceite superficial de la microcápsula, el cual provoca una aceleración de oxidación del aceite microencapsulado, además de encontrarse más expuesto al oxígeno y a la luz, dando paso a la formación de hidroperóxidos, los cuales desencadenan el proceso de oxidación. Existe así una relación inversa entre la oxidación del aceite y la eficiencia de microencapsulación, a mayores valores de eficiencia de microencapsulación, menores serán los valores de IP del aceite. Resultados similares fueron reportados por (Kha et al., 2014) durante la microencapsulación del aceite de girasol, donde se encontró que la oxidación de los aceites tiene gran dependencia de la temperatura de secado.

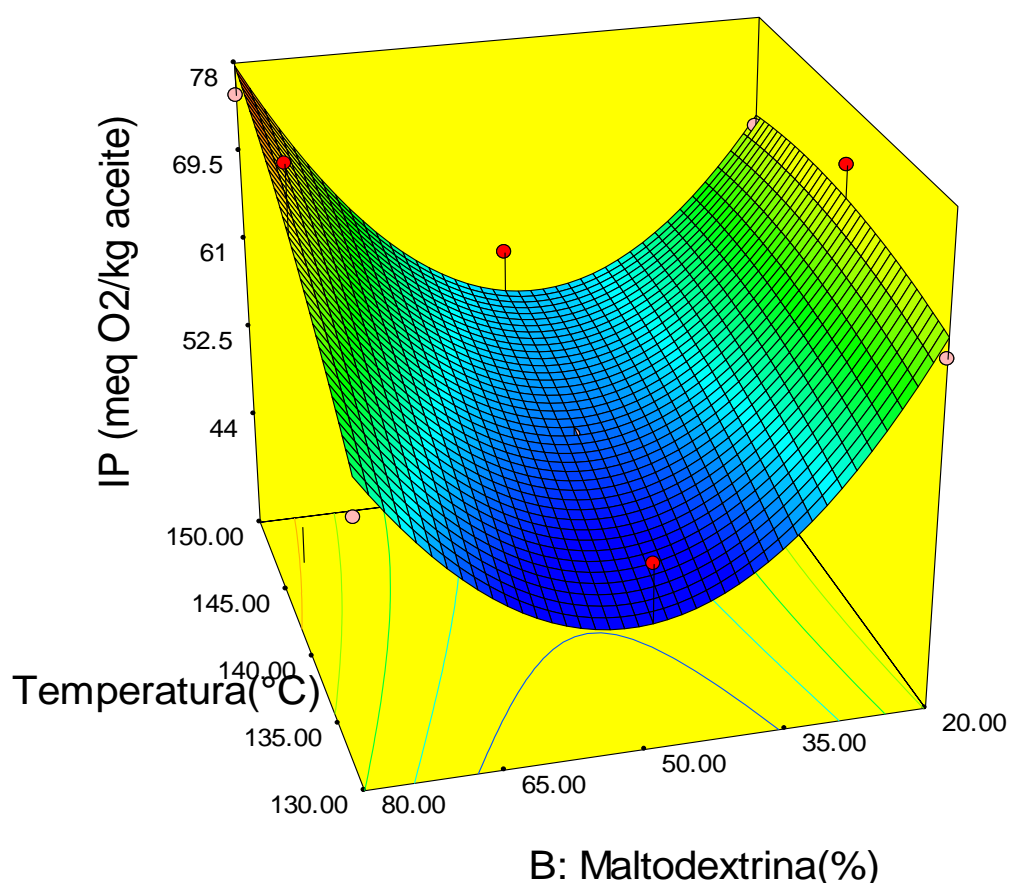


Figura 12 Superficie de respuesta para la estabilidad del aceite microencapsulado expresado en índice de peróxido.

En cuanto a los valores de IP con relación a las proporciones de materiales de pared se pueden observar que a una proporción de 1:1 se obtuvieron los valores más bajos de IP correspondiente a 47,5 meq O₂/kg de aceite a una temperatura de 140 °C, mientras que a proporciones de 4:2 y 2:4 se obtuvieron valores altos de hasta 77,5 meq O₂/kg de aceite por lo que se sugiere trabajar con una proporción cercana entre ambas. Al respecto (Murali, 2017) observó que el aumento de la relación de almidón: proteína de 5:1 dio como resultado un aceite con altos valores de índice de peróxido, mientras que a una proporción de 3:1 obtuvo el valor de índice de peróxido más bajo. Resultados similares también fueron reportados por Wang, Tian, y Chen, (2011) reportaron valores de IP para aceite de pescado sin microencapsular de 10 y 350 meq O₂/kg de aceite al día 1 y semana 8 respectivamente, mientras que el aceite microencapsulado con proteína de cebada alcanzó valores entre 45-76 meq O₂/kg de aceite hasta la semana 4,

Cuaspud, (2015) analizó la estabilidad a la oxidación del aceite de palta bajo tres condiciones de temperatura durante 6 semanas, reportando valores de IP de 1 meq O₂/kg de aceite, para los aceites almacenados a 30 y 40 °C en bolsas de polietileno, mientras que el aceite almacenado a 60 °C alcanzó valores de hasta 31 meq O₂/kg de aceite al día 35, presentado decoloración y alta rancidez, mientras que Bae & Lee (2008) reportaron valores de IP de 4,5 meq O₂/kg de aceite, para el aceite de palta microencapsulado y sin microencapsular al día 1, almacenados a 25 °C en frascos de vidrio mientras que a 60 °C estos valores se vieron incrementados hasta 8 meq O₂/kg de aceite a la semana 8.

Se vio evidenciado la gran diferencia de valores de IP obtenidos, en comparación con los reportados por los autores mencionados, además según el (Codex alimentarius, 1999) los valores de índice de peróxido para aceites vírgenes u obtenidos por el método de prensado en frío deben de ser no mayores a 15 meq O₂/kg de aceite. En esta investigación el aceite fue obtenido mediante el uso de CO₂ supercrítico, con un índice de peróxido de 15 meq O₂/kg de aceite tanto para el aceite patrón y aceite microencapsulado al día 1, lo que indicó que el aceite no se vio afectado por la temperatura al momento del secado, no obstante, este valor se vio incrementado hasta 305 y 247 meq O₂/kg respectivamente (día 30). Según estos valores obtenidos se podría haber afirmado que el aceite obtenido estuvo completamente rancio, con olor y sabor desagradable, sin embargo, el aceite no presentó estas características.

Wanasundara & Shahidi, (1998) Estudiaron la actividad antioxidante y pro oxidante del extracto de té verde en aceites marinos, observado que el extracto presento un efecto pro oxidante en el aceite, atribuyendo esto al efecto catalítico que presenta la clorofila presente en el extracto de té verde. El extracto de té desclorofilizado presento mejores capacidades antioxidantes que los antioxidantes usado comúnmente. Sin embargo (Yasushi, Riichiro, & Takashi, 1985) en su trabajo demostró que los derivados de la clorofila como el protoporfina metil ester presentaron propiedades antioxidantes, reduciendo los radicales libres, y que la clorofila puede actuar como un donador de hidrogeno que puede frenar la reacción de oxidación de aceites.

El análisis de estabilidad oxidativa se realizó por segunda vez, en la cual se usó carbón activado previo al análisis, para eliminar el contenido de clorofila presente en el aceite, obteniendo esta vez valores de índice de peróxido comprendidos en un rango de 5 meq O₂/kg de aceite (Día 1) y 77 meq O₂/kg de aceite (Día 30), Con esto se pudo comprobar que el valor de índice de peróxido se vio fuertemente influenciado por el contenido de clorofila del aceite, sin embargo los valores reportados aún se encontraron muy por encima de lo establecido por la norma del Codex alimentarius, esto se debió a que el carbón activado no pudo eliminar todo la clorofila presente en el aceite.

Con este análisis se comprobó que la clorofila influye en el valor de IP del aceite de palta, y esto puede deberse a que la clorofila participa en el proceso de fotosíntesis de las plantas captando luz solar, y al estar presente en el aceite pudo acelerar el proceso de oxidación ya que la luz es un factor que influye en la oxidación de e lípidos.

4.5 Optimización del proceso de microencapsulación

Con el análisis de todos los resultados se encontró un punto óptimo de operación para el proceso de microencapsulación. La tabla 17 nos muestra que para maximizar el rendimiento de secado y la eficiencia de microencapsulación y disminuir la oxidación de aceite durante su almacenamiento la condición de operación debe de ser a una temperatura de secado de 142 °C y una proporción de M: Al de 49%:51%. Estas condiciones ofrecen un máximo de rendimiento de secado y eficiencia de microencapsulación de 32% y 65 % respectivamente, y un mínimo de oxidación del aceite con valor de 52 meq O₂/kg de índice de peróxido como se muestra en la figura 13.

Tabla 17: Condiciones óptimas de operación y valores de respuestas predichas

Óptimo	
Condiciones óptimas de operación	
Temperatura de secado	142 °C
Proporción Maltodextrina: Albúmina	49:51
Respuestas predichas	
Rendimiento de secado	32 %
Eficiencia de microencapsulación	65 %
Índice de Peróxido	52 meq O ₂ /kg
Humedad	2,24 %
Deseabilidad Global	0.757

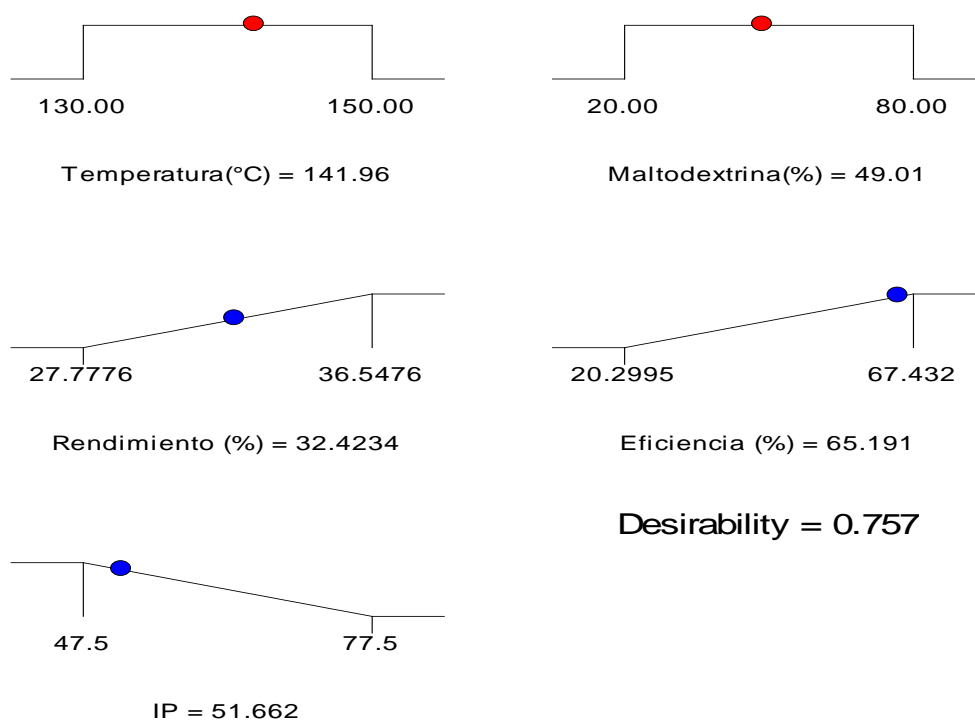


Figura 13: Rampas de deseabilidad para las condiciones optimizadas de las microcápsulas de aceite de palta

4.6 Índice de acidez

El análisis de índice de acidez se realizó al producto microencapsulado, obtenido de los datos optimizados que da una temperatura de secado 142 °C, proporción maltodextrina: albúmina 49:51, mediante el método AOAC 940.28. El aceite de palta microencapsulado se volvió a extraer por fluidos supercrítico se colocó 4 g de aceite en un matraz de 250 ml disolverla en 50 mL de la mezcla Alcohol Etílico previamente neutralizado con una base. Valorar, agitando continuamente, con solución de Hidróxido de Sodio 0.1 N. IA obtenido es de 1.4025 $mgKOH/g$.

Según el (Codex alimentarius, 1999) el índice de ácido puede ser de 4 $mgKOH/g$ de aceite. En investigaciones realizada por (García, Fernández, Castiñeira, y Buendía, 2015) en microencapsulación de aceite de hígado de tiburón obtuvieron los resultados de 1.28 $mgKOH/g$, reportando que este no debe ser más de 1.48 $mgKOH/g$.

Pastuna, *et al.* (2016) relizaron análisis de índice de acidez en las microcápsulas de aceite de Sacha Inchi empleando maltodextrina y goma arábica como recubierta en una proporción (1:1), evaluaron la temperatura de entrada y la carga de aceite, siendo 150 °C y 33% las mejores condiciones de trabajo durante el proceso de secado y obtuvieron un índice de acidez de 1.03 $mgKOH/g$. Extrajeron el aceite de la microcápsula por extracción con solvente en frío. Y en Nuñez y Lopez (2011) estudiaron el aceite esencial de clavo de olor microencapsulado por atomización, relizaron su estudio a temperaturas de 140°, 160° y 180° C y como material encapsulante usaron maltodextrina y goma arábica a una proporción 1:1, 3:1; sus análisis realizaron cada 3 días durante un mes, concluyeron que la temperatura de atomizado y la proporción de microencapsulante afecta a la acidez del aceite esencial de clavo de olor, y también que a más maltodextrina la acidez aumenta directamente proporcional.

El índice de acidez nos indica el contenido a ácido linoleico que es el predominante en el aceite de palta, y que obtuvimos después de microencapsular, está dentro del rango que nos indica el Codex alimentario.

4.7 Tamaño de partícula

Se midió el área y el perímetro para las partículas obtenidas en la optimización que fue de a una temperatura de secado 142 °C y proporción maltodextrina: albúmina 49:51 Como nos indica (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015) la

morfología de las microcápsulas juegan un rol importante en la estabilidad del material a proteger en este caso en la estabilidad del aceite de palta. También nos indica que tenemos los siguientes tipos de microcápsulas que son las irregulares, simples, de pared múltiple, pared insoluble y pared soluble

En la figura 14, 15 y 16 mostramos las imágenes obtenidas por el microscopio usando aceite de inmersión que nos brinda un aumento de 100, las microcápsulas obtenidas fueron del tipo multicapa, siendo visibles muy claramente, además de no presentar grietas ni fisuras.

Según la tabla 18 que encontramos en (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015) las muestras de microcápsula obtenidas por el proceso optimizado son protegidas por excelencia de oxígeno, agua, y son buenos ante la presencia de la luz y del calor, ya que esto se debe al grado de solubilidad de la pared de recubierta.

En el estudio que realizaron (Nuñez y Lopez 2011) en el aceite esencial de clavo de olor atomizado este presentó más estabilidad en las partículas esféricas, ya que eran lisas y no tenían fisuras. La esfericidad y superficie lisa en su gran mayoría de microcápsulas es por la presencia de la maltodextrina, Figueroa y Cevallos (2016) obtuvieron similar resultado cuando microencapsuló aceite de mora, así mismo Olaya, Castaño y Garzón (2014) presentaron en sus resultados que cuando microencapsuló antocianinas de mora con maltodextrina las partículas presentaron esfericidad y superficie lisa. En la figura 16 se puede observar que no son esféricas perfectas, no tienen fisura y con pared continua lo cual haría que el aceite que se encuentra en el interior no se oxide y por lo tanto la formación de hidroperóxidos sería lento permitiendo una vida útil más prolongada del producto microencapsulado, esto mismo le ocurrió en los estudios realizados por Caimero, (2013) quien observó que a más partículas con fisuras el índice de peróxido llegaba a 3.02 mgKOH/g y a menos fisuras el aceite era más estable.

En la figura 15 y 16 las partículas tienen pared continua, sin poros pero no son esféricas ni tan lisas eso se debe a la albúmina que es susceptible a los cambios de temperatura. Lokuwan (2007) en su trabajo de investigación obtuvo microcápsulas abolladas y eso fue cuando usó como material encapsulante a la albúmina.

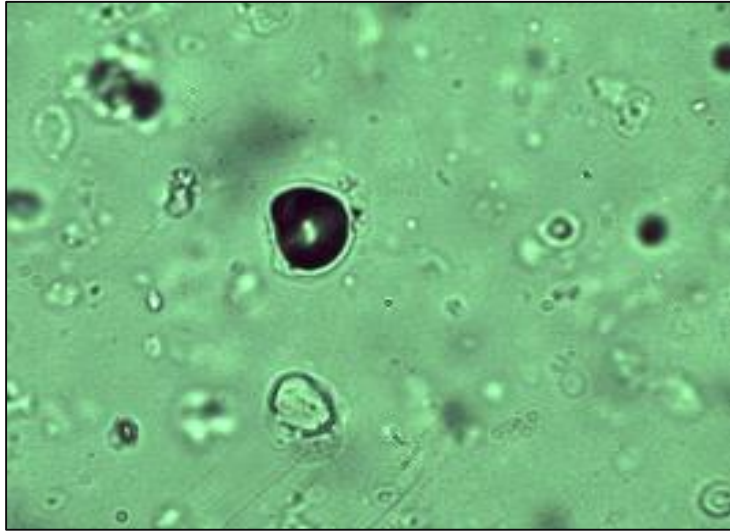


Figura 14: Microcápsula esférica

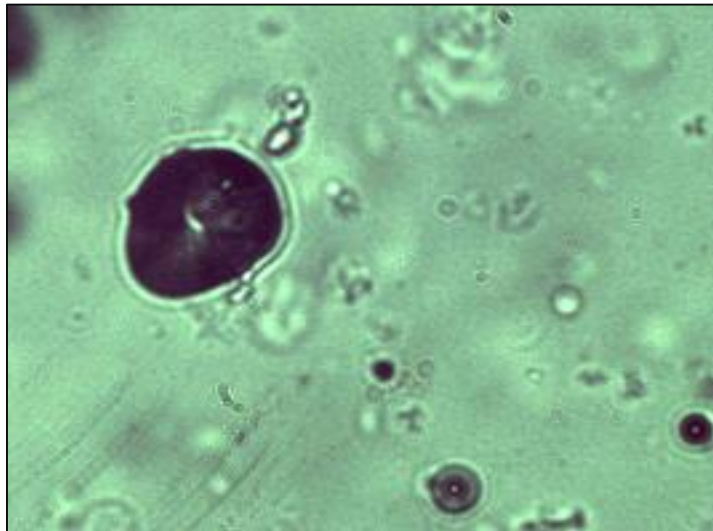


Figura 15: Microcápsula irregular sin fisura

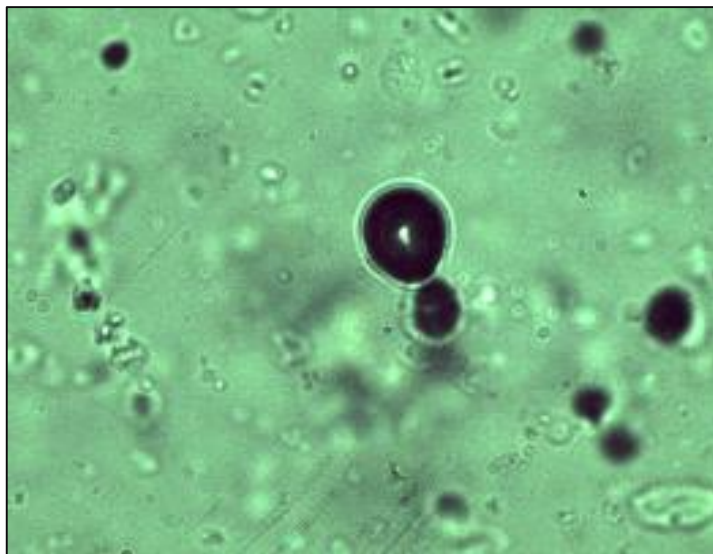


Figura 16 : Microcápsula irregular sin fisura

Con lo que respecta al tamaño de partícula se determinó que están tienen un perímetro de $4.385 \mu\text{m}$ y un área de $1.469 \mu\text{m}^2$ así como se muestra en la figura 17. En el estudio realizado por Mossobo *et al*, 2015 este reporto que el área de sus microcápsulas era entre de $1,30 \mu\text{m}^2$ a $2.08 \mu\text{m}^2$

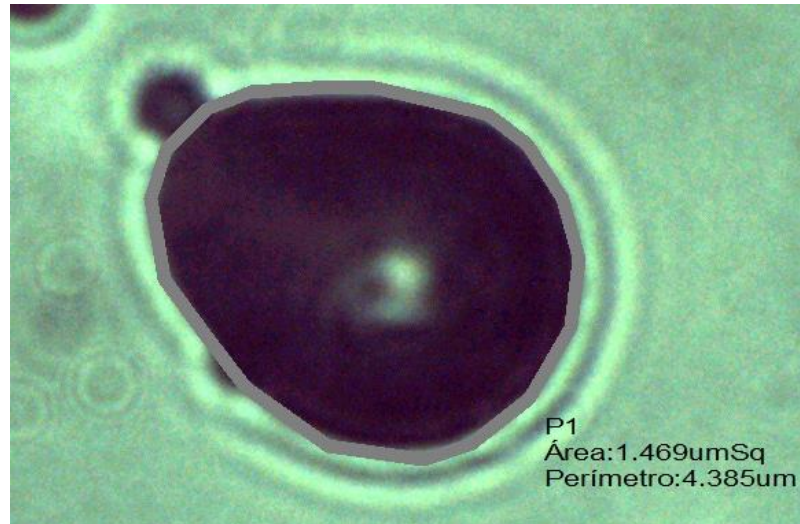


Figura 17: Perímetro y área de la microcápsula

En investigaciones realizadas por Parra, 2011 muestra las microcápsulas producidas de manera óptima, estas partículas exhibieron varios tamaños (menos de $20 \mu\text{m}$). Las microcápsulas mostraron una forma irregular, cóncava y arrugada en la superficie, que son las características típicas de las microcápsulas producidas por secado por pulverización.

En nuestros resultados las microcápsulas no mostraron grietas o fisuras aparentes, lo que garantiza una baja permeabilidad para los aceites y ofrecen una mejor protección al aceite de palta que se encuentra en el núcleo, este tipo de morfología también ha sido observado (Martínez *et al.*, 2015) quien observó que la formación de partículas huecas es una característica habitual del proceso de atomización.

V. CONCLUSIONES

- El rendimiento de secado no aumenta considerablemente con las diferentes proporciones de materiales de recubierta, ni con la variación de la temperatura de secado.
- Los factores temperatura y proporción de M:Al afectan a la humedad. A medida que la proporción de maltodextrina presente en la emulsión disminuye el contenido de humedad de las microcápsulas se incrementa de igual manera el contenido de humedad se ve incrementado al disminuir la temperatura de secado.
- La eficiencia de microencapsulación se incrementa a medida que la temperatura de secado aumenta y la proporción de maltodextrina disminuye se obtuvo 67% de eficiencia con proporción de M:Al 50:50, y a una temperatura de 150°C.
- El índice de peróxido se vio afectado significativamente por la temperatura de secado y la concentración de M:Al. Se debió a que las altas temperaturas tienden a oxidar más rápido el aceite superficial de la microcápsula, el cual provoca una aceleración de oxidación del aceite microencapsulado, además de encontrarse más expuesto al oxígeno y a la luz. Existe una relación inversa entre la oxidación y eficiencia. En cuanto a los valores de IP bajo fue de a 47.5 meq O₂/kg a una temperatura de 140°C.
- Para optimar el proceso de microencapsulación los parámetros deben de ser a una temperatura de secado de 142°C y una proporción de M:Al de 49% :51% . Estas condiciones ofrecen un máximo de rendimiento de secado e eficiencia de microencapsulación de 32% y 65 % respectivamente, y un mínimo de oxidación del aceite con valor de 52 meq O₂/kg de índice de peróxido.
- El análisis de acidez se realizó al producto microencapsulado, obtenido de los datos optimizado a temperatura de secado de 142 °C y una proporción de M: Al de 49%:51% El IA obtenido es de 1.4025 mgKOH/g
- Respecto al tamaño de partícula se determinó que estas tienen perímetro de 4.385 μm y un área de 1.469 μm^2 . En nuestros resultados las microcápsulas no mostraron grietas o fisuras aparentes, lo que garantiza una baja permeabilidad para los aceites y ofrecen una mejor protección al aceite de palta que se encuentra en el núcleo.

VI. RECOMENDACIONES

- Mantener la temperatura de secado lo más constante posible, ya que si hay mucha variación el rendimiento bajará y las microcápsulas captarán humedad.
- El tiempo de agitación de la emulsión y su preparación debe permanecer constante para todos los tratamientos, esto para no generar cambios que puedan influir en los análisis realizados.
- Realizar el estudio de la aplicación de las microcápsulas de aceite de palta en los alimentos,
- Realizar un estudio, sobre la influencia de la clorofila en la oxidación del aceite de palta.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anandharamakrishnan, C., y Ishwarya, P. I. (2015). *Spray Drying Technique for Food Ingredient Encapsulation. Food Science and Technology*, 2061(June), 38(2): 403-420
<https://doi.org/10.4005/34.2015.29.6.7047>
- Agustin, J y Sanguansri, H, (2013). Encapsulantes para Procesos de Microencapsulación de Alimentos. *Memorias Del VI Simposium Internacional de alimentos*, 10.(8)
<https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.6.7047>
- Bacio Parra, L. V. (2007). “ Optimización Multi-Objetivo en el Problema de Metodología de Superficie Multi-Respuesta ” Luz Vanessa Bacio Parra, 161.
- Bae, E. K., & Lee, S. J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, 25(8), 549–560.
<https://doi.org/10.1080/02652040802075682>
- Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 143–182. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>
- Bernal, J., y Diaz, C. (2008). *Tecnología para el Cultivo del Aguacate*. 11 (4)
- Böger, B. R., Georgetti, S. R., & Kurozawa, L. E. (2018). Microencapsulation of grape seed oil by spray drying. *Food Science and Technology*, 2061(June), 38(2): 263-270
- Cameiro, H.; Tonon, R.; Grosso, C. y Hubinger, M. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Food Engineering*, 115:443-451.
- Calvo, P., Castaño, Á. L., Lozano, M., & González-gómez, D. (2012). Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. *Food Research International*, 45(1), 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.10.036>
- Carvajal, J. (2013). Método de las Superficies de Respuesta, 88–97. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70238/fichero/Capitulo+7.pdf>
- Codex alimentarius. (1999). NORMA DEL CODEX PARA ACEITES VEGETALES ESPECIFICADOS CODEX STAN 210-1999.

- Cuaspud, M. (2015). *Obtencion de aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomizacion*. Escuela politécnica nacional, Mexico.
- De, O. D. E. L. P., Sandra, D. R. A., Martínez, L. U. Z., Diana, D. R. A., y Pimentel, J. (2016). Tesis para optar el grado de maestría en Ciencias Químicas.
- Di, C. (2016). *Micreencapsulacion de Fitoesteroles Mediante Secado por Atomizacion*. Universidad Nacional Del Sur.
- Gibbs, F, Selim Kermasha, Inteaz Al, B. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50(3), 213–224. <https://doi.org/10.1080/096374899101256>
- Figuroa, P. M., y Ceballos, M. A. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO 2 supercrítico., 39–47.
- García, C., Fernández, M., Castiñeira, M., y Buendía, C. (2015). Estabilidad del aceite de hígado de tiburón microencapsulado vs . pool de aceite Resumen Summary Stability of microencapsulated shark liver oil vs pool oil Introducción, 44(1), 34–46.
- Gaonkar, R., Niraj, A., Ramsh, I., y Robert, M., (2014) Microencapsulación de aceite esencial de naranja. *Reviews in Food Science*, 45(10), 312–320. <https://doi.org/10.4005/hj.2014.29.6.7047>
- Gharsallaoui, G., Roudaut, L., Chambin, P., Voilley, E., y Saurel, P., (2007) Microencapsulation, Lutheria, Estados Unidos
- Hae, S. K. (2014). *Nano and Microencapsulation for Foods*. (H. S. Kwan, Ed.). South Korea.
- Hernández Sánchez, 2011 Microencapsulation of food: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science* <https://cs.org/11.0705/nh.2014.29.6.7047>
- Islas, R. P. (2002). Alimentos Microencapsulados : Particularidades de los Procesos para la Microencapsulación de Alimentos para Larvas de Especies Acuícolas. *Memorias Del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, 10. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.6.7047>
- Kha, T. C., Nguyen, M. H., Roach, P. D., & Stathopoulos, C. E. (2014). Abstract NU SC. *Powder Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.05.053>

- Le, T. H., Tran, T. M. V., Ton, N. M. N., Tran, T. T. T., Huynh, T. V., Nguyen, T. N., ... *Le, V. V. M. (2017). Combination of whey protein and carbohydrate for microencapsulation of pumpkin (*Cucurbita* spp .) seed oil by spray-drying. *International Food Research Journal* 24(3): 1227-1232 , 2017., 24(June), 1227–1232
- Loksuwan, J. (2007) Characteristics of microencapsulated by spray-drying. *agric and food hydrocollids*. 21 928-935 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.011>.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>
- Manzocco, L., Calligaris, S., Anese, M., & Nicoli, M. C. (2016). *Determination and Prediction of Shelf Life of Oils/Fats and Oil/Fat-Based Foods. Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00002-1>
- Marcelo, M. (2011). *ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO COMPARATIVO DEL ACEITE DE PALTA (PERSEA AMERICANA)VARIEDAD HASS CON VARIEDAD FUERTE*. Facultad De Ingenieria Pesquera y de Alimentos.
- Martínez, M. L., Curti, M. I., Rocchia, P., Llabot, J. M., Penci, M. C., Bodoira, R. M., & Ribotta, P. D. (2015). Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L .) and chia (*Salvia hispanica* L .) oils microencapsulated by spray drying. *Powder Technology*, 270, 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.10.031>
- McClements, D. (2005). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques. CRC Series in Contemporary Food Science* (Second Edi). <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00459.x>
- Ministerio Agricultura y Riego Peru. (2015). Tendencias de la produccion y el comercio de Palta en el mercado internacional y Nacional. *Minagri - Dgpa*, 81. Retrieved from <http://minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2015?download=6825:informe-palta-peruana>.
- Mossoba, T., Adlof, L., Endres, E., Floglia, P., Sicliare, L., Iowa, G., Knapp, K., y Wilson, F., (2015) Oil Extraction and Analysis Critical Issues and Comparative Studies Retrieved from <https://doi.org/18.1546/j.1365-2621.2001.00459.x>
- Murali, S. (2017). Optimization of Rice Bran Oil Encapsulation Using Jackfruit Seed Starch

- Whey Protein Isolate Blend as Wall Material and Its characterization. *International Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0409>
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2009). Response surface methodology. Process and product optimization using designed experiments. *John Wiley & Sons, Inc.*, (3), 1–1247. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Núñez, H., Lopez, L., (2011). Encapsulación de Aceite Esencial de Clavo para su Aplicación en la Industria Alimentaria. *Drying Technology*, 30(13), 1491–1501. <https://doi.org/10.1007/s19398-019-0173-7.2>
- Olaeta, J. a. (2003). Industrialización Del Aguacate : Estado Actual Y Perspectivas Futuras . *Actas V Congreso Mundial Del Aguacate*, 749–754.
- Olaya, C;Castaño, M; Garzón, G (2014) Efecto de la temperatura de microencapsulado de antiosaninas . *Actabiol Colombia* 141-156.
- Parra, R. / U. N. del C. (2011). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Open Journal Systems*, 63(2), 37055. <https://doi.org/0304-2847>
- Pastuna, A., Orestes, L., Debut, A., Vaca, A., Rodriguez, E., Vicente³, R., Gonzalez, V., Gonzalez, F., (2016) Microencapsulacion de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersion A review. *Materials Science and Engineering C*, 4, 422–429. <http://dx.doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62029>
- Paulo, F., y Santos, L. (2017). Design of experiments for microencapsulation applications: A review. *Materials Science and Engineering C*, 77, 1327–1340. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.219>
- Rosenoer, T., Oratz, E., y Rothschild, W. (1977) Microencapsulation and Effect of Oil. *Drying Technology*, 481–489. <https://coi/m15.1080/07373937.2000.227>
- Rozzi y Singh, 2002 *Fluido supercritico* 56(4).
- Schaffer, O., Wolstenholme, P., y Whiley, W. (2013) Spray Drying , *Drying Technology*, 91–106. <https://doi.org/10.1090/08393937.2013.564618>
- Strayer, D., Belcher, M., Fine, J., & Mcbrayer, T. (2006). FOOD FATS. *Institute of Shortening and Edible Oils, Ninth edit.*
- Sapkale, Patil, Surwase y Bhatbhage, 2000 *co2 supercritico*

- Tonon, R. V., Pedro, R. B., Grosso, C. R. F., & Hubinger, M. D. (2012). Microencapsulation of Flaxseed Oil by Spray Drying: Effect of Oil Load and Type of Wall Material. *Drying Technology*, 30(13), 1491–1501. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.696227>
- Vaclavik, V. A., y Christian, E. W. (2014). *Essentials of Food Science*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9138-5>
- Vélez, E. M. (2011). Aguacate, *Persea americana* Miller.
- Wang, R., Tian, Z., y Chen, L. (2011). A novel process for microencapsulation of fish oil with barley protein. *Food Research International*, 44(9), 2735–2741. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.013>
- William, T, (1977) Origen de los Aguacates, Editorial, Deditor-Mexico
- Wanasundara, U. N., & Shahidi, F. (1998). Antioxidant and pro-oxidant activity of green tea extracts in marine oils. *Food Chemistry*, 63(3), 335–342.
- Yasushi, E., Riichiro, U., & Takashi, K. (1985). Antioxidant effects of chlorophyll and pheophytin on the autoxidation of oils in the dark. II. The mechanism of antioxidative action of chlorophyll. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 62(9), 1387–1390. <https://doi.org/doi:10.1007/BF02545965>

ANEXOS

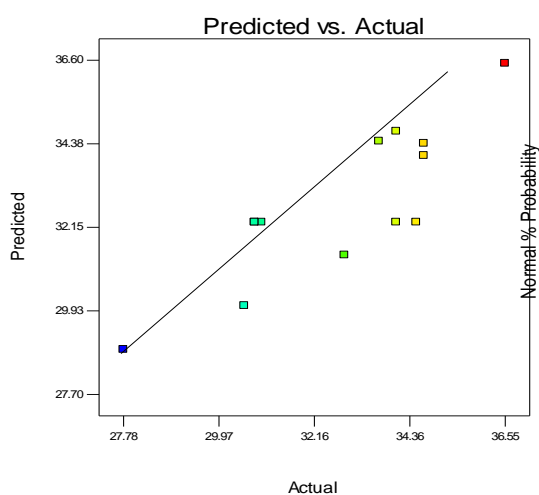
ANEXO 1: Valores de aceite total y superficial

Valores de aceite total y aceite superficial de las microcápsulas expresado en g en base a 2 g de muestra.

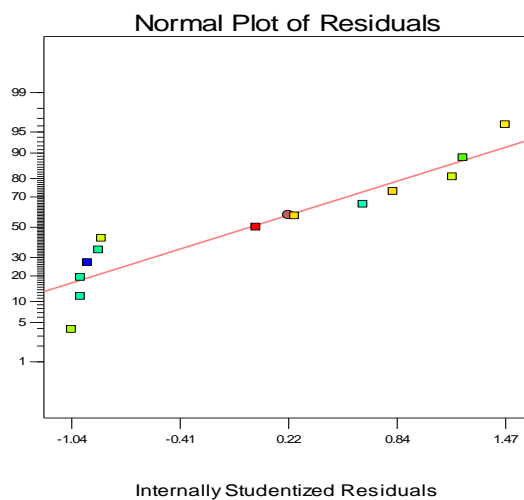
TRATAMIENTO	ACEITE TOTAL(g)	ACEITE SUPERFICIAL(g)
1	0,4940	0,1587
2	0,4218	0,2673
3	0,4708	0,1644
4	0,4754	0,1685
5	0,4726	0,1682
6	0,5047	0,3697
7	0,4754	0,1642
8	0,4524	0,3362
9	0,4698	0,1620
10	0,4917	0,2002
11	0,5707	0,3299
12	0,4402	0,3509
13	0,5454	0,3674

ANEXO 2: Análisis del ajuste del rendimiento de secado

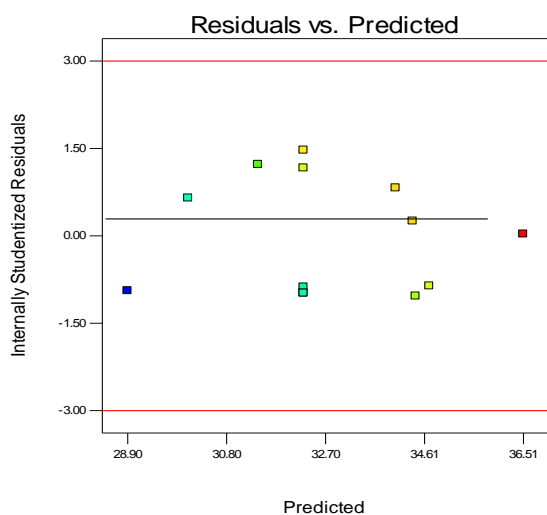
Análisis del ajuste del rendimiento de secado: **(a)** Valores obtenidos contra valores predichos, **(b)** Probabilidad normal de los residuos, **(c)** Residuos contra valores predichos **(d)** Número de corrida contra residuos.



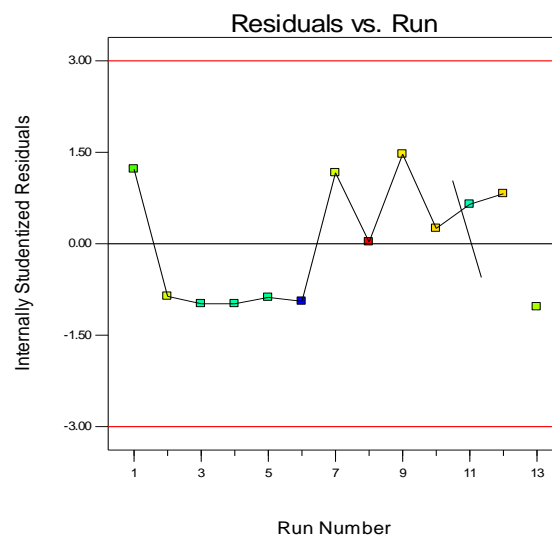
(a)



(b)



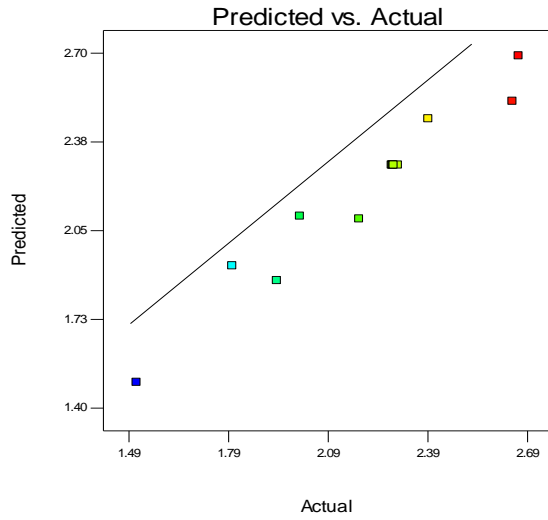
(c)



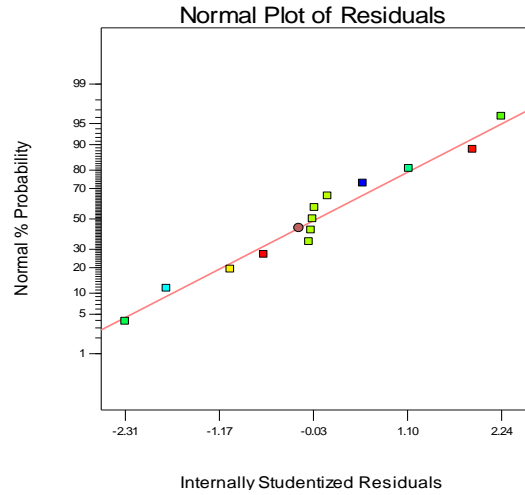
(d)

ANEXO 3: Análisis del ajuste de la humedad de las microcápsulas

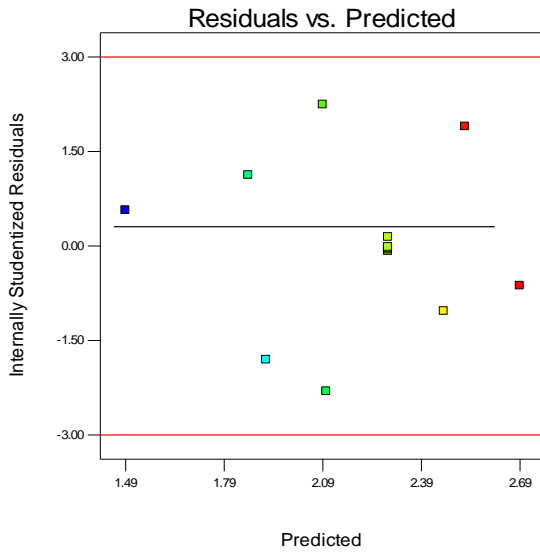
Análisis del ajuste de la humedad de las microcápsulas: **(a)** Valores obtenidos contra valores predichos, **(b)** Probabilidad normal de los residuos, **(c)** Residuos contra valores predichos **(d)** Número de corrida contra residuos.



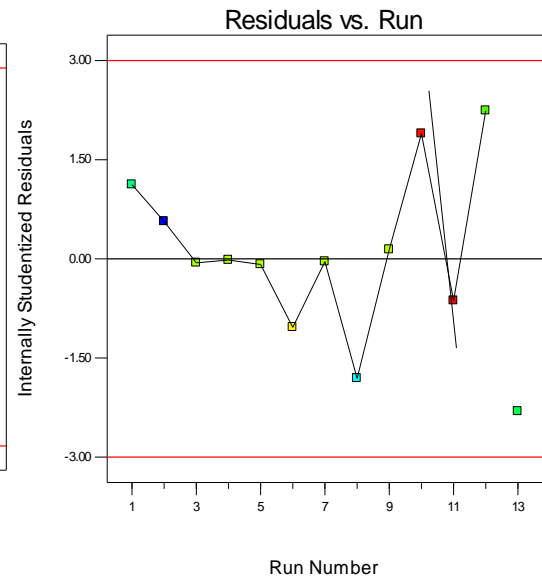
(a)



(b)



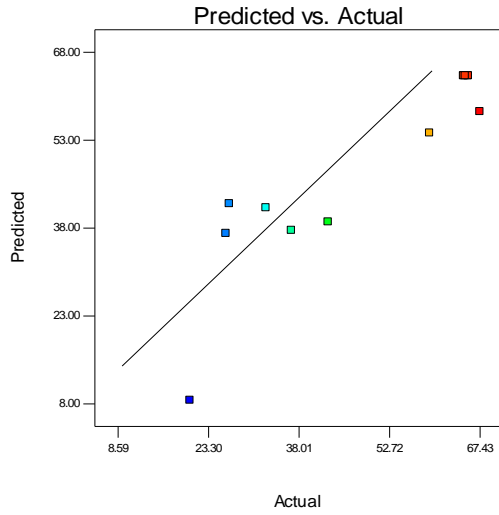
(c)



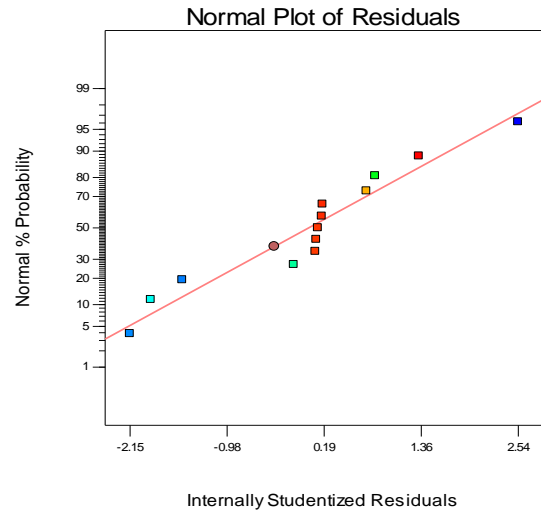
(d)

ANEXO 4: Análisis del ajuste para la eficiencia de microencapsulación

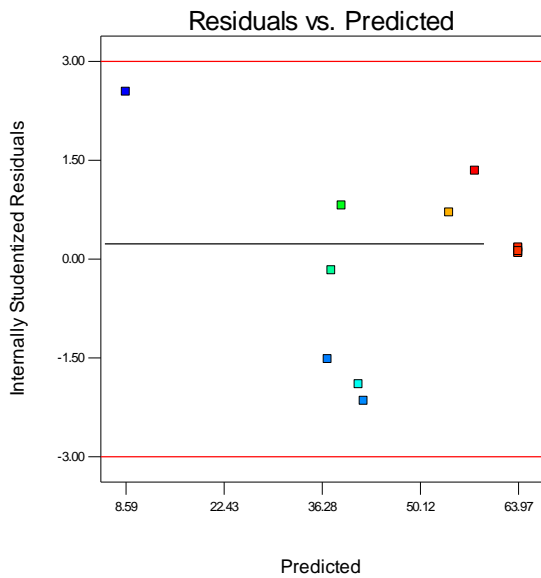
Análisis del ajuste para la Eficiencia de microencapsulación: **(a)** Valores obtenidos contra valores predichos, **(b)** Probabilidad normal de los residuos, **(c)** Residuos contra valores predichos **(d)** Número de corrida contra residuos.



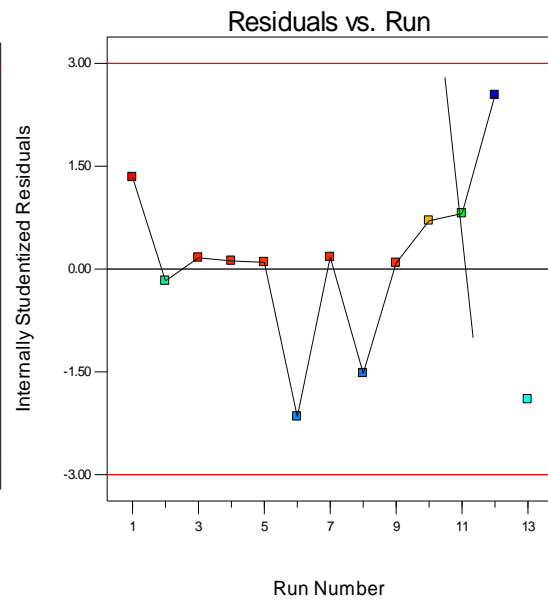
(a)



(b)



(c)



(d)

ANEXO 5: Valores obtenidos del índice de peróxido antes del proceso de clarificación con carbón activado

Valores obtenidos del índice de peróxido del aceite de palta microencapsulado y patrón antes del proceso de clarificación con carbón activado, expresados en meq O₂/ kg de aceite del aceite

Tratamiento	Índice de peróxido (meq O ₂ / kg de aceite)		
	Día 0	Día 15	Día 30
Patrón	30	225,0	305,00
1	30	165,0	230,00
2	30	150,0	215,00
3	30	102,5	165,00
4	30	110,0	160,00
5	30	165,0	232,50
6	30	177,5	245,00
7	30	105,0	165,00
8	30	175,0	242,50
9	30	85,0	175,00
10	30	97,5	160,00
11	30	105,0	167,50
12	30	137,5	195,00
13	30	145,0	247,50

ANEXO 6: Valores obtenidos del índice de peróxido del aceite clarificado con carbón activado

Valores obtenidos del índice de peróxido del aceite de palta microencapsulado y patrón después del proceso de clarificación con carbón activado, expresados en meq O₂/ kg de aceite del aceite

Tratamiento	Índice de peróxido (meq O ₂ / kg de aceite)		
	Día 1	Día 15	Día 30
Patrón	5	70	105
1	5	50,0	57,50
2	5	45,0	65,00
3	5	25,0	50,00
4	5	22,5	47,50
5	5	40,0	67,50
6	5	47,5	72,50
7	5	25,0	50,00
8	5	55,0	77,50
9	5	20,0	50,00
10	5	25,0	47,50
11	5	25,0	50,00
12	5	40,0	57,50
13	5	45,0	75,00

ANEXO 7: Fotos

EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALTA

Pelado y cortado de las paltas



Liofilización de la palta



Equipo de CO2 supercrítico

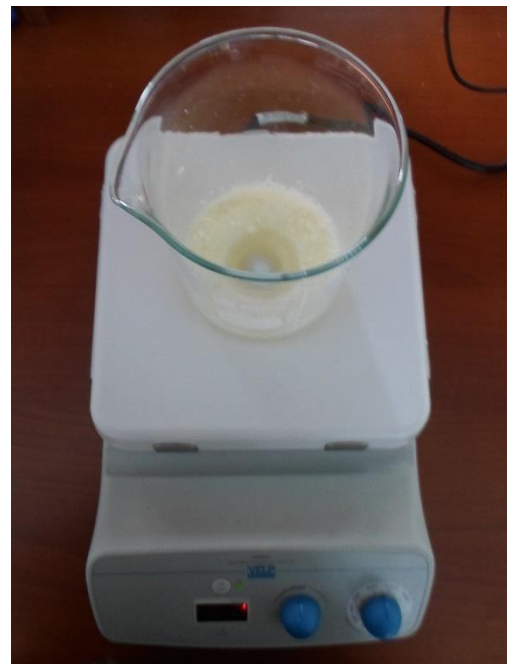
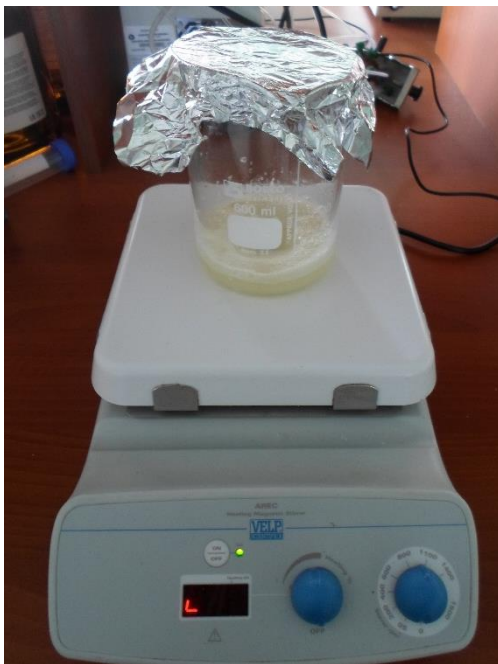


Aceite de palta



MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE PALTA

Preparación de la emulsión



Secado por atomización



ANÁLISIS DE LAS MICROCÁPSULAS

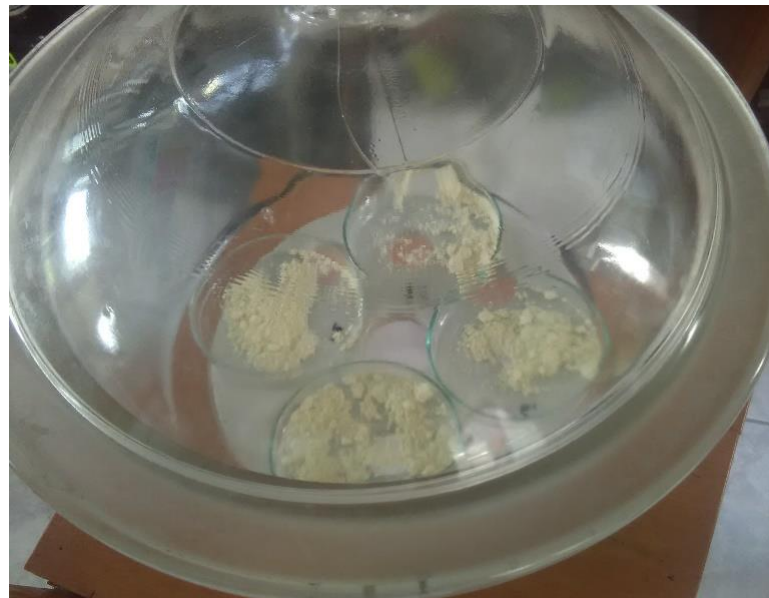
Determinación del aceite superficial



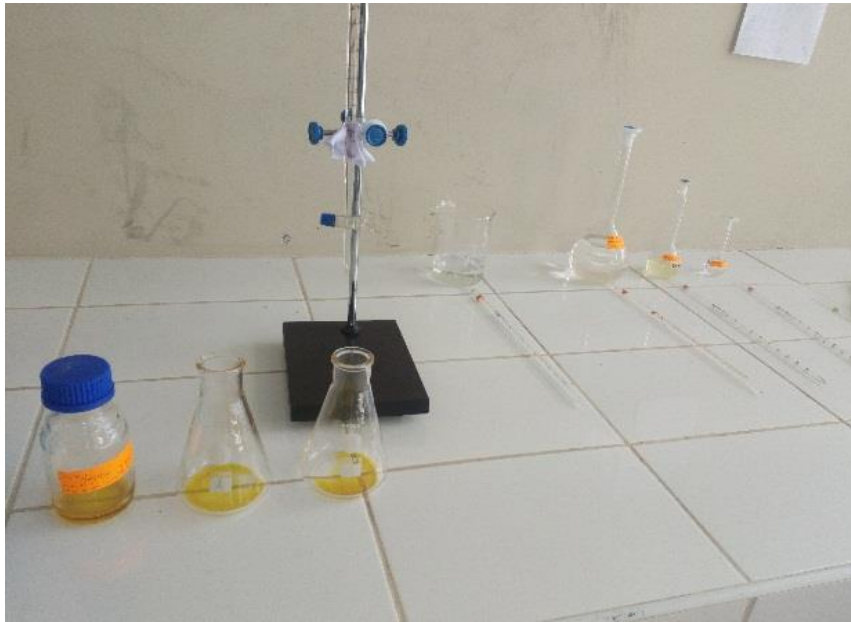
Determinación de aceite total



Determinación de la humedad



Análisis de índice de peróxidos



Análisis de índice de acidez

