

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“OBTENCIÓN DE UN EXCIPIENTE A PARTIR DE SEMILLAS
Y VENAS DE AJÍ AMARILLO (*Capsicum baccatum*) DESPUÉS
DE LA EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES”**

Presentado por:

FRANCISCO JOSÉ ACUÑA SEMINARIO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“OBTENCIÓN DE UN EXCIPIENTE A PARTIR DE SEMILLAS Y
VENAS DE AJÍ AMARILLO (*Capsicum baccatum*) DESPUÉS DE LA
EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES”**

Presentado por:

FRANCISCO JOSÉ ACUÑA SEMINARIO

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

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Walter F. Salas Valerio
PRESIDENTE

Dr. Américo Guevara Pérez
MIEMBRO

Dr. Milber O. Ureña Peralta
MIEMBRO

Mg.Sc. Eduardo R. Morales Soriano
PATROCINADOR

Lima – Perú
2018

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres, Homero y Sandra, quienes me han brindado su apoyo, motivación y consejos durante todas las etapas de mi vida, no siendo el tiempo o espacio una barrera que lo impida. Grandes personas que me han enseñado las simples y complejas cosas que se experimentan día a día, guías que con acciones me han formado, de quienes he aprendido que siempre pueden presentarse inconvenientes pero que está en manos de cada uno resolverlos, ejemplos de personas de los cuales me siento infinitamente orgulloso, de quienes siento un profundo respeto y admiración.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Eduardo Morales, por su paciencia, buen ánimo y generosidad durante el desarrollo de la investigación. Características de su persona que no sólo se dieron al nivel de una relación académica, sino que con el intercambio de experiencias trascendieron en una buena amistad. Le agradezco por su tiempo y su soporte, por compartir sus conocimientos sin esperar mayor retribución que el desarrollar un aporte a la industria de alimentos.

Les agradezco a mis padres Sandra y Homero, quienes con sus palabras alentadoras durante toda mi vida me impulsan a mejorar y exigirme más.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	AJÍ AMARILLO	3
2.1.1	ORIGEN.....	3
2.1.2	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	4
2.1.3	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	4
2.1.4	PRODUCCIÓN	5
2.1.5	USOS.....	5
2.1.6	VALOR NUTRITIVO	6
2.1.7	PRINCIPALES COMPONENTES QUÍMICOS	8
2.1.8	DEGRADACIÓN TÉRMICA DE CAPSAICINOIDES	12
2.2	TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES	12
2.2.1	MACERACIÓN	13
2.2.2	EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA	13
2.2.3	MÉTODO SOXHLET.....	13
2.2.4	EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRA-SONIDO	14
2.2.5	EXTRACCIÓN MEDIANTE FLUIDOS SUPERCRÍTICOS.....	15
2.3	SURFACTANTES	17
2.3.1	TENSIÓN SUPERFICIAL Y CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA (CMC)	17
2.3.2	BALANCE HIDROFÍLICO LIPOFÍLICO (HLB).....	19
2.3.3	ESPUMACIÓN	20
2.3.4	ALQUILPOLIGLUCÓSIDOS (APG)	21
2.3.5	GLUCOPON 600 (COGNIS - HENKEL)	22
2.4	FIBRA DIETARIA	23
2.4.1	DEFINICIÓN	23
2.4.2	COMPONENTES DE LA FIBRA DIETARIA	24
2.4.3	CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA DIETARIA	26
2.4.4	PROPIEDADES TECNOLÓGICAS	28
2.4.5	EFFECTO DE LA MOLIENDA EN LA FIBRA DIETARIA.....	29

III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN	30
3.2	MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	30
3.3	REACTIVOS.....	30
3.4	MATERIALES.....	31
3.5	EQUIPOS	32
3.6	MÉTODOS DE ANÁLISIS	32
3.6.1	ANÁLISIS FÍSICO	32
3.6.2	ANÁLISIS QUÍMICO	34
3.6.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	35
3.7	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	35
3.7.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS SEMILLAS Y VENAS DE AJÍ AMARILLO	36
3.7.2	EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES	37
3.7.3	SECADO DE LA TORTA DE SEMILLAS Y VENAS DE AJÍ AMARILLO.	41
3.7.4	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS SEMILLAS Y VENAS DE AJÍ AMARILLO	42
4.2	EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES	43
4.3	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL	48
V.	CONCLUSIONES.....	54
VI.	RECOMENDACIONES	55
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
VIII.	ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1:	Principales capsaicinoides de frutos Capsicum.....	9
Cuadro 2:	Distintas cadenas laterales que pueden presentar los capsaicinoides naturales.....	10
Cuadro 3:	Tensión superficial de algunos líquidos puros en contacto con el aire o con su propio vapor (20 °C)	18
Cuadro 4:	Valores de la concentración micelar crítica (CMC) para diversos tipos de tensoactivos	19
Cuadro 5:	Aplicaciones generales de los tensoactivos con base en su HLB.....	20
Cuadro 6:	Ventajas e inconvenientes de los APG	22
Cuadro 7:	Componentes de la fibra dietaria	25
Cuadro 8:	Condiciones de fritura	33
Cuadro 9:	Características de agua a emplear.....	39
Cuadro 10:	Análisis proximal de semillas y venas de ají amarillo	42
Cuadro 11:	Volúmenes a evaluar	43
Cuadro 12:	Corridas del <i>Screening</i>	44
Cuadro 13:	Corridas de la optimización	45
Cuadro 14:	Parámetros empleados para minimizar el contenido de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina).....	48
Cuadro 15:	Análisis proximal del producto obtenido.....	49
Cuadro 16:	Capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de moléculas orgánicas (CAMO) y capacidad de hinchamiento (CH) de la harina de semillas y venas de ají amarillo	49
Cuadro 17:	Capacidad de hinchamiento y absorción de aceite de subproductos provenientes de frutas cítricas	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Estructura base de los capsaicinoides.....	9
Figura 2:	Variación típica de la espumabilidad con la concentración del surfactante en fase líquida	20
Figura 3:	Fórmula molecular de alquilpoliglucósidos	21
Figura 4:	Etapas de la metodología experimental.....	36
Figura 5:	Flujo de operaciones de extracción de capsaicinoides y secado de la torta de semillas y venas de ají amarillo	37
Figura 6:	Superficie de respuesta estimada para la minimizar el contenido de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina).....	46
Figura 7:	Contorno de la superficie de respuesta estimada para minimizar el contenido de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina).....	47
Figura 8:	Harina de semillas y venas de ají amarillo.....	48
Figura 9:	Aderezo con reemplazos de 13 por ciento, 26 por ciento y 39 por ciento de pasta de ají amarillo.....	50
Figura 10:	Fritura del aderezo con reemplazos de 13 por ciento, 26 por ciento y 39 por ciento de pasta de ají amarillo.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	CROMATOGRAMA HPLC DE LAS SEMILLAS Y VENAS DE AJÍ AMARILLO FRESCAS	67
ANEXO 2:	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	68
ANEXO 3:	FORMULACIÓN DEL ADEREZO EMPLEADO EN LAS PRUEBAS DE FRITURA	70

RESUMEN

Las semillas y venas constituyen el 20 por ciento (p/p) del ají amarillo y son un subproducto en la formulación de distintos tipos de salsas, este desecho constituido por 30,65 por ciento (base seca) de fibra dietaria insoluble es desechada por su elevado picor de 648 μg de capsaicinoides por gramo de merma ya que modifica considerablemente el perfil del sabor del producto en el que son introducidos. Se extrajeron estos alcaloides, responsables del picor en los ajíes, para aprovechar el subproducto procesado como un excipiente en la formulación de un aderezo. A nivel laboratorio se minimizó su contenido hasta 5,75 μg de capsaicinoides por gramo de harina de semillas y venas de ají amarillo con un rendimiento de 5,65 por ciento utilizando una solución acuosa al 0,1 por ciento de un surfactante comercial (Glucopon 600 marca Cognis) y empleando los siguientes parámetros: 95 °C, 200 rpm de agitación radial en un rotavapor, 40 μm de tamaño de partícula, con una relación de solución acuosa/ materia prima de 4,8/1; durante 7 etapas de 6 minutos cada una. La torta obtenida fue secada a 60 °C durante 30 horas y después de este proceso se determinó que poseía 43,62 por ciento (base seca) de fibra dietaria insoluble, 4,18 ml/g de capacidad de hinchamiento, 482,33 por ciento de capacidad de retención de agua, 418,33 por ciento de capacidad de absorción de moléculas orgánicas y se logró sustituir hasta 39 por ciento de pasta de ají amarillo de una aderezo logrando que este permanezca 90 segundos más sin quemarse que (180 segundos en total) el aderezo sin sustitución a 180 °C en una relación aceite/producto de 1/2.

Palabras clave: Ají Amarillo, Minimización del Picor, Excipiente, Fibra Dietaria Insoluble.

ABSTRACT

The seeds and veins constitute 20 per cent (w/w) of yellow chilies and are a by-product in the formulation of different types of sauces, this waste that contains 30,65 per cent (dry basis) of insoluble dietary fiber is discarded because it has a high pungency of 648 μg of capsaicinoids per gram of decline, which significantly changes the flavor profile of the product where they are introduced. These alkaloids responsible for pungency in chili were extracted to take advantage of by-product processed as an excipient in the formulation of a dressing. A laboratory level was minimized to 5,75 μg content of capsaicinoids per gram of flour of seeds and veins of yellow chili with a yield of 5,65 per cent using a 0,1 per cent aqueous solution of a commercial surfactant (mark Cognis GlucoPON 600) utilizing the following parameters: 95 °C, 200 rpm of radial agitation, 40 μm of particle size, with a ratio of aqueous/raw material of 4,8/1; for 7 stages of 6 minutes each one. The cake obtained was dried at 60 °C for 30 hours and after this process was determined that have 43,62 per cent (dry basis) of insoluble dietary fiber, 4,18 ml/g swelling capacity, 482,33 per cent of capacity water retention; 418,33 per cent of capacity to absorb organic molecules and were able to replace up to 39 per cent of the yellow chili paste of a dressing making this stay without burning 90 seconds more (180 seconds in total) than dressing without substitution at 180 °C in an oil-output ratio of 1/2.

Keywords: Yellow Pepper, Minimization of Pungency, Excipient, Insoluble Dietary Fiber.

I. INTRODUCCIÓN

Para la producción de distintas salsas el ají amarillo muchas empresas desechan aproximadamente el 20 por ciento del fruto para conseguir las características sensoriales en el producto final que el consumidor desea. Esta parte desechada está constituida por las venas y semillas del ají amarillo, las cuales se descartan por su elevado picor ya que oscilan entre 30 000 y 50 000 *Scoville Heat Units* (SHU) (Eshbaugh 1970).

Los capsaicinoides son los compuestos responsables del picor de los ajíes y son los que se extrajeron de las semillas y venas de ají amarillo para que estas sean reaprovechables como un excipiente en la formulación de un aderezo. Existen diferentes procesos de extracción de capsaicinoides como: maceración, extracción con empleo de enzimas, extracción asistida por ultrasonido, extracción por fluidos supercríticos, entre otros; empleando solventes orgánicos como: cloroformo, éter de petróleo, acetona, hexano y alcohol (Contreras-Padilla y Yahia 1998, Santamaría *et al.* 2000, Pastor *et al.* 1997, Duarte *et al.* 2004); los cuales, además de su marcada tendencia apolar (a excepción del alcohol), tienen entre 20 y 30 dinas/cm de tensión superficial. Todos estos procesos buscan obtener capsaicinoides a partir de frutos que comparativamente poseen un elevado picor, como lo es el ají habanero con SHU que fluctúa entre 1 00 000 y 350 000 (Eshbaugh 1970). La mayoría de estos métodos son muy eficientes, se obtiene capsaicina de alta pureza y requieren de tecnología de costo elevado.

Si bien los capsaicinoides son prácticamente insolubles en agua fría (USP/NF 2009), en la presente investigación se planteó la formulación de una solución acuosa cuya tensión superficial sea similar a la de estos solventes orgánicos para poder extraer los capsaicinoides contenidos en las semillas y venas. Además, se buscó diseñar un proceso de extracción que conjugue eficiencia y bajo costo para obtener un producto que pueda ser utilizable en la formulación de un aderezo sin que modifique el perfil sensorial del mismo. Como consecuencia de esto, se podrían reducir los costos de formulación al reintroducir las semillas y venas procesadas; se aprovechó las características funcionales del producto

resultante que por su alto contenido en fibra insoluble poseería resistencia a la fritura (180 °C), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de hinchamiento (CH) y capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO); con lo que se podría contribuir a reducir la contaminación ya que habría menos desechos orgánicos que por sus características físico-químicas y sensoriales no son aprovechados ni en la industria de nutrición animal.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Obtener un excipiente que posea fibra dietaria insoluble a partir de las semillas y venas de ají amarillo para introducirlo en la formulación de un aderezo minimizando el contenido de capsaicinoides empleando una solución acuosa.
- Caracterizar el producto obtenido como un potencial excipiente, mediante la capacidad de retención de agua (CRA), la capacidad de hinchamiento (CH), la capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO) y la resistencia a la fritura (180 °C).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 AJÍ AMARILLO

2.1.1 ORIGEN

Según Perry (2007) los ajíes han sido parte complementaria de la dieta de las civilizaciones americanas ancestrales. Dentro del género *Capsicum* se han descrito más de 31 especies de las cuales cinco son especies domesticadas: *C. annuum* (jalapeño y pimientos), *C. chinense* (habanero, ají panca), *C. frutescens* (tabasco), *C. baccatum* (ají escabeche) y *C. pubescens* (rocoto).

Se considera a Sudamérica como centro de origen del género *Capsicum*, la región comprendida entre México y América Central comprendería el centro de domesticación de la especie *Capsicum annuum*. En el siglo XV esta especie es introducida en Europa a través de las expediciones de Colón, moviéndose rápidamente al resto del mundo. A la llegada de los españoles, ya existían en México diversas variedades de esta especie que fueron llevadas para ser cultivadas en Europa y en colonias españolas y portuguesas. De este modo, *Capsicum annuum* se convierte en la especie de *Capsicum* más distribuida y cultivada, tanto en sus formas picantes (jalapeños) como no picantes (pimientos), teniendo un rol central en las cocinas de Europa, África y muchas regiones de Asia. Otra especie de ají, *Capsicum frutescens*, se considera que fue domesticada en el Caribe (Perry 2007).

En la región Sudamérica, se considera que se domesticaron las otras tres especies restantes: *Capsicum baccatum* en zonas bajas de Bolivia y Perú, *Capsicum chinense* en zonas bajas del norte de la Amazonía y *Capsicum pubescens* en zonas de elevación media en la zona sur de los Andes. Perry (2007) señala que en el Perú se cuenta con evidencia arqueológica (en base a las características de los almidones fosilizados adheridos a utensilios y microfósiles encontrados en centros como Huaca Prieta, Punta Grande y Waynuna) que señala que hace aproximadamente 4 000 años se cultivaba en la costa y en las partes altas

de los Andes al menos tres especies distinguibles de *Capsicum*: *C. baccatum*, *C. pubescens*, *C. chinense*.

2.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Di Fabio *et al.* (2001) proponen la siguiente clasificación del género *Capsicum* y mencionan que se reconocen de veinte a treinta especies nativas del género provenientes de áreas tropicales y subtropicales de América.

Reino: *Plantae*
División: *Angiospermae*
Clase: *Dicotyledoneae*
Subclase: *Metachlamydeae*
Orden: *Tubiflorae*
Familia: *Solanaceae*
Tribu: *Solaneae*
Subtribu: *Solaninae*
Género: *Capsicum*
Sección: *Tubocapsicum*, *Pseudoacnistus* y *Capsicum*.

2.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Las especies del género *Capsicum* son arbustos perennes en sus áreas de origen (zonas cálidas) pero en climas más fríos crecen como especies anuales. Esto no impide que hayan cultivares anuales en sus áreas de origen (Orbegozo 1954).

Las plantas son altas en forma de árbol, pudiendo alcanzar 1,5 m. Tienen múltiples ramas con hábito erecto, ocasionalmente extendidas, y el tallo es cuadrado. Las hojas son grandes, de color verde oscuro, pueden medir 20 cm de longitud y 10 cm de ancho (Orbegozo 1954).

Esta especie, *C. baccatum*, posee corolas florales de color que van del blanco al color crema con manchas que pueden ser verde oscuro, amarillas o marrones, que la distingue del resto de especies domesticadas. Las anteras son amarillas o marrón claro. Existe una

forma silvestre (*var. baccatum*) y una domesticada (*var. pendulum*). La forma silvestre muestra frutos erectos de pequeño tamaño (4 a 13 mm de largo), únicamente de color rojo y no persistente (el cáliz se separa del fruto). La forma domesticada muestra mayor variación de color, forma y tamaño (48 a 172 mm de largo) (Eshbaugh 1970).

2.1.4 PRODUCCIÓN

El ají amarillo es cultivado en Argentina, Colombia, Ecuador, Brasil, Perú y Bolivia; y ha sido introducida en Costa Rica, India y los Estados Unidos. Los frutos son inicialmente erectos y cuelgan al madurar. Las plantas pueden producir 40 o más frutos. El picor en esta especie puede variar mucho, desde variedades con frutos muy suaves hasta formas muy picantes (entre 30 000 y 50 000 SHU) (Eshbaugh 1970).

Las plantas requieren un periodo de crecimiento de 120 días o más para lograr la madurez de sus frutos.

2.1.5 USOS

Heinerman (1997) menciona que el ají amarillo posee numerosas aplicaciones, resaltando las siguientes:

a. Ingrediente en comidas

Cuando madura reconociéndolo por el color naranja intenso se emplea en infinidad de platos, teniendo la pulpa del fruto un sabor frutado y un picante suave. Mientras que las venas comparativamente poseen elevado picor.

b. Alivio del dolor

En caso de dolor articulares y musculares, la capsaicina es estimulante de ciertos receptores del dolor lo cual en tratamientos prolongados agota el neurotransmisor «P», encargado de transmitir la señal de dolor y asociado a los procesos inflamatorios por la sobre-reacción del sistema inmune. La aplicación de capsaicina tiene efectos analgésicos y desinflamatorios. Recomendado en caso de dolores crónicos. El producto comercial apareció como «Axsain».

c. Expectorante

El consumo del ají hervido funcionaría como expectorante debido a que estimula mayor producción y expectoración de mucosidad.

d. Protector gástrico

Estimula la secreción de mucus estomacal, lo cual ayuda a prevenir úlceras.

e. Estimulante del tránsito intestinal

El efecto de la capsaicina no digerida estimularía el tránsito intestinal pues favorece los movimientos peristálticos del intestino.

f. Suplemento de vitamina C

Al ser rico en vitamina C puede actuar como suplemento, contiene mayor cantidad que los frutos cítricos, siempre y cuando sea consumido sin moler y sin cocer ya que al molerlo se expone el ácido ascórbico al oxígeno por lo que se oxida y al cocerlo se desnaturaliza el ácido ascórbico por efecto de la temperatura.

g. Posible reductor de células cancerígenas

Capaz de inhibir el crecimiento dependiente de andrógenos en células cancerígenas de seno, colon, adenocarcinoma gástrico y de próstata.

h. Empleo como colorante

Extractos coloridos son empleados como tintes naturales, previo tratamiento para disipar la capsaicina.

i. Usado para «destetar» bebés

Uso tradicional en zonas rurales del Perú, la madre se frota un poco de ají en el pezón para desalentar al bebé con el sabor picante.

2.1.6 VALOR NUTRITIVO

Los mayores componentes químicos presentes en frutos de especies capsicum son carbohidratos, proteínas, grasas y fibras. Entre los azúcares se han identificado fructosa, glucosa, galactosa y sacarosa, siendo la fructosa la más abundante. De hecho, con la

glucosa, representan cerca del 70 por ciento de los azúcares reductores (Di Fabio *et al.* 2001).

También se han aislado ácido cítrico, succínico, fumárico, málico, entre los cuales, el ácido cítrico es el más abundante (Polasek-Raez *et al.* 1981). En las semillas, se encuentra mayor concentración de grasas y dependiendo de la especie, estas pueden encontrarse entre el 9 por ciento y 16 por ciento. Las semillas de *Capsicum annuum L.*, contienen aceites con números de yodo que varían entre 133 y 139; número de saponificación alrededor de 190 y materia insaponificable del orden de 1,7 por ciento (Di Fabio *et al.* 2001).

Los *Capsicum* tienen marcada importancia en la industria alimentaria porque presentan componentes con valiosas propiedades, así, se les usa como especias por su color y pungencia debido a los carotenoides y capsaicinoides presentes en los frutos, ello sin desestimar el suave aroma que le confieren los aceites esenciales perceptibles en la pprika y en los frutos secos (Di Fabio *et al.* 2001).

Desde el punto de vista nutricional, es relevante el contenido de vitamina C. El contenido de la vitamina C en muchas variedades de la pprika es del orden 340 mg/100 g de muestra y en los capsicum secos del orden de 30 – 60 mg/100 g (Di Fabio *et al.* 2001).

Maga (1975) ha demostrado que los ajíes tambien son una buena fuente de vitamina A y de complejo B, sabiéndose de contenidos de 3 350 a 4 915 UI de vitamina A. En frutos frescos, los mismos autores informan que se ha encontrado tambien vitamina E en cantidades de 3 a 10 mg/100 g. Adicionalmente, se conoce que las oleorresinas de pprikas recientemente preparadas pueden tener a 10 mg/g de alfa-tocoferol, ayudando esto a mantener su estabilidad.

Finalmente, Ksheyoglow y Monoussopougras (1977) confirmaron la presencia de 14 aminoácidos en ajíes verdes y 16 en pprika, siendo la aspargina y la prolina los compuestos predominantes. Aparte de los compuestos mencionados, los carotenoides y los capsaicinoides son los compuestos más estudiados por ser los compuestos responsables del color y la pungencia respectivamente.

2.1.7 PRINCIPALES COMPONENTES QUÍMICOS

Los principales componentes químicos encontrados en el ají amarillo se detallan a continuación.

a. Capsaicinoides

- Características químicas

Los capsaicinoides son los compuestos que le dan el sabor picante a los diversos ajíes, los cuales son un grupo de amidas ácidas formados a partir de la vanillilamina y ácidos grasos de 8 a 13 átomos de carbono, entre los cuales destacan dos, la capsaicina, (*E*)-*N*-[(4-hidroxifenil)metil]-8-metil-6-nonenamida, y la dihidrocapsaicina, que es el 6,7-dihidroderivado de la capsaicina. Estos dos capsaicinoides mayoritarios representan por lo general el 90 por ciento de los capsaicinoides totales presentes en las variedades picantes de ajíes (Bennett y Kirby 1968). El siguiente capsaicinoide en importancia es la nordihidrocapsaicina, que por lo general está presente en proporciones que oscilan del 4 al 8 por ciento del total de capsaicinoides presentes en los pimientos. Además de estos tres compuestos mayoritarios, más de 12 capsaicinoides han sido encontrados como compuestos minoritarios (Constant y Cordell 1995). Algunos de estos capsaicinoides minoritarios son: nordihidrocapsaicina, norcapsaicina, homocapsaicina I, homocapsaicina II, homodihidrocapsaicina I, homodihidrocapsaicina II, nornorcapsaicina, nornornorcapsaicina, nonivamida, vanillilamida del ácido decílico y vanillilamida del ácido caprílico.

Por lo general, la capsaicina es el capsaicinoide mayoritario presente en las variedades picantes de ajíes, pero no es extraño encontrar variedades de ajíes en las cuales el capsaicinoide más abundante sea la dihidrocapsaicina. La capsaicina y la dihidrocapsaicina son los compuestos más importantes de este grupo, debido a la concentración en que se presentan y por su alta pungencia (Zewdie y Bosland 2001).

El esqueleto base de los capsaicinoides tiene la estructura que se observa en la figura 1.

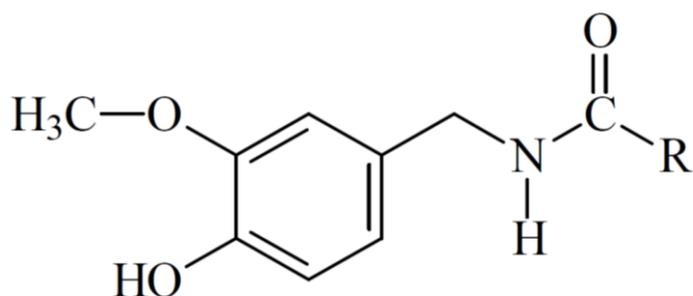


Figura 1: Estructura base de los capsaicinoides.

FUENTE: Tomado de Zewdie y Bosland 2001

Entre los distintos capsaicinoides que se presentan en el género *Capsicum* se encuentran los que a continuación se muestran en los cuadros 1 y 2.

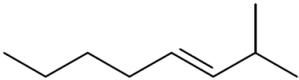
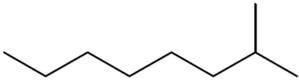
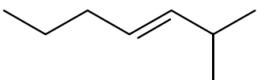
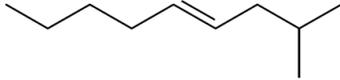
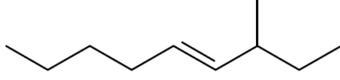
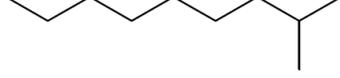
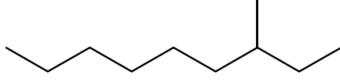
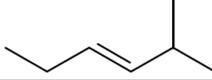
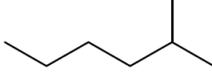
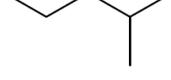
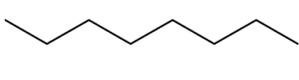
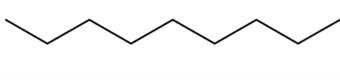
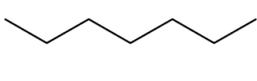
Cuadro 1: Principales capsaicinoides de frutos *Capsicum*

NOMBRE	PM	FÓRMULA	NOMBRE (R)	PUNGENCIA
Capsaicina	305,3	C ₁₈ H ₂₇ O ₃ N	8-metilnon-trans-6-enoilo	1,00
Dihidrocapsaicina	307,4	C ₁₈ H ₂₉ O ₃ N	8-metilnonanoilo	0,50
Nordihidrocapsaicina	293,4	C ₁₇ H ₂₇ O ₃ N	7-metiloctanoilo	0,50
Homocapsaicina	319,4	C ₁₉ H ₃₁ O ₃ N	9-metil-deca-trans-7-enoilo	-
Homodihidrocapsaicina	321,4	C ₁₉ H ₃₃ O ₃ N	9-metildecanoilo	0,25
	321,4	C ₁₉ H ₃₃ O ₃ N	8-metildecanoilo	0,25
	319,4	C ₁₉ H ₃₁ O ₃ N	9-metildec-trans-6-enoilo	-
	279,4	C ₁₆ H ₂₅ O ₃ N	octanoilo	0,75
	293,4	C ₁₇ H ₂₇ O ₃ N	nonanoilo	1,00
	307,4	C ₁₈ H ₂₇ O ₃ N	decanoilo	0,50
	321,4	C ₁₉ H ₃₃ O ₃ N	undecanoilo	0,25
	335,4	C ₂₀ H ₃₅ O ₃ N	dodecanoilo	0,25
	293,4	C ₁₇ H ₂₇ O ₃ N	6-metiloctanoilo	1,00

FUENTE: Tomado de Suzuki e Iwai 1984

Dependiendo del número de carbonos de la cadena lateral (R) o de si poseen o no insaturaciones podemos tener los distintos capsaicinoides naturales que existen, tal como vienen recogidos en el cuadro 2 en la que se representan las cadenas más abundantes presentes en los capsaicinoides en la naturaleza.

Cuadro 2: Distintas cadenas laterales que pueden presentar los capsaicinoides naturales

R =	NOMBRE
	Capsaicina
	Dihidrocapsaicina
	Norcapsaicina
	Nordihidrocapsaicina
	Homocapsaicina I
	Homocapsaicina II
	Homodihidrocapsaicina I
	Homodihidrocapsaicina II
	Nornorcapsaicina
	Normordihidrocapsaicina
	Nornornordihidrocapsaicina
	Nonivamida
	Vanillilamida del a. Decílico
	Vanillilamida del a. Caprílico

FUENTE: Tomado de Fernández 2007

- **Características físicas**

La capsaicina posee una fórmula molecular $C_{18}H_{27}NO$, a la cual le corresponde un peso molecular de 305,40 g/mol, y es identificada por un número CAS 1404-86-4, su forma cristalográfica pertenece al sistema monoclinico, láminas rectangulares, su punto de fusión es 65 °C y el de ebullición está entre 210-220 °C, la presión de vapor a 25 °C no es significativa, su máxima absorción entre 227-281 (ϵ 7 000, 2 500) posee un color rojo-naranja, pudiéndose almacenar durante años en forma estable (Tucker 1996).

Según la HSDB (2006) los capsaicinoides tienen una solubilidad de 10,3 mg/l de agua a 25 °C.

En agua, la capsaicina y derivados son detectables por los humanos con sensibilidad diferencial según individuos en niveles superiores a 0,033-0,1 mg/Kg (Krajewska y Powers 1987b).

- **Ubicación en la planta**

Los capsaicinoides hasta el momento únicamente se han descrito en los frutos de las plantas del género *Capsicum*. Trabajos publicados sobre la biosíntesis de estos compuestos (Koop y Jurenitsch 1981) han demostrado que la parte vanillilamina de la molécula es sintetizada a partir de la vía de los fenilpropanoides y la parte procedente del ácido graso proviene de los aminoácidos leucina, valina o isoleucina. El paso final combina ambas partes y se piensa que ocurre en las membranas de las vacuolas de las células de la placenta del fruto.

De esta forma los capsaicinoides se acumulan en las vacuolas y posteriormente se produce una secreción extracelular (Kirschbaum-Titze *et al.* 2002b). Se sabe que los capsaicinoides son biosintetizados y acumulados en la placenta de los ajíes (Iwai *et al.* 1979). Se ha examinado la estructura celular de la placenta usando un microscopio óptico y se ha observado que durante la maduración tienen lugar algunos cambios morfológicos en el tejido epidérmico de la placenta.

b. Carotenoides y otros pigmentos

En *Capsicum* se han identificado más de 30 carotenoides, que pueden agruparse por sus propiedades cromóforas en rojos, amarillos y naranjas (Bosland y Votava 2000). Entre los de tipo rojo destacan capsantina y capsorubina, mientras que B-caroteno, B-criptoxantina y zeaxantina suelen predominar entre los de tipo amarillo/naranja (Wall *et al.* 2001, Homero-Méndez, Mínguez-Mosquera 2001). Estos carotenoides destacan por sus propiedades antioxidantes, antitumorales y algunos como B-caroteno y b-criptoxantina son precursores de la vitamina A (Wall *et al.* 2001, Rodríguez-Burruezo y Nuez 2006).

Según Cubero *et al.* (2002) la capsantina ($C_{40}H_{56}O_3$) y la capsorubina ($C_{40}H_{56}O_4$) son estables al pH, temperatura y luz; pero poco estable a las reacciones Redox. Además, son solubles en aceite e insolubles en agua.

2.1.8 DEGRADACIÓN TÉRMICA DE CAPSAICINOIDES

Schweiggert *et al.* (2006) afirman que el procesamiento térmico al que son sometidos los capsaicinoides durante el secado y/o extracción, a temperaturas de hasta 100 °C, ocasiona una degradación térmica que puede ir desde 21,7 por ciento hasta 28,3 por ciento del contenido inicial de capsaicinoides. Henderson *et al.* (1992) mencionan que los principales productos de descomposición térmica a 200 °C y presión atmosférica son la 8-methyl-6-nonenamida, vainillina y ácido 8-metil-6-nonenoico. Además, Ahmed (2004) reporta que el tratamiento del ají fresco a una temperatura de 100 °C durante 15 minutos, ocasiona una pérdida de capsaicina del 19,1 por ciento. Por otro lado, Pordesimo *et al.* (2004), quienes estudiaron la degradación térmica de capsaicinoides presentes en el ají jalapeño fresco durante el secado no convectivo a varias temperaturas, aseguran que no existe una pérdida significativa de capsaicinoides por descomposición térmica, al menos operando a temperaturas entre 27 y 85 °C. Esto indica que la degradación térmica ocurre arriba de los 85 °C, de acuerdo a las experiencias reportadas por estos investigadores.

2.2 TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES

Entre los métodos de extracción y solventes utilizados tradicionalmente para la extracción de capsaicinoides se encuentran los siguientes:

2.2.1 MACERACIÓN

Según Fernández (2007) es una operación unitaria que consiste en sumergir un sólido en un líquido o solvente para extraer las partes solubles. Hay diversos autores que han utilizado la maceración-agitación de la muestra para la remoción de capsaicinoides. Kirschbaum-Titze *et al.* (2002a) extrajeron mediante maceración cantidades de 10 g de muestras frescas de pimientos, con un volumen de 30 ml de metanol. Previa a la maceración, se homogeneizaba la muestra con el disolvente durante un minuto. La extracción se realizaba a temperatura ambiente durante 30 minutos.

Contreras-Padilla y Yahia (1998) realizaron la extracción mediante agitación magnética constante y sin reflujo de disolvente de muestras secas de pimientos durante cuatro horas a una temperatura de 80 °C, empleando como disolvente el acetonitrilo.

2.2.2 EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA

Este tipo de extracción se basa en emplear enzimas para romper las paredes celulares donde están contenidos los capsaicinoides para potenciar la extracción de estos mediante un solvente (Fernández 2007). Santamaría *et al.* (2000) desarrollaron un método enzimático de extracción de capsaicinoides a partir del pimiento Chili Guajillo Puya (*Capsicum annum L.*) seco y triturado usando etanol como disolvente. Compararon la eficacia del etanol para la extracción de capsaicinoides con muestras tratadas y sin tratar con enzimas. Observaron que en las extracciones en las que no se había tratado enzimáticamente a las muestras se conseguía extraer un 80 por ciento de los capsaicinoides totales presentes en el pimiento. Si antes de la adición del solvente se trataba a las muestras de pimientos con enzimas la cantidad de capsaicinoides extraídos posteriormente con el metanol se incrementaba en 7 por ciento.

2.2.3 MÉTODO SOXHLET

Ésta es una técnica de extracción en semicontinuo pues una de las fases, el sustrato, se agrega solo al principio mientras que el disolvente de extracción cumple un ciclo de extracción y purificación continua. La purificación se realiza en forma paralela por destilación del disolvente, de manera que el sustrato siempre está en contacto con el

disolvente puro. Es útil en escala de laboratorio a pesar de que la extracción no tenga una alta eficiencia, pues la regeneración del disolvente se realiza automáticamente evitando excesivas manipulaciones (Fernández 2007).

Globade *et al.* (1997) y Korel *et al.* (2002) han utilizado esta técnica para la extracción de capsaicinoides. Ellos trabajaron a partir de 10 g de pimientos rojos secados previamente, por recirculación de 250 ml de acetona en un extractor tipo Soxhlet durante cinco horas.

Krajewska y Powers (1987a) también utilizaron esta técnica para la extracción de capsaicinoides en pimientos picantes de muy diversas clases y procedencias. Para ello realizaban la extracción de las muestras de pimientos bien secos o liofilizados, durante tres horas con 150 ml de acetona.

2.2.4 EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRA-SONIDO

Según Fernández (2007) este método se basa en el empleo de la energía derivada de los ultrasonidos para facilitar la extracción, a partir de la muestra, de los analitos por el disolvente orgánico seleccionado en función de la naturaleza de los solutos a extraer. La aplicación de los ultrasonidos en un medio líquido provoca el fenómeno de la «cavitación»; durante la primera fase, la depresión, se crea en el interior del líquido una infinidad de burbujas (cavidades); durante la segunda fase, la compresión, la enorme presión ejercida sobre estos puntos hacen que estos se compriman hasta hacerlos colapsar en sí mismos (implosión) o simplemente acumular energía para volver a pasar a la primera fase, con el consiguiente desprendimiento de energía que a su vez imprime una velocidad o flujo dentro del fluido produciendo un movimiento de masa. La extracción se ve facilitada y acelerada gracias a esa energía.

Los resultados obtenidos con la extracción asistida por ultra-sonido son similares a los de una extracción Soxhlet pero la duración no suele ser superior a los 30 minutos en la mayoría de los casos. En algunos, se han obtenido recuperaciones similares a las logradas con la extracción asistida por microondas (Pastor *et al.* 1997).

Los ultrasonidos han sido empleados como una herramienta para la extracción de capsaicinoides en pimientos. Varios autores han aplicado esta técnica de extracción a la

hora de analizar los capsaicinoides presentes en los pimientos. Karnka *et al.* (2002) optimizaron la extracción de capsaicinoides en muestras de pimientos picantes mediante ultrasonido. Optimizaron el tiempo de extracción, así como el volumen de disolvente a utilizar. Para ello utilizaron cantidades de muestras de 0,3 g y las sometieron a ultrasonidos con volúmenes de 10, 15, 20, 30 y 40 ml de acetonitrilo durante 60 minutos. También con la misma cantidad de muestra, se realizaron extracciones con 10 ml de acetonitrilo durante 10, 30, 45, 60, 75 y 105 minutos. Como resultado del trabajo, se obtuvo que las mejores condiciones de extracción fueron 60 minutos usando como volumen de disolvente 10 ml.

Daood *et al.* (2002) realizaron la determinación de capsaicinoides en pimiento pprika picante (*Capsicum annuum L.*) mediante extracci3n con ultrasonidos en comparaci3n con la extracci3n mediante fluidos supercríticos. Para ello tomaban 1 g de pimiento y lo extraan con 10 ml de metanol en un baño de ultrasonidos durante 10 minutos.

2.2.5 EXTRACCI3N MEDIANTE FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

La metodología se basa en el principio de que un fluido (gas) por encima de su punto crítico exhibe las propiedades de solvataci3n de un disolvente líquido. La mayor ventaja de esta técnica sobre los métodos tradicionales de preparaci3n de muestras es el uso de fluidos supercríticos no t3xicos como el di3xido de carbono. Los fluidos supercríticos tienen propiedades únicas que los sitúan entre los líquidos y los gases. Sus viscosidades son mucho menores que las de los líquidos y sus tensiones superficiales son muy bajas. Por ello pueden penetrar en los poros de los s3lidos mucho más fácilmente que los líquidos. Sus densidades, sin embargo, son mucho mayores que las de los gases, por lo que sus capacidades para llevar materiales disueltos son también similares a las de los líquidos (Fernández 2007).

Duarte *et al.* (2004) han desarrollado métodos de extracci3n de capsaicinoides mediante fluidos supercríticos. Daood *et al.* (2002) estudiaron la extracci3n de capsaicinoides a partir de una oleoresina proveniente de pimiento pprika (*Capsicum annuum L.*) mediante fluidos supercríticos, utilizando para ello CO₂. La solubilidad de la oleoresina fue estudiada a temperaturas comprendidas entre 35 y 55 °C y presiones entre 100 y 400 bar. Las mejores condiciones de extracci3n que se observaron para los capsaicinoides fueron utilizándose presiones de 400 bar a una temperatura de 55 °C.

Del Valle *et al.* (2003) estudiaron la extracción de capsaicinoides del pimiento Jalapeño (*Capsicum annuum L.*) mediante fluidos supercríticos, usando para ello el CO₂. Se estudiaron presiones comprendidas entre los 120 y 320 bar a 40 °C. Como resultado se obtuvo una mayor cantidad de capsaicinoides en menos tiempo, utilizando presiones de 320 bar, observándose que, a los 30 minutos, a esa presión, ya se habían extraído la mayor parte de los capsaicinoides presentes en la muestra.

Yao *et al.* (1994) extrajeron la capsaicina y la dihidrocapsaicina, usando la extracción mediante fluidos supercríticos (CO₂) y mediante disolventes orgánicos, de pimientos *Capsicum annuum var. Scotch Bonnet*, obteniéndose mejores resultados mediante el empleo de fluidos supercríticos.

Peusch *et al.* (1997) compararon también la técnica de extracción mediante fluidos supercríticos con la extracción empleando disolventes orgánicos, para los capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina). Se compararon los resultados obtenidos con ambos métodos y se observó que los resultados obtenidos mediante el empleo de la extracción mediante fluidos supercríticos eran similares o incluso algo inferiores que los obtenidos con disolventes orgánicos. Desarrollaron además un método de extracción mediante fluidos supercríticos, que usaba una temperatura de extracción de 80 °C, una densidad de 0,75 g/ml y adición de modificador (agua).

Sato *et al.* (1999) desarrollaron otro método de extracción con fluidos supercríticos (CO₂) para la extracción de capsaicinoides a partir de placentas de pimientos del tipo *Capsicum annuum cv. Jalapeño*. Utilizaron alícuotas de 0,1 ml de metanol como aditivo para mejorar la eficiencia de extracción. La placenta (2-80 mg) era extraída con CO₂ supercrítico durante cinco minutos a un flujo de disolvente de 5 ml/min a 40 °C y a una presión de 200 Kg/cm².

Gnayfeed *et al.* (2001) estudiaron la extracción de capsaicinoides a partir de pimientos del tipo *Capsicum annuum L. var SZ-178* mediante esta técnica, empleando temperaturas comprendidas entre 35 y 55 °C y presiones en un rango que oscilaba entre los 100 y 400 bar. Comprobaron que las mejores condiciones para la extracción de capsaicinoides fueron 400 bar de presión y una temperatura de 55 °C. Con estas condiciones comprobaron que se recuperaba un 93 por ciento del contenido total de capsaicinoides en la muestra. También

comprobaron que la solubilidad de los capsaicinoides incrementaba 3,6 veces al subir la presión de 200 a 400 bar a la temperatura de 55 °C.

2.3 SURFACTANTES

Los tensoactivos son moléculas anfifílicas que reducen la tensión en la interfase (Gautam y Tyagi 2006). Debido a esta propiedad, las moléculas de los tensoactivos se ubican en la interfase de fluidos como son los sistemas «aceite/agua» y «aire/agua» (Stoyanov *et al.* 2003).

La actividad de los tensoactivos comúnmente se relaciona con cambios de la tensión superficial de los líquidos. Los gradientes de tensión superficial, debido a la presencia de moléculas de un tensoactivo en las interfases aire/agua o aceite/agua, son determinados mediante tensiómetros (Makkar y Cameotra 1998).

Los tensoactivos químicos, según su estructura hidrofílica, pueden subclasificarse en iónicos y no iónicos. Los tensoactivos iónicos se caracterizan por presentar en su estructura hidrofílica grupos funcionales con cargas eléctricas negativas (aniónicos) o positivas (catiónicos), mientras que los no iónicos no presentan carga (Jiménez *et al.* 2008).

Dentro de los tensoactivos aniónicos, dos de los más importantes por su aplicación a nivel industrial son el lauril sulfato de sodio y el dodecil bencen sulfonato de sodio; entre los catiónicos, los más importantes son los derivados de las sales de alquil trimetil amonio. Los alquil fenol etoxilatos son los tensoactivos no iónicos más ampliamente usados, destacando las series del tritón y el tergitol (Jiménez *et al.* 2008).

2.3.1 TENSIÓN SUPERFICIAL Y CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA (CMC)

La tensión superficial termodinámicamente se considera como la tendencia que presenta un líquido a disminuir su superficie hasta un punto en la que su energía potencial de superficie sea mínima, siendo esta la razón por lo que las gotas pequeñas de los líquidos presentan forma esférica y las de mayor tamaño sufren deformaciones por acción de la gravedad

(Lewis 1993). Los valores de tensión superficial de algunos líquidos puros a 20 °C se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3: Tensión superficial de algunos líquidos puros en contacto con el aire o con su propio vapor (20 °C)

LÍQUIDO	TENSIÓN SUPERFICIAL TEÓRICA (DINA/CM)
Acetona	3,70
Alcohol etílico	22,75
Benceno	28,85
Éter etílico	17,01
Tolueno	28,50
Agua	72,75

FUENTE: Tomado de Ortega 2007

Según Jiménez *et al.* (2008) la concentración de tensoactivos en la que se alcanza la mínima tensión superficial es denominada concentración micelar crítica (CMC); es también la concentración de tensoactivos por debajo de la cual las micelas se forman espontáneamente. La CMC es un parámetro característico para cada tensoactivo. Para valores inferiores a esta concentración, todo el tensoactivo presente en solución se encuentra en forma de monómeros ubicados en la interfase agua – aire, mientras que, a valores más altos, algunas moléculas de tensoactivo se encuentran en forma micelar. En el cuadro 4 se muestran los valores de la CMC para diferentes tipos de tensoactivos.

Cuadro 4: Valores de la concentración micelar crítica (CMC) para diversos tipos de tensoactivos

Grupo tensoactivo	CMC (mM)
Alquil sulfato de sodio	
i) C ₁₂ SO ₄ Na (dodecil sulfato de sodio)	3.92
ii) C ₁₀ SO ₄ Na (decil sulfato de sodio)	30.3
iii) C ₁₄ SO ₄ Na (tetradecil sulfato de sodio)	0.87
Alquil etoxilato éteres	
i) C ₁₂ E ₄ (Brij-30)	0.02-0.04
ii) C ₁₂₋₁₅ E ₄ (Neodol 25-9)	0.09
iii) C ₁₂ E ₂₃ (Brij-35)	0.06-0.08
Alquilfenol etoxilato éteres	
i) C ₈ PE _{9.5} (Triton X-100)	0.24
ii) C ₈ PE ₁₂ (Igepal CA-720)	0.6
iii) C ₉ PE _{10.5} (Tergitol NP-10)	0.054-0.08
Polioxietileno sorbital ésteres	
i) Tween 20 (monolaurato) w+x+y+z=20, R = C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.49
i) Tween 80 (monooleato) w+x+y+z=20, R = C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0.01
Ramnolipidos	55-165mgL ⁻¹

Donde:

$E_m = -(OC_2H_4)_mOH$: grupo etoxilato

$C_n = C_nH_{2n+1}$: n-alkil

$P = -C_6H_4-$: fenil

FUENTE: Tomado de Liu *et al.* 1991 y Costa *et al.* 2006

2.3.2 BALANCE HIDROFÍLICO LIPOFÍLICO (HLB)

El HBL es un valor que representa la capacidad de un tensoactivo para formar emulsiones estables en sistemas agua/aceite o aceite/agua, al compararse con valores estándar establecidos de HBL para los tensoactivos ácido oleico (HBL = 1) y oleato de sodio (HBL = 20). De esta manera, valores de HBL cercanos a uno indican que el tensoactivo forma emulsiones estables en sistemas agua/aceite, mientras que valores de HBL cercanos a 20 señalan su capacidad para formar emulsiones estables en sistemas aceite/agua. En el

cuadro 5 se da una clasificación general en la aplicación de los tensoactivos de acuerdo a los intervalos del HLB (Jiménez *et al.* 2008).

Cuadro 5: Aplicaciones generales de los tensoactivos con base en su HLB

HLB	APLICACIÓN
4-6	Emulgantes para sistemas agua-aceite
7-9	Agentes humectantes
8-18	Emulgantes para sistemas aceite-agua
13-15	Detergentes
10-18	Solubilizadores

FUENTE: Tomado de Jiménez *et al.* 2008

2.3.3 ESPUMACIÓN

La disminución de la tensión superficial entre un líquido y el aire hace que la superficie del líquido pueda deformarse con extrema facilidad y provocar la inclusión de burbujas con aire (Salager *et al.* 2003).

La concentración del surfactante es un factor muy importante, ya que a bajas concentraciones la tensión superficial se parece a la del agua, y por tanto no hay un gradiente de tensión apreciable por estiramiento de la película. Esto concuerda con las medidas experimentales que indican que la espumabilidad aumenta a medida que la concentración de surfactante se incrementa hasta la concentración micelar crítica (CMC), y que a continuación ésta tiende a invertirse como lo indica la figura 2 (Salager *et al.* 2003).

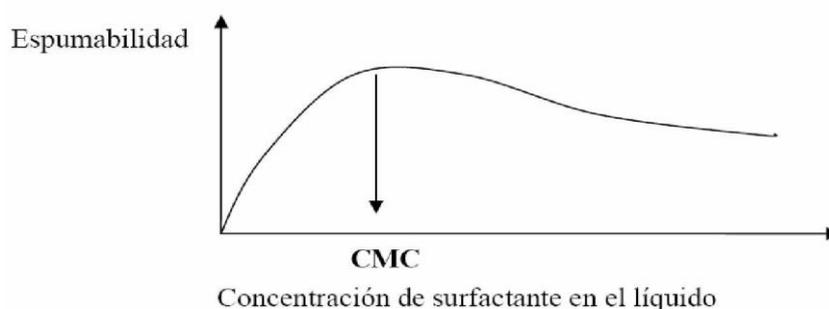


Figura 2: Variación típica de la espumabilidad con la concentración del surfactante en fase líquida.

FUENTE: Tomado de Salager *et al.* 2003

2.3.4 ALQUILPOLIGLUCÓSIDOS (APG)

Los alquilpoliglucósidos, APG, son tensoactivos no iónicos derivados de carbohidratos y de aceites vegetales a los que la comunidad científica está prestando gran atención en la actualidad. Esto debido a que poseen interesantes propiedades interfaciales (Nickel 1992), muestran excelentes propiedades ecológicas y toxicológicas (Andree y Middelhaue 1991, Sánchez-Leal 1997). Por otro lado, pueden obtenerse a partir de productos de origen animal renovable (Von Rybinski y Hill 1998).

Emil Fisher (1983) sintetizó e identificó el primer alquilpoliglucósido, APG. Sin embargo, estos productos sólo tuvieron interés académico y no fueron utilizados de forma comercial, hasta que en los años 40 - 50 varias compañías desarrollaron los procesos necesarios para su fabricación.

La fórmula molecular del alquilpoliglucósido se muestra en la figura 3.

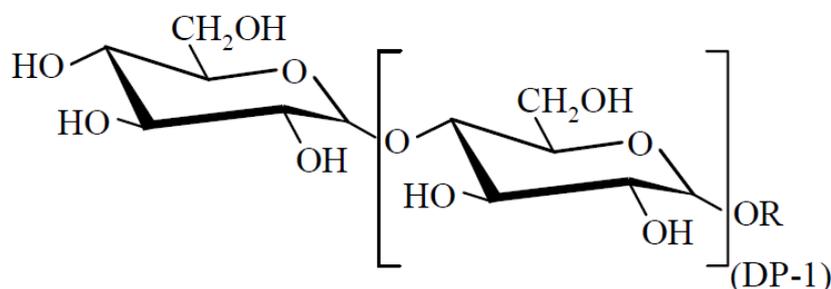


Figura 3: Fórmula molecular de alquilpoliglucósidos.

FUENTE: Tomado de Ortega 2009

Las materias primas para la fabricación de APG son los alcoholes grasos y distintas fuentes de carbohidratos. Los alcoholes grasos se pueden obtener a partir de fuentes petroquímicas o de fuentes naturales renovables, tales como grasas y aceites; estos alcoholes grasos que proporcionan al APG la parte hidrofílica de la molécula se obtienen después de la transesterificación y fraccionamiento de grasas y aceites, por hidrogenación posterior de los correspondientes ésteres metílicos de ácidos grasos (Ortega 2009).

La fórmula general de los APG suele representarse por C_xG_y , donde «X» representa el número de carbonos de la cadena alquílica e «Y» el número de unidades de glucosa. La estructura formal es del tipo acetal con un grupo alquílico de entre 8 y 16 carbonos, y un grado de polimerización (número medio de unidades de glucosa por radical alquílico) superior a uno y normalmente inferior a 2; entre 1,3 y 1,7 (Ortega 2009).

Según Ortega (2009), las ventajas de los APG desde el punto de vista industrial, comercial, para la salud y el medioambiente son los que se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6: Ventajas e inconvenientes de los APG

CARACTERÍSTICAS POSITIVAS
Pueden obtenerse a partir de materias primas renovables
Son los tensioactivos con mayor biodegradabilidad de todos los conocidos
Presentan excelentes propiedades interfaciales y de comportamiento de fase (Platz, 1995)
Su poder espumante es mejor que el de otros tensioactivos no iónicos
Son químicamente compatibles con todo tipo de sustancias y para todo el rango de pH
Poseen una excelente compatibilidad con la piel y las mucosas
Son aplicables en detergencia textil, de superficies y cosmética
Tienen una concentración micelar crítica muy baja
Presentan sinergismos con algunos tensioactivos aniónicos
CARACTERÍSTICAS NEGATIVAS
Actualmente su precio todavía es relativamente elevado

FUENTE: Tomado de Ortega 2009

2.3.5 GLUCOPON 600 (COGNIS - HENKEL)

Según Henkel Corporation (1998) este tensioactivo posee las siguientes características:

- Es de grado alimentario y no contiene preservantes pues su forma de conservación se basa en su elevado pH que oscila entre 11,5 y 12,5 en solución al 10 por ciento.
- Alcanza valores de tensión superficial de 28,4 dina/cm con una concentración de 0,1 por ciento (medición realizada empleando agua desionizada a pH 7 a 25 °C).

- Dentro de la línea alquilpoliglucósidos de Cognis, el Glucopon 600 es el que posee menor valor de CMC (0,002); es decir, es el que requiere menor concentración de producto para alcanzar su menor tensión superficial. Cabe resaltar que los productos que alcanzan menor tensión superficial aplicando 0,1 por ciento llegan a valores comprendidos entre 28 y 29,1 dina/cm.
- Posee un HLB (Balance hidrofílico lipofílico) de 11,5 (medición realizada en agua desionizada de pH 7). Según Jiménez *et al.* (2008) los surfactantes que poseen un HLB entre 10 y 18 tienen la capacidad de solubilizar sustancias; en este caso, la capsaicina y dihidrocapsaicina.
- Se busca que se genere la menor cantidad de espuma posible pues esto dificulta la extracción desde el punto de vista industrial. De los alquilpoliglucósidos de Cognis, Glucopon 600 posee el menor valor de *Ross Miles Foam* a los 5 minutos a una concentración de 0,1 por ciento en agua desionizada a 49 °C, siendo el valor de 115 mm.

2.4 FIBRA DIETARIA

2.4.1 DEFINICIÓN

Según la Asociación Americana de Químicos del Cereal – AACC (2003), la fibra dietaria:

«es la parte comestible de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con fermentación parcial o completa en el intestino grueso. La fibra dietaria incluye los polisacáridos, oligosacáridos, lignina, sustancias vegetales asociadas. Las fibras dietarias producen efectos fisiológicos benéficos incluyendo la acción laxante, atenuación del colesterol y de la glucosa en la sangre».

Según Periago *et al.* (1993) la fibra alimentaria o fibra dietaria se define como el conjunto de polisacáridos y lignina que son resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas del hombre. La fibra dietaria es un componente importante de los alimentos vegetales que procede de las paredes y tejidos de las frutas, hortalizas, cereales y legumbres; recibe una particular atención por sus propiedades y por el papel que desarrolla en el organismo humano.

Se han formulado muchas definiciones de fibra dietaria, de acuerdo Trowel *et al.* (1976) la fibra dietaria: «como todos los polisacáridos y lignina de la dieta que no son digeridos por las secreciones endógenas en el tracto digestivo humano».

Antequera (2001) señala que el citoesqueleto de los vegetales es lo que se puede denominar como fibra dietaria, que es una sustancia aparentemente inerte y que puede ser fermentada por algunas bacterias, pero no desdoblada por las enzimas digestivas y, por tanto, resulta imposible de absorber.

El término fibra dietética agrupa diversos componentes asociados con la pared celular de las plantas, y se puede expresar en forma de Fibra Dietaria Total (FDT), insoluble y soluble, cuando se emplee alguno de los métodos enzimático-gravimétrico desarrollados, entre los que se encuentra el método oficial de AOAC (Sangronis y Rebolledo 1993).

Es importante que la fibra no equivalente a la fibra cruda. En la mayoría de las tablas de composición de alimentos, los valores de fibra que aparecen corresponden a la fibra dietaria cruda. El término fibra dietaria cruda, expresa el contenido de fibra de los alimentos, representado por el residuo que queda bajo la resistencia a la acción de los ácidos y álcalis diluidos e hirvientes en condiciones estandarizadas. La mayor parte del residuo está constituido por celulosa, hemicelulosa y lignina; perdiéndose otros componentes dietéticos como la pectina, gomas y mucílagos. Con este método se subvaloran en forma importante el contenido de fibra insoluble y no mide la fibra soluble, por ello existe gran interés en conocer el verdadero tenor de fibra dietética de los alimentos y más aun su desglose en la fibra dietaria insoluble y soluble, esta información permite evaluar a los alimentos como fuente de las diferentes fracciones de fibra dietética (Pak 2000).

2.4.2 COMPONENTES DE LA FIBRA DIETARIA

La fibra está constituida por varios componentes que no son digeridos durante su paso por el intestino delgado y que al llegar al colon ejercen importantes funciones mecánicas, metabólicas y de influencia sobre la flora intestinal (Pak 2000).

Los componentes de las paredes celulares vegetales se pueden dividir en polisacáridos estructurales constituidos por celulosa, sustancias pécticas y hemicelulosas; y compuestos estructurales no polisacáridos, fundamentalmente lignina y proteína. Estas macromoléculas tan diferentes están unidas en una red mediante fuerzas de Van Der Waals, puentes de hidrógeno y enlaces covalente y iónicos (Hernández *et al.* 1995).

El cuadro 7 representa los diferentes componentes de las fibras dietarias de acuerdo con la AACC (2001) que presenta a fin de tener mejor comprensión de su estructura. Los contenidos en fibra dietaria alimentaria de los alimentos depende de muchos factores tales como: (1) la variedad de la planta, (2) el grado de madurez en el momento de cosecha o recolección, (3) las condiciones de crecimiento de la planta y (4) el método de la preparación del alimento (Caballero *et al.*, citados por Seyer 2005).

Cuadro 7: Componentes de la fibra dietaria

Polisacáridos no almidones y oligosacáridos resistentes
– Celulosa
– Hemicelulosa
○ Arabinoxilanos
○ Arabinogalactanos
– Polifruktosas
○ Inulina
○ Oligofruktosas
– Galactooligosacáridos
– Gomas
– Mucílagos
– Pectinas

«continuación»

Carbohidratos análogos <ul style="list-style-type: none">- Dextrinas indigeribles<ul style="list-style-type: none">o Maltodextrinas resistenteso Dextrinas- Compuestos de carbohidrato sintetizado<ul style="list-style-type: none">o Polidextrosao Metil celulosao Hidroxipropilmetil celulosa- Almidones indigeribles
Lignina
Sustancias asociadas con polisacáridos no almidón y complejo lignina en plantas <ul style="list-style-type: none">- Ceras- Fitato- Cutina- Saponinas- Suberina- Taninos

FUENTE: Tomado de AACC 2001

2.4.3 CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA DIETARIA

Según Antequera (2001) la clasificación de la fibra dietaria puede darse considerando tres puntos importantes: su composición, el punto de vista biológico y el punto de vista de la fermentación bacteriana. Así se tiene:

a. Según su composición

- Fibra verdadera o vegetal: Está integrada por los componentes de la pared celular de las plantas, como son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina.
- Fibra dietética total: Incluye a la totalidad de todos los compuestos, fibrosos o no, que no son digeribles por las enzimas del intestino humano.

- Fibra bruta o cruda: Es el residuo libre de cenizas que resulta del tratamiento en caliente con ácidos y bases fuertes. Constituye el 20 - 50 por ciento de la fibra dietaria total. Es un concepto más químico que biológico.

Antequera (2001) señala que cuando se menciona a la fibra, siempre hay que entender que se está citando a la fibra dietética. Esta cuestión es básica y fundamental para poder entender las diferencias de los valores cuando se refieren al contenido de fibra de los alimentos.

b. Desde el punto de vista biológico

Una de las propiedades más importantes de la fibra dietaria es su solubilidad. La fibra dietaria se clasifica en fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI) en agua y se caracterizan ambas fracciones por poseer efectos fisiológicos totalmente distintos y tener un gran impacto en su uso en los alimentos (Periago *et al.* 1993).

Esta clasificación se basa en el grado de solubilidad de la fibra en el agua y es la que da origen a la mayoría de las tablas que se usan habitualmente en dietética. Se tiene así dos grupos:

- Fibra insoluble: La FDI incluye celulosa, otras hemicelulosas, lignina, taninos, proteínas, cutina, cera, productos por la reacción de Maillard y almidón resistente. Estas predominan en las hortalizas, verduras, leguminosas frescas y en los granos de cereales. La FDI es escasamente fermentada por la microflora, atrapa agua en la luz intestinal lo que produce aumento en la masa fecal que, a su vez, genera menos consistencia y un incremento de la frecuencia defecatoria (Ballabriga y Carrascosa, citados por Marchisone 2005).

Forma una mezcla de baja viscosidad, esta característica es propia de la celulosa, de la mayoría de hemicelulosas y de la lignina.

- Fibra soluble: Periago *et al.* (1993) y Hernández *et al.* (1995) señalan que la FDS incluye sustancias pépticas, algunas hemicelulosas, polifenoles solubles, gomas, mucílagos y proteínas. La DFS es variable, existiendo altas proporciones en algunas fuentes de fibra como las frutas, en las hortalizas y las legumbres. Además, Marchisone (2005) menciona que la fracción soluble o viscosa está constituida por

polisacáridos estructurales (pectina y algunas hemicelulosas) y no estructurales (goma y mucílagos) que se disuelven en agua.

c. Desde el punto de vista de fermentación bacteriana

- Fibra poco soluble: Es aquella cuyo contenido es rico en celulosa lignina. Es muy resistente a la degradación bacteriana en el colon y es excretada intacta por las heces. Es lo que ocurre con el salvado de trigo.
- Fibra muy fermentable: Posee gran cantidad de hemicelulosa soluble e insoluble, pectinas o almidón resistente. Su degradación es rápida y completa en el colon.

2.4.4 PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

Las propiedades de hidratación de la fibra dietaria determinan sus niveles óptimos de uso en alimentos, puesto que se debe lograr una textura específica. Usualmente, las propiedades de hidratación se describen por tres diferentes parámetros de medida tales como: capacidad de retención de agua sin aplicación de ninguna fuerza externa, capacidad de retención de agua con aplicación de presión o de centrifugación y capacidad de hinchamiento (Raghavendra *et al.* 2006). Las propiedades de hidratación son importantes en la industria de alimentos, puesto que la retención de líquidos influye en la funcionalidad de los ingredientes, rendimiento del producto y la estabilidad en almacenamiento (Collar *et al.* 2007, Rosell *et al.* 2006, Rosell *et al.* 2009).

La máxima cantidad de agua que la fibra puede retener depende de la fuente de la fibra, el método de preparación, y de las características fisicoquímicas y estructurales. La fuente de fibra es importante porque las diferencias en la estructura y constitución de las células vegetales puede afectar sus propiedades. Los efectos tecnológicos de la fibra en los alimentos difieren de acuerdo a la cantidad y naturaleza de la fibra dietaria. (Thebaudin *et al.* 1997, Aleson-Carbonell *et al.* 2005).

La capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de hinchamiento (CH) dan información acerca de la cantidad de agua requerida para que el producto deshidratado se vuelva a hidratar. Los polisacáridos son hidrofílicos y sus abundantes grupos de hidroxilo libres forman enlaces de hidrógeno con el agua. Ambos polisacáridos, solubles e insolubles, tienen CRA. Sin embargo, las fibras solubles tienen mayor CRA que las fibras

de celulosa (Schneeman 2001, Borderias *et al.* 2005, Ahmad *et al.* 2008, Cui y Roberts 2009).

La CRA está relacionada con la estructura porosa de la matriz de las cadenas de polisacáridos, los cuales a través de los enlaces de hidrógeno atrapan y retienen agua. Por lo tanto, factores como la molienda o algunas otras causas que alteren la estructura de la matriz de la fibra, podrían afectar la CRA y la CH (Figuerola *et al.* 2005).

2.4.5 EFECTO DE LA MOLIENDA EN LA FIBRA DIETARIA

Guillon y Champ (2000) afirman que la molienda puede influir fuertemente en las propiedades de la fibra causando el colapso de las paredes celulares, cambiando así su porosidad y sus propiedades de hidratación. Cadden (1987) y Auffret *et al.* (1994) reportaron que las propiedades de hidratación de la fibra dietaria pueden ser mejoradas con la molienda, debido a que se incrementa la habilidad de atrapar agua dentro de la matriz de la fibra.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en:

- Planta Piloto y Laboratorios de Óleos - Derivados de Desarrollo Tecnológico de Alicorp S.A.A.
- Unidad de Investigación en productos naturales de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Laboratorios de análisis de INASSA - International Analytical Services S.A.C.

3.2 MATERIA PRIMA E INSUMOS

- 100 Kg de semillas y venas de ají amarillo congeladas, el ají procesado provenía de Barranca - Lima (Proveedor: Ransa Frío).
- 5 Kg de cebolla, 5 Kg de ajo y 1 Kg de especias provenientes de Chancay - Lima (Proveedor: Multimercado Minka - Callao).
- 10 l de aceite de soya (Proveedor: Alicorp S.A.A.).

3.3 REACTIVOS

- Ácido sulfúrico
- Acetona
- Agua destilada
- Alcohol absoluto
- Alcohol rectificado
- Capsaicina
- Dihidrocapsaicina

- Éter de petróleo
- Glucopon 600 (Cognis - Henkel)
- Hidróxido de sodio
- Indicador tashiro (rojo de metilo + azul de metileno)
- Kit de determinación de dureza
- Kit de enzimas
- Soluciones estándar de buffer 1,64; 4,01; 7,00 y 10,00

3.4 MATERIALES

- Balones fondo plano de 250 ml
- Balones Kjeldhal
- Bureta calibrada
- Cocinillas
- Columna cromatográfica
- Crisoles de porcelana
- Crisoles *gooch* fritados
- Digestor y destilador Kjeldahl
- Espátulas
- Estufa calibrada
- Gafas protectoras
- Guantes de protección
- Máscara respiradora
- Micropipetas calibradas
- Mufla calibrada
- Pipetas volumétricas
- Placas de vidrio
- Probetas
- Sartén
- Tubos para centrífuga
- Vasos de vidrio

3.5 EQUIPOS

- Balanza electrónica
- Bomba de tornillo sin fin excéntrico Bornemann EDS
- Centrífuga Universal Rotofix HETT
- Baño maría con agitación GFL 1083
- Cromatógrafo de líquidos
- Cronómetro
- Estufa Memmert UE400
- Extractores soxhlet VWR modelo A - 50270
- Molinos Frymakoruma ML 150 y MK 95
- Potenciómetro Mettler Toledo Seven Multi
- Rotavapor Heidolph Laboroto 4010 digital

3.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.6.1 ANÁLISIS FÍSICO

a. pH

Se empleó el método oficial de de la AOAC 973.41 (AOAC 2005).

b. Humedad

Para la determinación de humedad se usó como referencia la NTP 209.253:1998. Especies y condimentos. Mostaza. Método AOAC 996.02 (AOAC 2005).

c. Capacidad de hinchamiento (CH)

Se pesó 2 g de muestra en una probeta graduada de 25 ml y se midió el volumen ocupado por las fibras (V_0) (ml); se adicionó 25 ml de agua destilada y se agitó manualmente durante 5 minutos. Se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente. Posteriormente se midió el volumen final de las muestras (V_1) (ml) (modificado por Lajolo y Wensel 1998, AACC 2003, Raghavendra *et al.* 2006).

La capacidad de hinchamiento (ml/g) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{V_1 - V_0}{\text{Peso muestra}}$$

d. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se pesó 0,5 g (Po) (g) de muestra, se adicionó 10 ml de agua destilada y se agitó manualmente durante 10 minutos; se dejó durante 24 horas a temperatura ambiente; se centrifugó a 3 000 rpm durante 10 minutos, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (P1) (g) (Lajolo y Wensel 1998).

La CRA (porcentaje) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$CRA = \frac{P1 - Po}{Po} * 100$$

e. Capacidad de adsorción de moléculas orgánicas – Aceite (CAMO)

Se pesó 0,5 g de muestra (Po) (g), se adicionó 10 ml de aceite de soya comercial y se agitó manualmente durante 10 minutos, luego se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente y se centrifugó a 3 000 rpm durante 10 minutos, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (P1) (g) (Lajolo y Wensel 1998). La CAMO (mL/g) se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$CAMO = \frac{P1 - Po}{Peso\ muestra} * 100$$

f. Resistencia a la fritura (180 °C)

Se realizó frituras de un aderezo (75 por ciento de pasta de ají amarillo y 25 por ciento de aceite, ajo, cebolla y especias), que sirvió como patrón, y del mismo aderezo con tres niveles de sustitución (13 por ciento, 26 por ciento y 39 por ciento de pasta de ají amarillo por 2/3 de harina de semillas y venas de ají amarillo y 1/3 de agua). Se definió cuál de las formulaciones tardó más tiempo en quemarse, esto se determinó sensorialmente por el color. Las condiciones de fritura son las que se observan en el cuadro 8.

Cuadro 8: Condiciones de fritura

PARÁMETRO	VALOR
Temperatura	180 °C
Relación pasta base/aceite	2/1
Tiempo	90 y 180 segundos

3.6.2 ANÁLISIS QUÍMICO

a. Contenido de capsaicinoides

Siguiendo la metodología propuesta por Hoffman *et al.* (1983) se realizó la extracción de los capsaicinoides empleando una solución acuosa, se separó por cromatografía líquida de alta presión (HPLC) y se detecta por absorción ultravioleta a 280 nm. La concentración de los capsaicinoides individuales se determinó teniendo como referencia un estándar comercial N vanillil-n-nonamide (N ((4-hidroxi-3-metoxifenil) metil)-N-nonamida).

b. Dureza del agua

Se empleó el método oficial de la AOAC 973.52 (AOAC 2005).

c. Proteína bruta

Se utilizó el método de la AOAC 920.87. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculos del contenido de proteína bruta. Método Kjeldhal (AOAC 2005).

d. Grasa

Se trabajó con el método AOAC 920.39. Grasa (cruda) o extracto etéreo en alimento animal (AOAC 2005).

e. Carbohidratos

Se calculó a partir de los otros resultados del análisis proximal por diferencia.

f. Fibra dietaria total

Se siguió el método AOAC 985.29. Fibra dietaria total, soluble e insoluble en alimentos (AOAC 2005).

g. Fibra dietaria insoluble

Para la determinación de la fibra dietaria insoluble se aplicó el mismo método que en la determinación de la fibra dietaria total obviando la precipitación de la fibra soluble en alcohol según el método AOAC 991.43. Fibra dietaria total, soluble e insoluble en alimentos (AOAC 2005).

h. Ceniza

Se trabajó con el método AOAC 925.51. Hortalizas en conserva (AOAC 2005).

3.6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la identificación de las variables significativas se desarrolló un *screening* utilizando un diseño completamente al azar con repeticiones en el punto central. Las variables evaluadas fueron: tiempo de cada etapa, al número de etapas y a la relación solución acuosa/materia prima. Se tuvo como variable respuesta el contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina expresado como contenido de capsaicinoides en base seca. Para el tratamiento de los resultados se empleó el paquete estadístico Statgraphic 5.1.

Para la optimización se empleó la metodología de superficie de respuesta descrita por Cochran y Cox (1965), Montgomery (1991), y Ayala y Pardo (1995). La función objetivo fue la minimización de la concentración de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina) en la harina de semillas y venas de ají amarillo, se realizó la optimización de las variables significativas encontradas en el *screening* ($p < 0,05$). Para el tratamiento de los resultados experimentales se utilizó el paquete estadístico Statgraphic 5.1.

3.7 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Esta investigación explicativa experimental se realizó en cuatro etapas, tal como se presenta en la figura 4.

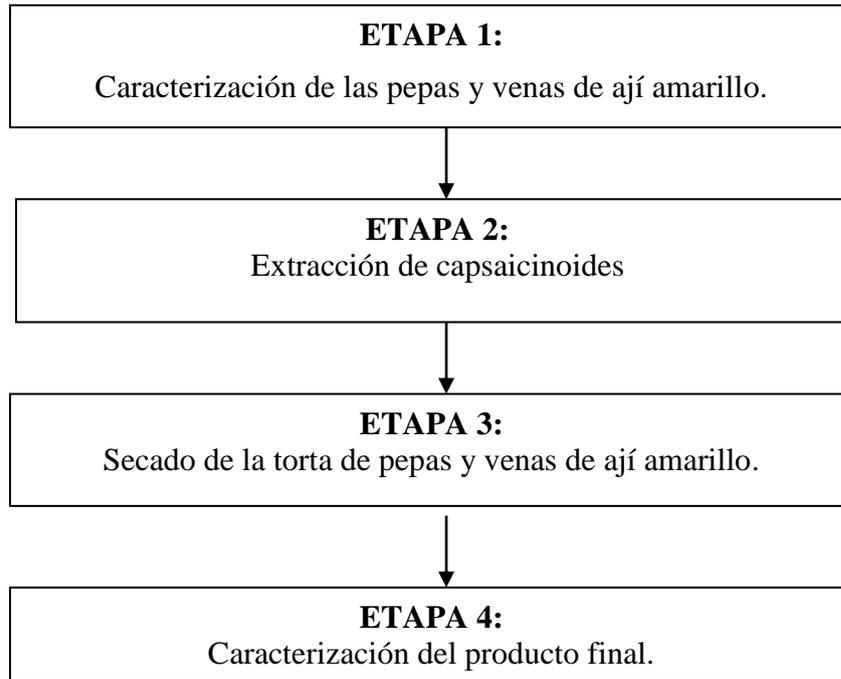


Figura 4: Etapas de la metodología experimental.

3.7.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS SEMILLAS Y VENAS DE AJÍ AMARILLO

Se efectuó un análisis proximal de las semillas y venas frescas que comprende: determinación de proteínas, grasas, carbohidratos, fibra soluble, fibra insoluble, humedad y ceniza. Se realizó la cuantificación por HPLC del contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina de la mezcla de semillas y venas frescas.

Se realizaron estas caracterizaciones para conocer la composición química de este sub producto con el objetivo de conocer como se modificó después de la extracción de los capsaicinoides y para estimar los niveles de las variables a evaluar. A partir de la cuantificación del contenido de estos alcaloides y con el valor de solubilidad de estos en agua a temperatura ambiente, el cuál fue obtenido de investigaciones ya realizadas, se determinó el mínimo volumen de agua que se emplearía si solo se estuviese extrayendo la capsaicina y dihidrocapsaicina con este solvente. Los volúmenes de agua evaluados fueron valores inferiores pues investigaciones preliminares indicaban que la sinergia de las variables y parámetros introducidos en el proceso de extracción aumentaban la solubilidad de los capsaicinoides en un medio acuoso. A partir de estos volúmenes empleados se definió la relación Solución Acuosa/Materia Prima (SA/MP) y número de etapas.

3.7.2 EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES

En esta etapa de la investigación se realizó la extracción de capsaicinoides siguiendo el flujo de operaciones que se muestra en la figura 5. Se evaluó las siguientes variables: relación solución acuosa/materia prima (SA/P), número de etapas y tiempo de cada etapa (minutos). Los capsaicinoides fueron cuantificados en la harina de semillas y venas.

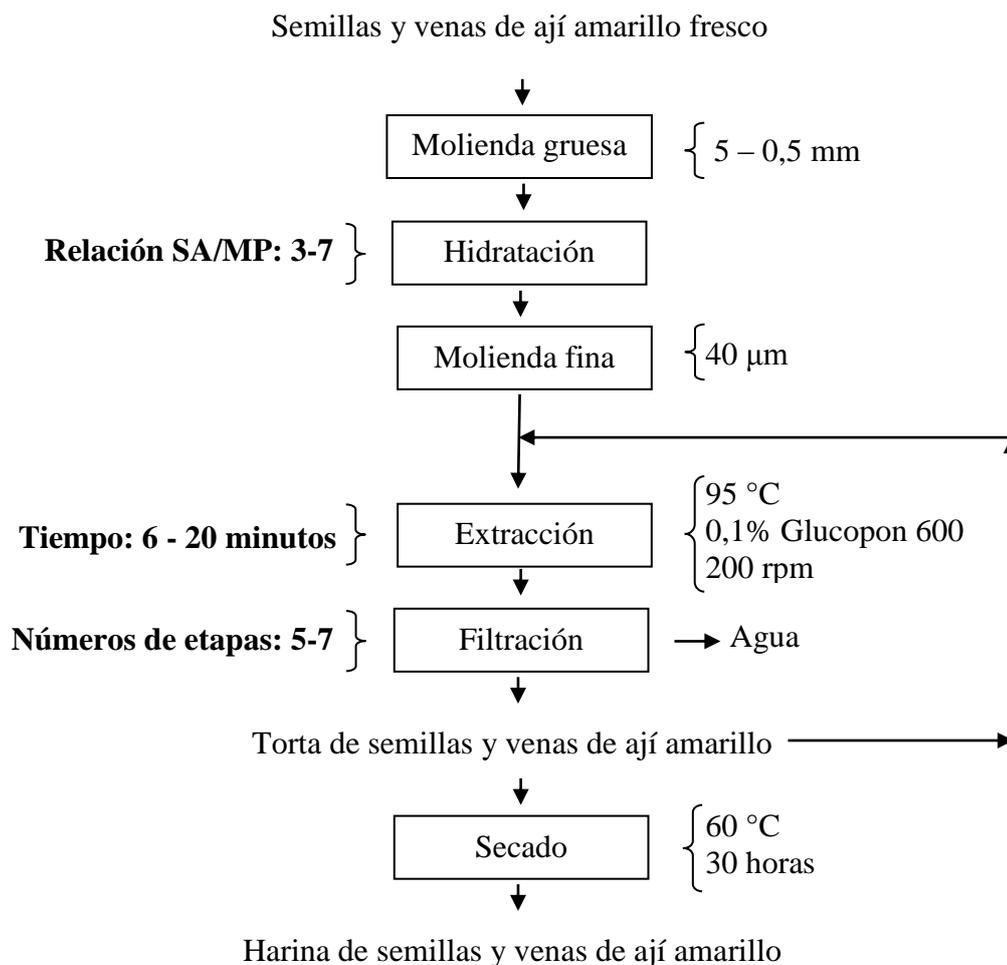


Figura 5: Flujo de operaciones de extracción de capsaicinoides y secado de la torta de semillas y venas de ají amarillo.

Se realizó un *screening* para determinar las variables que influyen significativamente en el proceso tomándose como variable respuesta el contenido de capsaicinoides de la harina de semillas y venas, para tal fin se empleó un Diseño Completamente al Azar con repeticiones en el punto central. Para la minimización del contenido de capsaicinoides en la torta de semillas y venas se utilizó el método de Superficie de Respuesta ($\alpha = 0,05$), se aplicó a las

variables que se obtuvieron del *screening*. El diseño estadístico de la optimización se realizó aplicando un diseño compuesto central para obtener puntos óptimos dentro de la región experimental.

a. Molienda gruesa

Se redujo al mínimo tamaño posible las semillas y venas de ají amarillo pues esto facilitó la difusividad de la capsaicina y dihidrocapsaicina debido a que hubo mayor superficie expuesta. Además, al poseer las semillas y venas un elevado contenido de fibra (Orbegozo 1954) conviene reducir al máximo posible el tamaño de partícula, pues Mongeau y Brooks (2003) mencionan que esto incrementa la capacidad de hidratación de la fibra.

El menor tamaño de partícula alcanzable con la maquinaria disponible es 40 μm , esto se consiguió ajustando el molino de piedras Frymakoruma MK 95 al menor tamaño de luz que posee; sin embargo, en este equipo solo puede ingresar producto con tamaños comprendidos entre 0,5 - 5 mm. Para lograr esto se empleó el molino de cuchillas Frymakoruma ML 150 que redujo las semillas y venas hasta trozos que tenían como mayor tamaño 3 mm.

b. Hidratación

A la pasta obtenida en la operación unitaria anterior se le adicionó agua para reducir su elevada consistencia ya que el producto que ingresa al molino MK 95 requiere ser bombeado. Se agregó agua en cantidades correspondientes a cada relación acuosa/materia prima que se estaba evaluando.

Se puso énfasis en las características del agua pues la reducción de la tensión superficial generada por el surfactante se ve disminuida por un alto contenido de minerales; vale decir, se ve afectado por aguas duras. El agua a emplear poseía las características que aparecen en el cuadro 9.

Cuadro 9: Características de agua a emplear

CARACTERÍSTICA	RANGO / LÍMITE
Temperatura	20 - 25 °C
pH	6 - 8
Dureza	Máximo 10 ppm
Contenido de fierro	Máximo 0,3 ppm

FUENTE: Tomado de Alicorp S.A.A. 2011

c. Molienda fina

Empleando el molino Frymakoruma MK 95 se redujo el tamaño de partícula hasta 40 µm; es decir, hasta la menor luz del molino. Para impulsar la mezcla de semillas, venas y agua a este molino de piedras se utilizó una bomba de tornillo sin fin excéntrico Bornemann EDS empleando un flujo de 4 l/minuto.

Para poder trabajar a nivel laboratorio con ese tamaño de partícula se procesaron las semillas y venas en los equipos piloto anteriormente mencionados, se congelaron las muestras a aproximadamente -20 °C y después se descongelaron en refrigeración para proceder a procesarlas. Debe tenerse en cuenta que bajo condiciones térmicas estables (temperatura ambiente) la degradación de los capsaicinoides puede continuar hasta un 11,9 por ciento adicional (Schweiggert *et al.* 2006).

Según Sigma – Aldrich (2011) la capsaicina se debe almacenar entre 2 y 8 °C en envases herméticamente cerrados para evitar la degradación de la misma. Sin embargo, las semillas y venas de ají amarillo molido se conservaron congeladas pues a temperaturas de refrigeración pueden fermentarse algunos componentes de este subproducto; si bien los capsaicinoides no se verían afectados, los carbohidratos si podrían degradarse viéndose deteriorados los tejidos que contienen a los alcaloides que se busca extraer, esto implicaría que los compuestos de interés presentes en las células sean más fácilmente extraídos por la solución acuosa distorsionando el valor final a cuantificar.

d. Extracción

En el rotavapor Heidolph Laboroto 4010 se mezcló las semillas y venas que se encontraban suspendidas en agua con el tensoactivo. Con el objetivo de formular una solución acuosa

con una tensión superficial similar a la de los solventes orgánicos utilizados tradicionalmente para la extracción de capsaicinoides (de aproximadamente 20 - 30 dina/cm) se empleó el surfactante Glucopon 600 de la marca «Cognis» en una concentración de 0,1 por ciento para llegar a valores comprendidos entre 28 y 29,1 dina/cm (Henkel Corporation 1998).

Se utilizó el rotavapor para transferir movimiento durante la extracción. El valor de agitación a el que operó este equipo fue el máximo al que puede hacerlo (200 rpm), se definió generar la mayor agitación posible ya que esta le otorga mayor eficiencia en la extracción debido a que disminuye la película de fluido que cubre la superficie del sólido en reposo que actúa como resistencia a la difusión.

Se realizó la extracción en niveles comprendidos entre 6 y 20 minutos. Se definió como valor límite inferior 6 minutos pues para realizar la optimización, Montgomery (1991) menciona que se tiene que asignar puntos axiales, para tiempos inferiores a 6 minutos dichos puntos axiales son valores negativos que no se podrían evaluar. Se definió 20 minutos como límite superior pues el rotavapor Heidolph Laboroto 4010 empleado para transmitir calor no puede operar más tiempo.

El baño maría en el que estuvo sumergido el balón del rotavapor fue el que el que transfirió calor durante la extracción. Se trabajó a 95 °C removiendo los capsaicinoides como líquido puesto que su punto de fusión de la capsaicina y dihidrocapsaicina oscilan los 65 °C (Tucker 1996). Se trabajó a menos de 100 °C a presión atmosférica para que la solución empleada se encuentre en estado líquido con el fin de que los capsaicinoides se solubilizan en esta. Se trabajó con la máxima temperatura posible, pues según Fernández (2007) la solubilidad y la transferencia de masa se incrementan con el aumento de la temperatura.

e. Filtración

Con esta operación unitaria se definió el número de etapas que se realizaron durante el proceso de extracción, se tuvo como objetivo separar los sólidos solubles y el agua de los sólidos insolubles. Se utilizó un colador casero cubierto por tela «organza» para filtrar el producto.

3.7.3 SECADO DE LA TORTA DE SEMILLAS Y VENAS DE AJÍ AMARILLO

No se introdujo el secado dentro de la optimización de la extracción de capsaicinoides pues en un posterior escalamiento del proceso la torta de semillas y venas obtenida iba a introducirse directamente a la formulación de un aderezo; sin embargo, en esta investigación existió la necesidad de almacenar el producto obtenido con estabilidad físico-química y microbiológica. Las muestras se secaron a 60 °C durante 30 horas pues según Collins *et al.* (1995), en estas condiciones no hay modificación en el contenido de capsaicinoides ni hay crecimiento de microorganismos.

3.7.4 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Se realizó un análisis proximal de la harina de semillas y venas de ají amarillo que comprende: determinación de proteínas, grasas, carbohidratos, fibra soluble, fibra insoluble, humedad y ceniza. Además, se cuantificó por HPLC del contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina en el producto obtenido.

Finalmente, se caracterizó el producto obtenido en lo referente a capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO), capacidad de hinchamiento (CH) y la resistencia a la fritura (180 °C).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS SEMILLAS Y VENAS DE AJÍ AMARILLO

Los resultados del análisis proximal se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10: Análisis proximal de semillas y venas de ají amarillo

ANÁLISIS	BASE HÚMEDA (%)	BASE SECA* (%)	BASE SECA (%)
Carbohidratos	15,59 ± 0,14%	68,65%	-
Fibra dietaria insoluble	10,14 ± 0,01%	44,65%	30,65%
Fibra dietaria soluble	1,05 ± 0,01%	4,60%	38,00%
Mono-di-polisacáridos	88,82 ± 0,02%	50,75%	
Cenizas	1,04 ± 0,01%	4,58%	4,58%
Grasa	1,07 ± 0,18%	4,71%	4,71%
Humedad	77,29 ± 0,20%	-	-
Proteína (N x 6,25%)	5,01 ± 0,23%	22,06%	22,06%

*Carbohidratos = fibra dietaria insoluble + fibra dietaria soluble + mono-di-polisacáridos.

El MINSA (2009) reporta en el ají amarillo fresco 88,9 por ciento de humedad; 0,9 por ciento de proteínas; 0,7 por ciento de grasa; 8,8 por ciento de carbohidratos y 0,7 por ciento de ceniza. El valor de humedad obtenido en las semillas y venas de ají amarillo congelado es inferior al del ají amarillo fresco; esto se le puede atribuir a una pérdida de agua durante la remoción de las semillas y venas del fruto, a una lenta congelación que generó la pérdida de agua por exudación, a un inadecuado envasado que potencio la deshidratación mientras la temperatura descendía sin haber llegado a temperaturas de congelación (Muñoz 1985) y a que las semillas poseen menor contenido de humedad que todas las otras partes del ají (Orbegozo 1954). El mismo autor menciona que las semillas del ají contienen el mayor contenido proteico de todo el fruto pues allí se haya contenido el

material genético de este, esto explica el alto contenido de proteínas encontrado pues la referencia tomado es de ají amarillo fresco. El contenido mostrado de grasa, carbohidratos, ceniza y parte del contenido de proteínas se observa superior al del ají amarillo fresco pues existió un menor contenido de agua, lo que hizo que ponderalmente los componentes anteriormente mencionados aumenten.

Los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina en base seca presentes en las semillas y venas de ají amarillo son 508,3 µg/g y 139,7 µg/g, respectivamente; siendo un total de 648 µg/g de capsaicinoides cuantificados (anexo 1).

4.2 EXTRACCIÓN DE CAPSAICINOIDES

Se consideró que según la solubilidad reportada por HSDB (2006) de 10,3 mg de capsaicinoides por litro de agua destilada a 25 °C se requerirían 4 900 ml de esta para remover los capsaicinoides contenidos en 100 g de semillas y venas frescas. Se evaluó en un *screening* los valores mostrados en el cuadro 11, donde se consideraron valores menores al calculado pues se atribuye que los efectos del surfactante empleado, la agitación, el tamaño de partícula, el tiempo de contacto y la combinación de los mismos potencian la extracción de estos alcaloides responsables del picor de las semillas y venas del ají amarillo.

Cuadro 11: Volúmenes a evaluar

VOLUMEN A EVALUAR (ML)*		RELACIÓN SOLUCIÓN ACUOSA/MATERIA PRIMA (SA/MP)	
		3	7
Etapas	5	1 500	3 500
	7	2 100	4 900

*Volumen considerado para 100 g de semillas y venas de ají amarillo.

Se realizó un *screening* para determinar las variables que influyen significativamente en el proceso, para tal fin se empleó un diseño completamente al azar con repeticiones en el punto central. Las diferentes corridas y resultados se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12: Corridas del *Screening*

NÚMERO DE CORRIDA	ETAPAS	TIEMPO (MINUTOS)	RELACIÓN SOLUCIÓN ACUOSA/MATERIA PRIMA	CONCENTRACIÓN DE CAPSAICINOIDES (µG/G) (CAPSAICINA + DIHIDROCAPSAICINA) (BASE SECA)
1	6	13	5	21,5
2	6	13	5	21,8
3	6	13	5	15,7
4	6	13	5	14,2
5	6	13	5	17,7
6	6	13	5	20,1
7	6	13	5	19,9
8	6	13	5	12,8
9	5	6	3	94,1
10	7	6	3	46,0
11	5	20	3	78,1
12	7	20	3	18,0
13	5	6	7	27,8
14	7	6	7	11,0
15	5	20	7	15,1
16	7	20	7	14,6

Del análisis de varianza (anexo 2) para la concentración de capsaicinoides realizado en el *screening* se concluye que dos de los tres efectos principales fueron significativos; siendo estos la relación solución acuosa/materia prima (variable continua) y el número de etapas (variable discontinua). En estos dos casos se obtienen valores P inferiores a 0,05; lo que indica que los diferentes valores evaluados muestran diferencias significativas para un nivel de confianza de 95 por ciento. El efecto del tiempo (variable continua) posee un valor P superior a 0,05 por lo que resultó no significativa.

El valor estadístico R-cuadrado indica que el modelo estadístico empleado explica el 79,59 por ciento de la variabilidad de concentración de capsaicinoides (anexo 2).

Para la optimización se requiere analizar variables continuas (Montgomery 1991), dado que la variable número de etapas es un efecto principal significativo y discontinuo fue necesario definir un valor fijo para este; se estaban evaluando 5, 6 y 7 etapas de extracción, se le otorgó el valor de 7 pues estadísticamente se probó que a mayor número de etapas se extrae mayor cantidad de capsaicinoides (anexo 2). Se introdujo a el análisis la variable tiempo a pesar de ser no significativa pues Montgomery (1991) menciona que para la optimización se requiere trabajar con dos variables como mínimo.

En el cuadro 13 se muestran los tratamientos del diseño compuesto central con los puntos axiales y los resultados de éstos.

Cuadro 13: Corridas de la optimización

NÚMERO DE CORRIDA	TIEMPO (MINUTOS)	RELACIÓN SOLUCIÓN ACUOSA/ MATERIA PRIMA	CONCENTRACIÓN DE CAPSAICINOIDES (µG/G) (CAPSAICINA + DIHIDROCAPSAICINA) (BASE SECA)
1	13,0	5,0	5,8
2	13,0	5,0	6,1
3	13,0	5,0	4,0
4	13,0	5,0	4,2
5	13,0	5,0	2,0
6	13,0	5,0	4,4
7	13,0	5,0	4,2
8	13,0	5,0	4,1
9	6,0	3,0	46,0
10	20,0	3,0	18,0
11	6,0	7,0	11,0
12	20,0	7,0	14,6
13	22,9	5,0	13,6

«continuación»

14	13,0	2,2	360,9
15	3,1	5,0	33,9
16	13,0	7,8	14,6

Del análisis de varianza (anexo 2) para la concentración de capsaicinoides realizado en la optimización se concluye que dos efectos llegan a ser significativos; siendo la relación solución acuosa/materia prima el efecto principal, y la interacción del efecto anteriormente mencionado consigo mismo el efecto secundario. En estos dos casos se obtienen valores P inferiores a 0,05; lo que indica que los diferentes valores evaluados muestran diferencias significativas para un nivel de confianza de 95 por ciento.

El valor estadístico R-cuadrado indica que el modelo estadístico empleado explica el 66,06 por ciento de la variabilidad de concentración de capsaicinoides (anexo 2).

Las figuras 6 y 7 muestran la superficie de respuesta y el contorno de la misma para la minimización de capsaicinoides.

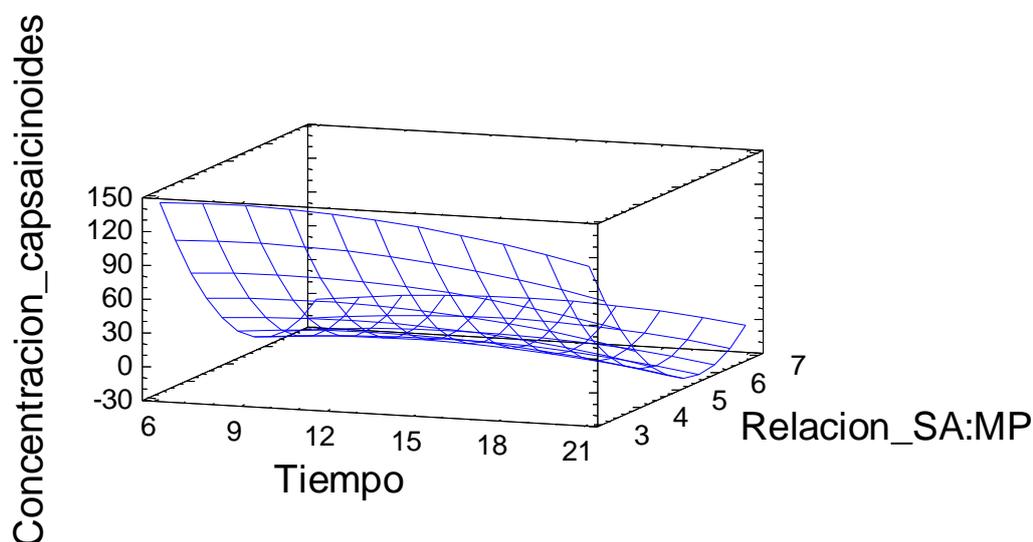


Figura 6: Superficie de respuesta estimada para la minimizar el contenido de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina).

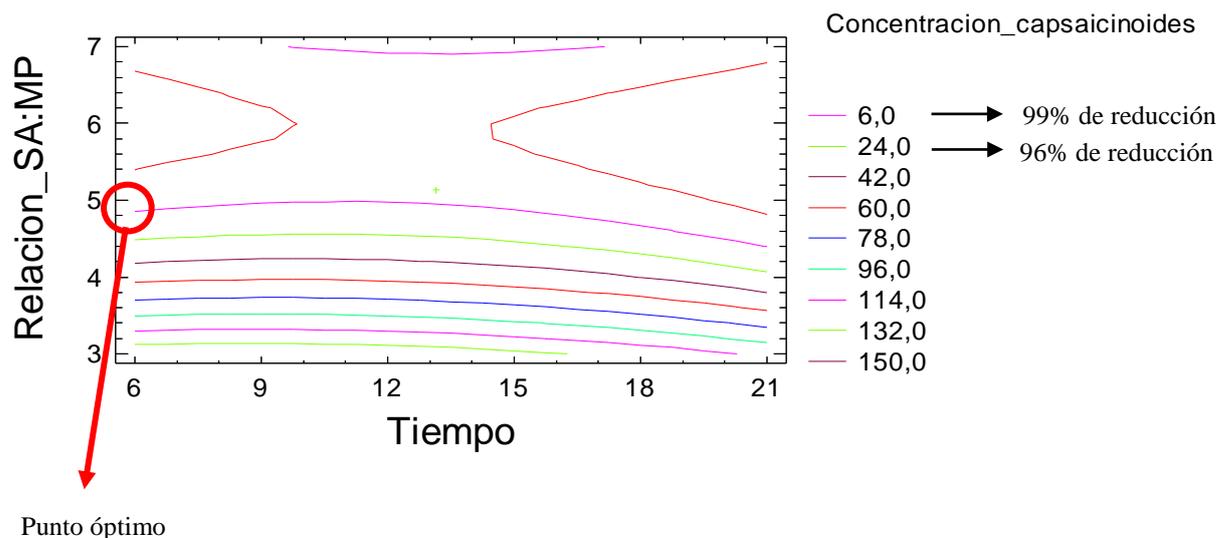


Figura 7: Contorno de la superficie de respuesta estimada para minimizar el contenido de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina).

Uno de los objetivos de esta investigación es minimizar el contenido de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina) de las semillas y venas de ají para de esta forma minimizar el picor con el fin de poder introducir el producto obtenido en nuevas formulaciones sin modificar el perfil de sabor.

En la figura 8 se observa que con valores de relación solución acuosa/materia prima (SA/MP) comprendidos entre 4,8 y 7,0 se puede obtener un contenido de capsaicinoides ($\mu\text{g/g}$ de capsaicina + $\mu\text{g/g}$ de dihidrocapsaicina) que oscila entre 0 y 6 $\mu\text{g/g}$ de dichos alcaloides. Es importante mencionar que Krajewska y Powers (1987b) definieron que solo personas muy entrenadas pueden detectar la presencia de picor en productos cuando estos están comprendidos en el rango de 0,033 a 0,1 mg/Kg de capsaicina y derivados disueltos en agua. Se empleó 4,8 de relación SA/MP para retirar la máxima cantidad de capsaicinoides empleando la menor cantidad de solución acuosa (SA) posible durante el proceso de extracción con la finalidad de reducir costos del mismo. Se definió trabajar con el menor tiempo posible pues el análisis estadístico de esta variable indica que es no significativa (anexo 2), esto para reducir el costo del proceso de extracción.

Por lo tanto, los parámetros definidos para la extracción de capsaicinoides son los que se observan en el cuadro 14 Cuadro 14: Parámetros empleados para minimizar el contenido de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina).

Cuadro 14: Parámetros empleados para minimizar el contenido de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina)

PARÁMETROS	VALOR
Concentración de Glucopon 600 – Cognis (%)	0,10%
Temperatura (°C)	95
Agitación radial (rpm)	200
Tamaño de partícula (µm)	40
Tiempo de cada etapa (min)	6
Número de etapas	7
Relación solución acuosa/materia prima (SA/MP)	4,8

Utilizando los valores mostrados en el cuadro 13, se obtuvo una reducción del contenido de 648 µg/g en las semillas y venas de ají amarillo a 5,75 µg/g (base seca) en el producto obtenido con un rendimiento del 5,65 por ciento. Esto implica una reducción del contenido de capsaicinoides del 99,11 por ciento.

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

La apariencia del producto obtenida se observa en la figura 8.



Figura 8: Harina de semillas y venas de ají amarillo.

Se obtuvo como resultado del análisis proximal lo que se muestra en el cuadro 15.

Cuadro 15: Análisis proximal del producto obtenido

ANÁLISIS	BASE HÚMEDA (%)	BASE SECA* (%)	BASE SECA (%)
Carbohidratos	61,89 ± 0,35%	65,97%	-
Fibra dietaria insoluble	62,03 ± 0,01%	66,12%	43,62%
Fibra dietaria soluble	0,03 ± 0,00%	0,03%	22,35%
Mono-di-polisacáridos	37,94 ± 0,01%	33,85%	
Cenizas	1,08 ± 0,00%	1,15%	1,15%
Grasa	18,61 ± 0,27%	19,84%	19,84%
Humedad	6,19 ± 0,01%	-	-
Proteína (N x 6,25%)	12,24 ± 0,06%	13,04%	13,04%

*Carbohidratos = fibra dietaria insoluble + fibra dietaria soluble + mono-di-polisacáridos.

Constatando el análisis proximal de los cuadros 10 y 15 (base seca), se observa que hubo una disminución del contenido de ceniza de 3,43 por ciento, del contenido de proteína (valorada a partir del contenido de nitrógeno) de 9,02 por ciento y de la fibra dietaria soluble más otros mono-di y polisacáridos de 15,65 por ciento; esto es explicado como la pérdida de los compuestos solubles de cada uno de los componentes mencionados anteriormente. En el caso de la fibra dietaria insoluble se notó un incremento del 12,97 por ciento, lo que es acorde a los resultados estimados pues se realizó la extracción con un solvente acuoso.

El producto obtenido después de la optimización contenía 5,75 µg/g de capsaicinoides. Poseía las características funcionales que se muestran en el cuadro 16: Capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de moléculas orgánicas (CAMO) y capacidad de hinchamiento (CH) de la harina de semillas y venas de ají amarillo.

Cuadro 16: Capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de moléculas orgánicas (CAMO) y capacidad de hinchamiento (CH) de la harina de semillas y venas de ají amarillo

PROPIEDAD FUNCIONAL	VALOR
Capacidad de hinchamiento (CH) (ml/g)	4,18 ± 0,05
Capacidad de retención de agua (CRA) (%)	482,33 ± 4,51
Capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO) (%)	418,33 ± 3,51

En la figura 9 se observa el aderezo (75 por ciento de pasta de ají amarillo y 25 por ciento de aceite, ajo, cebolla y especias) que sirvió como patrón y el mismo aderezo con tres niveles de sustitución. (13 por ciento, 26 por ciento y 39 por ciento de pasta de ají amarillo por harina de semillas y venas de ají amarillo y agua).



Patrón: 75% de pasta de ají amarillo y 25% de aceite, ajo, cebolla y especias

Tratamiento 1: 13% de pasta de ají amarillo reemplazado por 2/3 de harina de pepas y venas de ají amarillo y 1/3 de agua.

Tratamiento 2: 26% de pasta de ají amarillo reemplazado por 2/3 de harina de pepas y venas de ají amarillo y 1/3 de agua.

Tratamiento 3: 39% de pasta de ají amarillo reemplazado por 2/3 de harina de pepas y venas de ají amarillo y 1/3 de agua.

Figura 9: Aderezo con reemplazos de 13 por ciento, 26 por ciento y 39 por ciento de pasta de ají amarillo.

En la figura 10 se observa el aderezo (75 por ciento de pasta de ají amarillo y 25 por ciento de aceite, ajo, cebolla y especias) que sirvió como patrón y el mismo aderezo con tres

niveles de sustitución (13 por ciento, 26 por ciento y 39 por ciento de pasta de ají amarillo por harina de semillas y venas de ají amarillo y agua) ya frito. El detalle de la formulación del aderezo se observa en el anexo 3 **ANEXO 3: FORMULACIÓN DEL ADEREZO EMPLEADO EN LAS PRUEBAS DE FRITURA.**

Las fibras vegetales ricas en fibra insoluble, como es el caso de la harina obtenida de las semillas y venas de ají amarillo que posee 43,62 por ciento de este componente, tienen además de ventajas fisiológicas, propiedades tecnológicas como alta capacidad de retención de agua y grasa, convirtiéndolas en ingredientes óptimos para lograr altos rendimientos y bajo costo (Chang y Carpenter 1997, Desmond y Troy 2002, Giese 1992, Grigelmo-Miguel *et al.* 1999, Keeton 1994, Mansour y Khalil 1997, Trout *et al.* 1992).

Producto para sustitución	Patrón	Harima de pepas y venas de ají amarillo	Harima de pepas y venas de ají amarillo	Harima de pepas y venas de ají amarillo
Pasta de ají amarillo (PAA)	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
% sustitución de PAA	0,00%	13,23%	26,45%	39,68%
Pepas y venas de ají amarillo	0,00%	8,76%	17,51%	26,27%
Aqua	0,00%	4,47%	8,94%	13,41%
Apariencia a los 90 segundos de fritura				
	Se quemó ligeramente	No se quemó	No se quemó	No se quemó
Apariencia a los 180 segundos de fritura				
	Se quemó moderadamente	Se quemó ligeramente	No se quemó	No se quemó

Figura 10: Fritura del aderezo con reemplazos de 13 por ciento, 26 por ciento y 39 por ciento de pasta de ají amarillo.

Al realizar sustituciones de pasta de ají amarillo por harina de semillas y venas de ají amarillo con agua, y por poseer esta harina una alta capacidad de hinchamiento (4,18 ml/g), una alta capacidad de retención de agua (482,33 por ciento) y una alta capacidad de absorción de moléculas orgánicas (418,33 por ciento) se observa en la figura 9 que conforme se reemplaza un mayor porcentaje el aderezo adquiere una textura más granulosa y mayor consistencia por lo que habría que fijar en evaluaciones posteriores el valor adecuado a sustituir y la factibilidad de emplear otros aditivos con el fin de no modificar el perfil sensorial del producto.

Comparativamente la harina de semillas y venas de ají amarillo posee valores de capacidades de hinchamiento y absorción de aceite superiores a los característicos de otros subproductos provenientes de frutas cítricas. Lo anterior lo confirman las investigaciones realizadas por Flórez *et al.* (2006) y Gutiérrez *et al.* (2002) con los subproductos obtenidos después de la extracción del jugo de frutas tales como limón, naranja, mandarina y piña; que fueron secados a 60 °C, molidos y tamizados para un tamaño de partícula alrededor de 0,3 mm. Se utilizó la misma temperatura de secado y el mismo tamaño de partícula para las cuatro fuentes de fibra y aunque en la capacidad de absorción de aceite hubo algunos resultados similares, los otros valores son diferentes, puesto que cada fibra tiene una composición y estructura química distinta. En el cuadro 17 se observa la capacidad de hinchamiento (ml de agua/g de muestra) y la capacidad de absorción de aceite (g de aceite/g de muestra) de subproductos provenientes de frutas cítricas.

Cuadro 17: Capacidad de hinchamiento y absorción de aceite de subproductos provenientes de frutas cítricas

SUBPRODUCTO	CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (ML DE AGUA/G DE MUESTRA)	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (G DE ACEITE/G DE MUESTRA)
Del limón	3,85	0,7
De la naranja	3,9	0,8
De la mandarina	2,7	0,9
De la piña	3,4	0,9

FUENTE: Elaborado con base en Flórez *et al.* 2006 y Gutiérrez *et al.* 2002

V. CONCLUSIONES

- Se obtuvo una harina gruesa, homogénea, libre de grumos, de color amarillo crema, libre de materias extrañas e impurezas, de sabor y olor neutro que poseía un contenido de 62,43 por ciento (base seca) de fibra dietaria insoluble donde se minimizó el contenido de capsaicinoides de 648 $\mu\text{g/g}$ a 5,75 $\mu\text{g/g}$. Se trabajó con los siguientes parámetros: 0,10 por ciento de GlucoPON 600 (Cognis), 95 °C, 200 rpm de agitación radial, 40 μm de tamaño de las semillas y venas del ají amarillo, 7 etapas de 6 minutos cada una y una relación solución acuosa/materia prima (SA/MP) de 4,8/1.
- El producto obtenido poseía las siguientes características funcionales: 4,18 ml/g de capacidad de hinchamiento (CH); 482,33 por ciento de capacidad de retención de agua (CRA); 418,33 por ciento de capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO); se logró sustituir hasta 39 por ciento de la pasta de ají amarillo de un aderezo (75 por ciento de pasta de ají amarillo y 25 por ciento de aceite, ajo, cebolla y especias) permaneciendo 90 segundos más sin quemarse (180 segundos en total) que el aderezo sin sustitución a 180 °C en una relación aceite/producto de 1/2.

VI. RECOMENDACIONES

- Al escalar el proceso se deberá generar la menor aireación posible pues por la baja tensión superficial de la solución se generaría abundante espuma que impediría la volatilización de los compuestos; además, encarecería y dificultaría el proceso. Se puede evaluar el empleo de un antiespumante grado alimentario.
- Realizar el análisis de la inversión en dos escenarios: producto deshidratado y producto congelado (Frío RANSA) (el subproducto se secó en condiciones que no modifican la variable respuesta).
- Evaluar físico-química y sensorialmente la aplicación de la harina obtenida en la formulación y uso de distintos productos considerando para definir el nivel de sustitución óptimo las altas propiedades de captación de líquidos que posee el producto.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC (American Association of Cereal Chemists, Estados Unidos). 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World* 46:112-126.
- AACC (American Association of Cereal Chemists, Estados Unidos). 2003. All dietary fiber is fundamentally functional. *Cereal Foods World* 48(3):128-129.
- Ahmad, A; Anjum, FM; Zahoor, T; Nawaz, H; Din, A. 2008. Physicochemical and functional properties of barley b-glucan as affected by different extraction procedures. *International Journal of Food Science and Technology* 44(1):181-187.
- Aleson-Carbonell, L; Fernández-López, J; Pérez-Álvarez, JA; Kuri, V. 2005. Characteristics of beef burger as influenced by various types of lemon albedo. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6:247-255.
- Alicorp S.A.A., Perú. 2011. Sistema Mecanizado de Administración de Documentos (SMAD): Planta COPSA. Lima, Perú.
- Andree, H; Middelhaue, B. 1991. Possibilities of the use alkyl-polyglucosides in detergents and cleaning liquids. *Tenside Surfactants Detergents* 28(6):413-418.
- Antequera, F. 2001. La fibra dietética (en línea, sitio web). Consultado 14 jun. 2011. Disponible en www.zonadasalud.org.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists, Estados Unidos). 2005. Official Method. 18 ed. Maryland, Estados Unidos, AOAC.

- Auffret, A; Ralet, MC; Guillon, F; Barry, JL; Thibault, JF. 1994. Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary fibers. *Lebensmittel Wissenschaft-und-Technologie* 27:166-172.
- Ayala, J; Pardo, R. 1995. Optimización por diseños experimentales con aplicaciones en ingeniería. Lima, Perú, Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
- Bennett, DJ; Kirby, GW. 1968. Constitution and biosynthesis of capsaicin. *Journal of the Chemical Society C-Organic* 4:442-446.
- Borderias, AJ; Sánchez-Alonso, I; Pérez-Mateos, M. 2005. New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. *Trends in Food Science & Technology* 16(10):458-465.
- Bosland, PW; Votava, EJ. 2000. Peppers: vegetable and spice capsicums. Nueva York, Estados Unidos, CABI Publishing.
- Cadden, AM. 1987. Comparative effect of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. *Journal of Food Science* 52:1595-1599.
- Chang, HC; Carpenter, JA. 1997. Optimizing quality of frankfurters containing oat bran and added water. *Journal of Food Science* 62:194-202.
- Cochran, W; Cox, G. 1965. Diseños experimentales. Ciudad de México, México, Trillas.
- Collar, C; Santos, E; Rosell, CM. 2007. Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 78:820-826.
- Collins, M; Wasmund, L; Bosland, P. 1995. Improved method for quantifying capsaicinoides in capsicum using high-performance liquid chromatography. *Hortscience* 30(1):137-139.

- Constant, HL; Cordell, GA. 1995. Separation and quantification of capsaicinoids using complexation chromatography. *Journal of Natural Products* 58(12):1925-1928.
- Contreras-Padilla, M; Yahia, EM. 1998. Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of Chile peppers and relation with peroxidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46:2075-2079.
- Costa, SG; Nitschke, M; Haddad, R; Eeberlin, MN; Contiero, J. 2006. Production of *Pseudomonas aeruginosa* LBI rhamnolipids following growth on Brazilian native oils. *Process Biochem* 41:483-488.
- Cubero, N; Monteferrer, A; Villalta, J. 2002. *Aditivos alimentarios*. Madrid, España, Mundi-Prensa. 240 p.
- Cui, SW; Roberts, KT. 2009. Dietary fiber: Fulfilling the promise of added-value formulations. *In* Kasapis, S; Norton, IT; Ubbink, JB (eds.). *Modern Biopolymer Science*. Massachusetts, Estados Unidos, Academic Press. p. 399-449.
- Daood, HG; Illés, V; Gnyayfeed, MH; Mészáros, B; Horváth, G; Biacs, PA. 2002. Extraction of pungent spice paprika by supercritical carbon dioxide and subcritical propane. *The Journal of Supercritical Fluids* 23:143-152.
- Del Valle, JM; Jiménez, M; Napolitano, P; Zetezl, C; Brunner, G. 2003. Supercritical carbon dioxide extraction of pelletized peppers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83:550-556.
- Desmond, EM; Troy, DJ. 2002. The effect of dietary fibres on the properties of pork sausages. *In* *Proceedings of the 48th international congress on meat science technology*. Roma, Italia, American Meat Science Association. v. 2, p. 840-841.
- Di Fabio, A; Mato, R; Loayza, I; Wittig De Penna, E; Schwartz, M; Butista, S; Lozoya-Gloria, E; Barragán, V; Morais, H; Ferreira, F. 2001. *Capsicum y sus derivados en Iberoamérica: Aspectos agrícolas, científicos, tecnológicos y económicos*. La Paz, Bolivia, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

- Duarte, C; Moldao-Martins, M; Gouveia, AF; Beirao Da Costa, S; Leitao, AE; Bernardo-Gil, MG. 2004. Supercritical fluid extraction of red pepper (*Capsicum frutescens L.*). *Journal of Supercritical Fluids* 30:155-161.
- Eshbaugh, WH. 1970. A biosystematic and evolutionary study of *Capsicum baccatum* (Solanaceae). *Brittonia* 22(1):31-43.
- Fernández, G. 2007. Extracción, análisis, estabilidad y síntesis de capsaicinoides. Tesis Ph.D. Cádiz, España, Universidad de Cádiz.
- Figuerola, F; Hurtado, M; Estévez, A; Chiffelle, I; Asenjo, F. 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry* 91(3):395-401.
- Flórez, O; Román, O; Martínez, OL; Gutiérrez, EL; Medina, GB. 2006. Optimización de un preparado sólido de fibra dietaria a partir de diferentes residuos de frutas. *Vitae* 13(1):10-15.
- Gautam, KK; Tyagi, VK. 2006. Microbial surfactants: a review. *Journal of Oleo Science* 55:155-166.
- Giese, J. 1992. Developing low-fat meat products. *Food Technology* 46:100-108.
- Globade, AA; Omobuwajo, OR; Soremekun, RO. 1997. Evaluation of the quality of Nigerian chillies for pharmaceutical formulations. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 15:545-548.
- Gnayfeed, MH; Daood, HG; Illés, V; Biacs, PA. 2001. Supercritical CO₂ and subcritical propane extraction of pungent Paprika and quantification of carotenoids, tocopherols, and capsaicinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:2761-2766.
- Grigelmo-Miguel, N; Abadía-Serós, MI; Martín-Belloso, OA. 1999. Characterization of low-fat high-dietary fiber frankfurters. *Meat Science* 52:247-256.

- Guillon, F; Champ, MMJ. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International* 33:233-245.
- Gutiérrez, EL; Medina, GB; Román, MO; Flórez, OA; Martínez, OL. 2002. Optimización y cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *Vitae* 9(1):5-14.
- Heinerman, J. 1997. The health benefits of cayenne: The amazing spice and its curative powers in colds, circulatory and digestive problems, respiratory ills, infections and more. Connecticut, Estados Unidos, Keats Publishing.
- Henkel Corporation, Alemania. 1998. Glucocon – Surfactantes alquilpoliglucósidos. Estados Unidos, Henkel Corporation.
- Hernández, T; Hernández, A; Martínez, C. 1995. Fibra alimentaria: concepto, propiedades y métodos de análisis alimentario. *Alimentaria* 261:19-30.
- Homero-Méndez, D; Mínguez-Mosquera, MI. 2001. Rapid spectrophotometric determination of red and Bellow isochromic carotenoid fractions in paprika and red pepper oleoresins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49:3584-3588.
- HSDB (Hazardous Substances Data Bank, Estados Unidos). 2006. Capsaicin. Maryland, Estados Unidos, U.S. Department of Health and Human Services.
- Iwai, K; Suzuki, T; Fujiwake, H. 1979. Formation and accumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues, in *Capsicum annuum var. annuum cv. Karayatsubusa* at different growth stages after flowering. *Agricultural and Biological Chemistry Tokyo* 43:2493-2498.
- Jiménez, D; Medina, S; Gracida, J. 2008. Biosurfactant properties, applications and production: a review. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 26(1).

- Karnka, R; Rayanakorn, M; Watanesk, S; Vaneesorn, Y. 2002. Optimization of high-performance liquid chromatographic parameters for the determination of capsaicinoids compounds using the simplex method. *Analytical Sciences* 18:661-665.
- Keeton, JT. 1994. Low-fat meat products: Technological problems with processing. *Meat Science* 36:261-276.
- Kirschbaum-Titze, P; Hiepler, C; Mueller-Seitz, E; Petz, M. 2002a. Pungency in paprika (*Capsicum annuum*): Decrease of capsaicinoid content following cellular disruption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(5):1260-1263.
- Kirschbaum-Titze, P; Mueller-Seitz, E; Petz, M. 2002b. Pungency in Paprika (*Capsicum annuum*): Heterogeneity of capsaicinoid content in individual fruits from one plant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(5):1264-1266.
- Koop, B; Jurenitsch, J. 1981. Biosynthesis of capsaicinoids in *Capsicum annuum L. var. annuum*. II Formation of the fatty acid moiety of the capsaicinoids from l-valina, l-leucina and l-isoleucina. *Planta Medica* 43:272-279.
- Korel, F; Bagdatlioglu, N; Balaban, MÖ; Hisil, Y. 2002. Ground red peppers: capsaicinoids content, scoville scores, and discrimination by an electronic nose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:3257-3261.
- Krajewska, AM; Powers, JJ. 1987a. Gas chromatography of methyl derivatives of naturally occurring capsaicinoids. *Journal of Chromatography A* 409:223-233.
- Krajewska, AM; Powers, JJ. 1987b. Gas chromatographic determination of capsaicinoids in green *Capsicum* fruits. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry* 70:926-928.
- Ksheyoglow, A; Monoussopougras, C. 1977. Amino acid composition of red pepper. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 25(6):1260-1262.

- Lajolo, SA; Wensel, DN. 1998. Temas en tecnología de alimentos: Fibra dietaria. Distrito Federal de México, México, Instituto Politécnico Nacional. v. 2. p. 29-42.
- Lewis, MJ. 1993. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Zaragoza, España, Acribia. p. 171-174.
- Liu, Z; Laha, S; Luthy, RG. 1991. Surfactant solubilization of polycyclic aromatic hydrocarbon compounds in soil-water suspensions. *Water Science and Technology* 23:475-485.
- Maga, J. 1975. Capsicum. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 6(2):177-196.
- Makkar, RS; Cameotra, SS. 1998. Production of biosurfactant at mesophilic and thermophilic conditions by a strain of *Bacillus subtilis*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 20:48-52.
- Mansour, EH; Khalil, AH. 1997. Characteristics of low-fat beefburger as influenced by various types of wheat fibres. *Food Research International* 30:199-205.
- Marchisone, S. 2005. Papel de la fibra dietaria en la motilidad colónica. *MedUNAB* 8(1):45-47.
- MINSA (Ministerio de Salud de Perú). 2009. Tablas peruanas de composición de alimentos. 8 ed. Lima, Perú, Instituto Nacional de Salud.
- Mongeau, R; Brooks, SPJ. 2003. Dietary fiber properties and sources. *In Encyclopedia of food sciences and nutrition*. Massachusetts, Estados Unidos, Academic Press. p. 1813-1823.
- Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Ciudad de México, México, Grupo Editorial Iberoamérica.
- Muñoz, J. 1985. Refrigeración y congelación de alimentos vegetales. Madrid, España, Fundación Española de la Nutrición.

- Nickel, D; Ntisch, C; Kurzendoerfer, P; Von Rybinski, W. 1992. Interfacial properties of surfactants mixtures alkyl polyglycosides. Trends in Colloid Interase Science 6:249-252.
- Orbegozo, G. 1954. Reseña del cultivo, identificación botánica y comparación de rendimientos en fresco de variedades de ají Perú. Lima, Perú, Escuela Nacional de Agricultura La Molina.
- Ortega, M. 2007. Mecánica de los medios continuos. España, Universidad de Córdoba.
- Ortega, M. 2009. Comportamiento reológico de disoluciones acuosas de surfactantes comerciales no iónicos. España, Universidad de Granada.
- Pak, N. 2000. Fibra dietética en verduras cultivadas en Chile. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 50(2):97-1001.
- Pastor, A; Vásquez, E; Ciscar, R; De la Guardia, M. 1997. Efficiency of the microwave-assisted extraction of hydrocarbons and pesticides from sediments. Analytica Chimica Acta 344:241-249.
- Periago, M; Ros, G; Martínez, M; Rincón, F. 1993. Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos. Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos 33(3):229-246.
- Perry, L. 2007. Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum ssp. L.*) in the Americas. Science 986:10-13.
- Peusch, M; Mullerseit, E; Petz, M; Muller, A; Anklam, E. 1997. Extraction of capsaicinoids from chillies (*Capsicum frutescens L.*) and paprika (*Capsicum annum L.*) using supercritical fluids and organic solvents. Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung A 204(5):351-355.

- Polasek-Raez, M; Pauli, M; Horvath, G; Lebesem. 1981. Review on chemical composition and constituents of some important exotic fruits. *Lebensm Unters Forsch* 2:115-126.
- Raghavendra, SN; Ramachandra, SR; Rastogj, NK; Raghavarao, KSMS; Kumar, S; Tharanathan, RN. 2006. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering* 72:281-286.
- Rodríguez-Burrueso, A; Nuez, F. 2006. Mejora de la calidad en el pimiento. *In* Llácer, G; Diez, MJ; Carrillo, JM; Badenes, ML (eds.). *Mejora genética de la calidad en plantas*. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia. p. 361-391.
- Rosell, CM; Santos, E; Collar, C. 2006. Mixing properties of fibre enriched wheat bread doughs: A response surface methodology study. *European Food Research and Technology* 223:333-340.
- Rosell, CM; Santos, E; Collar, C. 2009. Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International* 42:176-184.
- Salager, JL; Anderez, JM; Forgiarini, A. 2003. Influencia de la formulación sobre las espumas. Venezuela, Universidad de los Andes.
- Sánchez-Leal, JA. 1997. Aspectos ecológicos de los detergentes. 2 ed. Barcelona, España, Gestió i Promoció.
- Sangronis, E; Rebolledo, M. 1993. Fibra dietética, soluble, insoluble y total en cereales, productos derivados de su procesamiento y en productos derivados a base de cereales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 43(3):258-263.
- Santamaría, RI; Reyes-Duarte, MD; Bárzana, E; Fernádo, D; Gama, FM; Mota, M; López-Munguía, A. 2000. Selective enzyme-mediated extraction of Capsaicinoids and Carotenoids from Chili Guajillo Puya (*Capsicum annuum L.*) using ethanol as solvent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:3063-3067.

- Sato, K; Sakamoto, S; Goda, Y. 1999. Direct connection of supercritical fluid extraction and supercritical fluid chromatography as a rapid quantitative method for capsaicinoids in placentas of *Capsicum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:4665-4668.
- Schneeman, B. 2001. Dietary fibre and gastrointestinal function. *In* McCleary, B; Prosky, L (eds.). *Advanced dietary fibre technology*. Oxford, Reino Unido, Blackwell Science. p. 168-176.
- Schweiggert, U; Schieber, A; Reinhold, C. 2006. Effects of blanching and storage on capsaicinoid stability and peroxidase activity of chili peppers (*Capsicum frutescens* L). *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 7:217-224.
- Seyer, M. 2005. Les fibres alimentaires et le pain de blé entier. Tesis Mg.Sc. Québec, Canadá, Université Laval.
- Stoyanov, SD; Rehage, H; Paunov, VN. 2003. Novel surface tension isotherm for surfactants based on local density functional theory. *Physical Review Letters* 91(8):86-102.
- Suzuki, T; Iwai, K. 1984. Los alcaloides. *In* Brossi, A (eds.). Orlando, Florida, Academic Press. v. 23.
- Thebaudin, JY; Lefebvre, AC; Harrington, M; Bourgeois, CM. 1997. Dietary fibers: nutritional and technological interest. *Trends in Food Science and Technology* 8:41-48.
- Trout, ES; Hunt, MC; Johnson, DE; Claus, JR; Kastner, CL; Kropf, DH. 1992. Characteristics of low-fat ground beef containing texture-modifying ingredients. *Journal of Food Science* 57:19-24.
- Tucker, SP. 1996. Capsaicin and dihydrocapsaicin: Method 5041. *In* *Manual of Analytical Methods*. 4 ed. Meryland, Estados Unidos, National Institute for Occupational Safety and Health.

USP (United States Pharmacopeia Convention)/ NF (National Formulary). 2009. USP 32 NF 27. 32 ed. Maryland, Estado Unidos, USP. supl. 1.

Von Rybinski, W; Hill, K. 1998. Coconut oil and corn starch are the raw materials in the technical synthesis of alkyl polyglycosides: Alkyl polyglycosides, properties and applications of a new class of surfactants. *Angewandte Chemie International* 37:1328-1345.

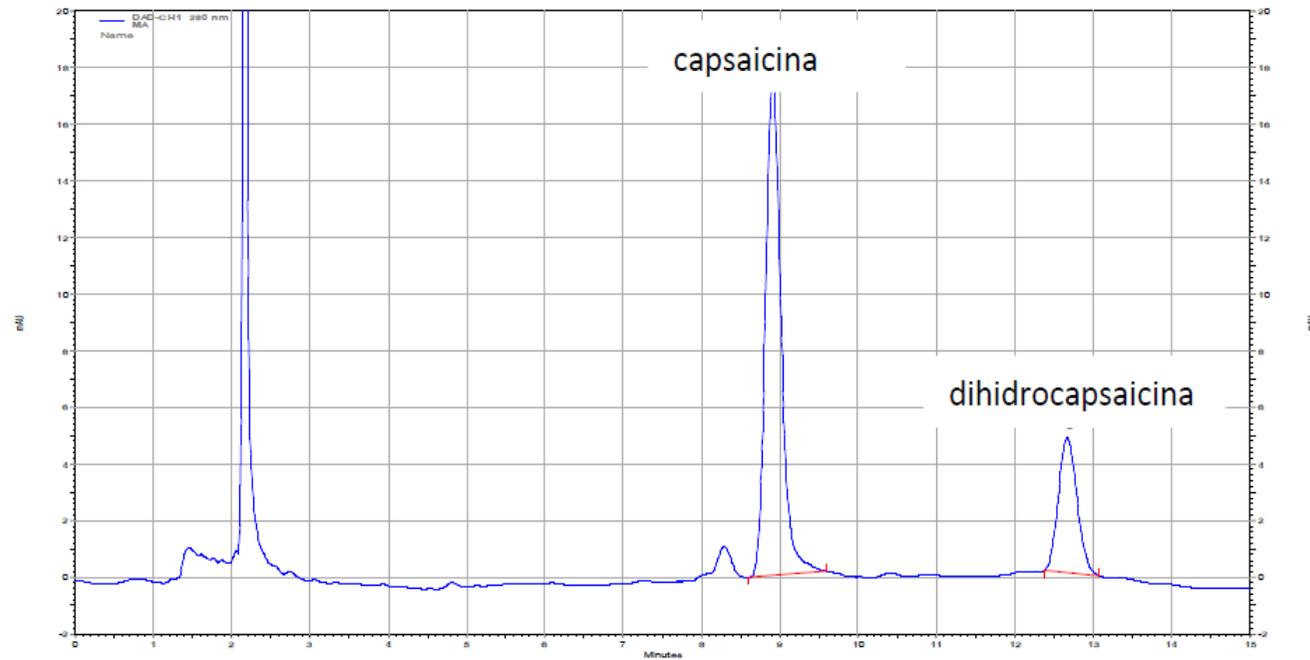
Wall, MM; Waddell, CA; Bosland, PW. 2001. Variation in β -carotene and total carotenoid content in fruits of capsicum. *HortScience* 36(4):746-749.

Yao, JP; Fair, MG; Chandra, A. 1994. Supercritical carbon-dioxide extraction of scotch bonnet (*Capsicum annuum*) and quantification of capsaicin and dihydrocapsaicin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42:1303-1305.

Zewdie, Y; Bosland, PW. 2001. Capsaicinoid profiles are not good chemotaxonomic indicators for Capsicum species. *Biochemical Systematics and Ecology* 29:161-169.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: CROMATOGRAMA HPLC DE LAS SEMILLAS Y VENAS DE AJÍ AMARILLO FRESCAS



Porcentaje de humedad (%):	$68,01 \pm 0,41$
Concentración de capsaicina:	$508,30 \mu\text{g/g}$
Concentración de dihidrocapsaicina:	$139,70 \mu\text{g/g}$

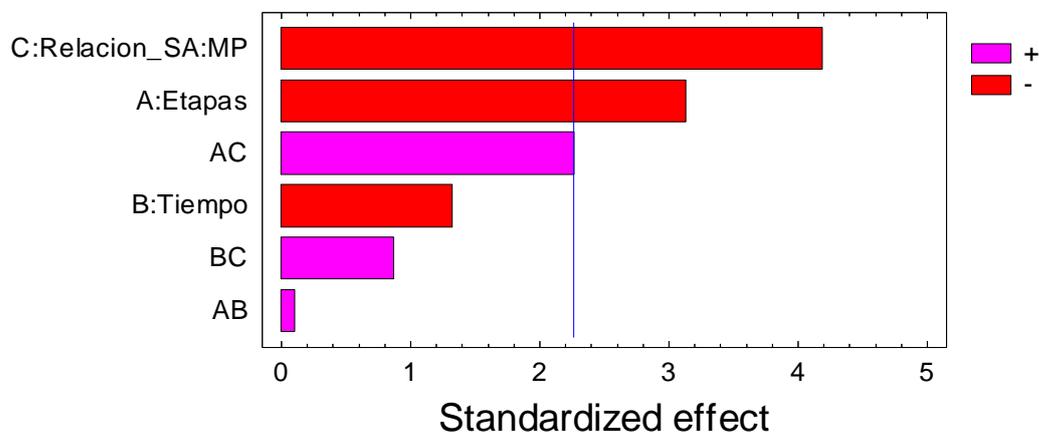
ANEXO 2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Análisis de varianza para la concentración de capsaicinoides en el *screening*

EFFECTOS	SUMA DE CUADRADOS	D.F.	CUADRADO MEDIO	RAZÓN F	VALOR P
A:Etapas	1 968,78	1	1 968,78	9,83	0,0120
B: Tiempo	352,45	1	352,45	1,76	0,2172
C: Relación SA/MP	3 515,41	1	3 515,41	17,56	0,0023
AB	2,31	1	2,31	0,01	0,9168
AC	1 032,85	1	1 032,85	5,16	0,0492
BC	152,25	1	152,25	0,76	0,4058
Error total	1 801,73	9	200,19		
Total corregido	8 825,79	15			

R-cuadrado	79,59%
R-cuadrado (ajustado para d.f.)	65,98%
Estimación del error estándar	14,1489
Error absoluto medio	10,0625
Valor estadístico Durbin-Watson	0,461417 (P=0,0008)
Autocorrelación residual Lag 1	0,706148

Diagrama de Pareto estandarizado para la concentración de capsaicinoides en el *screening*

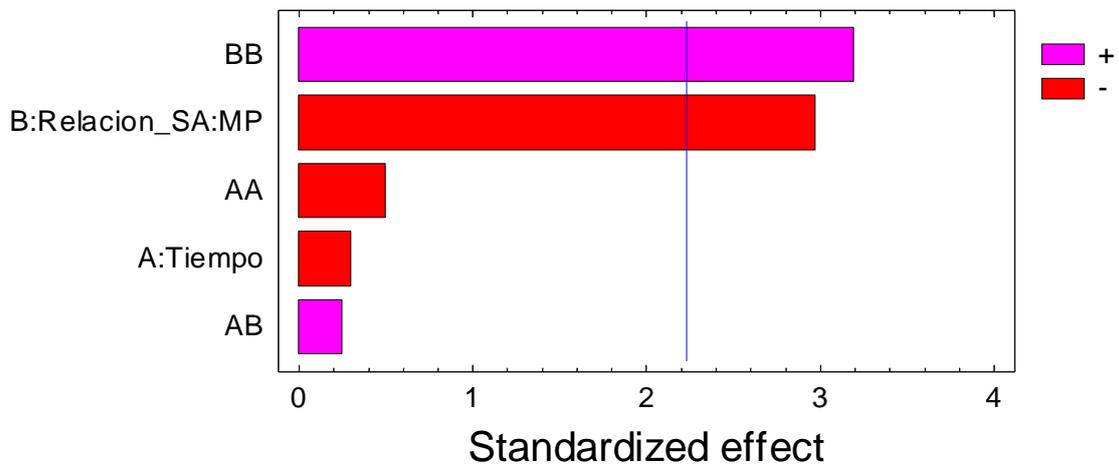


Análisis de varianza para la concentración de capsaicinoides en la optimización

EFFECTOS	SUMA DE CUADRADOS	D.F.	CUADRADO MEDIO	RAZÓN F	VALOR P
A:Tiempo	352,56	1	352,56	0,09	0,7709
B: Relación SA/MP	34 866,80	1	34 866,80	8,86	0,0139
AA	992,35	1	992,35	0,25	0,6265
AB	249,64	1	249,64	0,06	0,8063
BB	40 172,00	1	40 172,00	10,20	0,0096
Error total	39 371,30	10	3 937,13		
Total corregido	116 005,00	15			

R-cuadrado 66,06%
R-cuadrado (ajustado para d.f.) 49,09%
Estimación del error estándar 62,7466
Error absoluto medio 29,6934
Valor estadístico Durbin-Watson 2,83917 (P=0,0097)
Autocorrelación residual Lag 1 -0,606969

Diagrama de Pareto estandarizado para la concentración de capsaicinoides en la optimización



ANEXO 3: FORMULACIÓN DEL ADEREZO EMPLEADO EN LAS PRUEBAS DE FRITURA

Formulación de aderezo empleado en las pruebas de fritura

INGREDIENTES	PORCENTAJE (%)
Aceite vegetal	3,34%
Pasta de ají amarillo	75,61%
Pasta de ajo	5,05%
Pasta de cebolla	15,20%
Comino + orégano + pimienta + sal + sorbato de sodio	0,80%
TOTAL	100,00%