

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE
APURÍMAC**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



**DETERMINACIÓN DE PARAMETROS ÓPTIMOS DE
EXTRACCIÓN DE FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE
A PARTIR DE SEMILLAS DE LINAZA
(*Linum usitatissimum* L.)**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

BRAULIO FRANKLIN MERMA RIO

Abancay; Octubre del 2013

PERÚ



T
IAG
M
2013

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC	
CÓDIGO	MFN
	BIBLIOTECA CENTRAL
FECHA DE INGRESO:	02 SET. 2014
Nº DE INGRESO:	00371



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

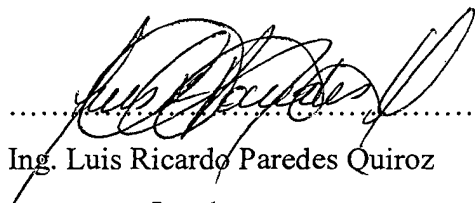
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Jurado calificador integrado por:



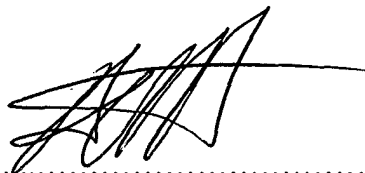
.....
Ing. M.Sc. Fulgencio Vilcanqui Perez

Presidente



.....
Ing. Luis Ricardo Paredes Quiroz

Jurado



.....
Ing. Alfredo Fernandez Ayma

Jurado



.....
Ing. Victor Justiniano Huamani Meléndez

Asesor

**DETERMINACIÓN DE PARAMETROS ÓPTIMOS DE
EXTRACCIÓN DE FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE
A PARTIR DE SEMILLAS DE LINAZA**
*(*Linum usitatissimum* L.)*



DEDICATORIA

A mis padres Braulio Merma Monzón y María Luisa Rio Gutiérrez, a todos mis familiares, quienes me brindaron su apoyo incondicional durante toda mi formación profesional y por ser los artífices del presente trabajo de tesis.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por acompañarme en todas mis actividades y entregarme la fuerza necesaria para terminar esta importante etapa de mi vida.

Asimismo hago patente mi agradecimiento al Ing. Huamani Melendez, Ing. Didi Florez y al Ing. M.Sc. Víctor Sarmiento Casavilca, personas que gentilmente asumieron la responsabilidad de mi acción y de la marcha de la tesis.

A mis padres y a mis familiares por la confianza puesta en Mí y por el gran esfuerzo realizado para terminar este proyecto.

También reconozco la ayuda de los evaluadores por el análisis crítico y oportunas sugerencias en la redacción final de la tesis.

A mis amigos y compañeros y a todas aquellas personas que directa o indirectamente contribuyeron al logro de una de mis metas.



INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1. Linaza (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	8
2.1.1. Nociones generales de la linaza	9
2.1.2. Clasificación taxonómica de la linaza	9
2.1.3. Características de la linaza	10
2.1.4. Principales componentes nutricionales de la linaza	11
2.2. Tratamientos para la tracción de fibra	15
2.2.1. Tratamiento con temperatura	15
2.2.2. Tratamiento por explosión en vapor de agua	16
2.2.3. Tratamiento con soluciones químicas	17
2.3. Fibra dietética (FD)	18
2.3.1. Componentes de la fibra dietética	19
2.3.2. Tipos de fibra dietética	21
2.3.2.1. La fibra insoluble	21
2.3.2.2. La fibra soluble	22
2.3.3. Propiedades funcionales de la fibra dietética	23
2.3.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)	23
2.3.3.2. Capacidad de adsorción de aceite (CAG)	24
2.3.3.3. Capacidad de hinchamiento (CH)	24
2.3.4. Beneficios y utilidad de la fibra dietética	25
2.3.5. Efectos adverso de la fibra	28
2.3.6. Fuentes de la fibra dietética	29

CAPITULO III: PARTE EXPERIMENTAL.

3.1. Metodología experimental	31
3.2. Descripción del diagrama de flujo para el desarrollo experimental	32
3.3. Determinación del rendimiento de la fibra dietética obtenida	34
3.4. Evaluación de la calidad funcional de la fibra dietética obtenida	35
3.4.1. Determinación de la capacidad de retención de agua	35
3.4.2. Determinación de la capacidad de adsorción de aceite	35
3.4.3. Determinación de la capacidad de hinchamiento	36
3.5. Procesamiento y análisis de datos	36

CAPITULO IV: RESULTADOS.

4.1. Rendimiento	38
4.2. Propiedades funcionales de la fibra dietética	41
4.2.1. Capacidad de retención de agua (CRA)	42
4.2.2. Capacidad de adsorción de aceite (CAG)	46
4.2.3. Capacidad de hinchamiento (CH)	50

CAPITULO V: CONCLUSIONES

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar los parámetros óptimos de pH, Temperatura y Tiempo para la extracción de fibra dietética soluble a partir de semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.), teniendo los objetivos específicos determinar el rendimiento y evaluar las propiedades funcionales de capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de aceite (CAG) y capacidad de hinchamiento (CH) de la fibra dietética obtenida a partir de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.), en función del pH, Temperatura y Tiempo de extracción.

La metodología para dilucidar los efectos de los parámetros de extracción en la evaluación del rendimiento de la fibra dietética obtenida a partir de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) fue por el método de remojo a temperaturas altas, en cambio para la evaluación funcional se optó por la metodología propuesta por Mc Connell y Col (1974); de las evaluaciones realizadas a la fibra dietética soluble obtenida de semillas de linaza se llegó a la conclusión, para el rendimiento, el tratamiento T₉ a condiciones de extracción de pH 3, Temperatura 90 °C y Tiempo de 60 min. se obtiene mayor rendimiento (13.19 %), seguido del tratamiento T₈ (12.26 %) y finalmente los otros, de la evaluación de los efectos intersujetos, la interacción de los factores temperatura * tiempo (sig. 0.152) no es significativo ($p > 0.05$); en cambio los demás factores y sus interacciones son significativos ($p < 0.01$); para las propiedades funcionales evaluadas, la capacidad de retención de agua (CRA), resultó que el tratamiento T₂₁ a condiciones de extracción de pH 7, Temperatura 80 °C y Tiempo de 60 min. se obtiene mayor capacidad de retención de agua (7.71 g de agua / g de materia seca), seguido del tratamiento T₁₀ (7.39 g de agua / g de materia seca) y finalmente los otros, de la evaluación de los efectos intersujetos, el factor tiempo



(sig. 0.247) no es significativo ($p > 0.05$); en cambio los demás factores y sus interacciones son significativos ($p < 0.01$); la capacidad de adsorción de aceite (CAG), resultó que el tratamiento T_{20} a condiciones de extracción de pH 7, Temperatura 80°C y Tiempo de 40 min. se obtiene mayor capacidad de adsorción aceite (0.62 g de aceite / g de materia seca), seguido de los tratamientos T_{23} (0.60 g de aceite / g de materia seca) y T_{19} (0.59 g de aceite / g de materia seca), finalmente los otros, de la evaluación de los efectos intersujetos, el factor temperatura (sig. 0.516) no es significativo ($p > 0.05$); en cambio los demás factores y sus interacciones son significativos ($p < 0.01$); la capacidad de hinchamiento (CH), resultó que el tratamiento T_{16} a condiciones de extracción de pH 5, Temperatura 90°C y Tiempo de 20 min. se obtiene mayor capacidad de hinchamiento (35.19 ml de agua / g de materia seca), respecto a los otros, de la evaluación de los efectos intersujetos, todos los factores y sus interacciones son significativos ($p < 0.01$).

SUMMARY

This research has as main objective to determine the optimal parameters of pH , temperature and time for extracting soluble dietary fiber from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) , with specific objectives and evaluate performance to determine the functional properties of water retention capacity (CRA) , oil adsorption capacity (CAG) and swelling capacity (CH) dietary fiber derived from flax seeds (Linum usitatissimum L.) , depending on the pH , temperature and extraction time . Methodology to elucidate the effects of the extraction parameters in evaluating the performance of dietary fiber obtained from flax seeds (Linum usitatissimum L.) was by the method of soaking at high temperatures, in contrast to functional evaluation we opted for the methodology proposed by Mc Connell and Col (1974) evaluations of the soluble dietary fiber derived from flax seeds is concluded , for performance, T9 treatment extraction conditions pH 3 , temperature 90 ° C Time 60 min. higher yield is obtained (13.19 %) , followed by treatment T₈ (12.26 %) and finally the other , evaluation of intersubject effects , the interaction of temperature factors * time (sig. 0.152) is not significant ($p > 0.05$) , whereas the other factors and their interactions are significant ($p < 0.01$) for the functional properties evaluated , the water holding capacity (CRA) , proved that the treatment T₂₁ extraction conditions pH 7 Temperature 80 ° C and 60 min Time . provides increased water retention capacity (7.71 g water / g dry matter) , followed by treatment T₁₀ (7.39 g water / g dry matter) and finally the other of the intersubject impact assessment , the factor time (Sig 0.247) is not significant ($p > 0.05$) , whereas the other factors and their interactions are significant ($p < 0.01$) , the oil absorption capacity (CAG) , proved that the treatment T₂₀ extraction conditions pH 7 , 80 ° C Temperature and Time 40 min . provides increased adsorption capacity oil (0.62 g oil / g dry matter) , followed by



treatments T₂₃ (0.60 g oil / g dry matter) and T₁₉ (0.59 g oil / g dry matter) , finally the other , of the evaluation of the effects intersubject , the temperature factor (Sig 0.516) is not significant (p> 0.05), whereas the other factors and their interactions are significant (p <0.01), the swelling capacity (CH) proved that treatment T₁₆ extraction conditions of pH 5 and temperature 90 ° C Time 20 min. provides increased swelling capacity (35.19 ml of water / g dry matter), with respect to the others, the intersubject impact assessment , all factors and their interactions are significant (p <0.01).



I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación surge motivada por el desconocimiento de las bondades, métodos y parámetros para la obtención de fibra dietética soluble a partir de las semillas de linaza, con propiedades funcionales apropiadas para su incorporación en productos comestibles. La investigación busca alternativas tecnológicas que permitan revalorar este importante recurso, además de contar con materia prima potencial (semillas de linaza) que no es aprovechada en la industria en nuestro ámbito regional.

En la región Apurímac el productor mayoritario de semillas de linaza viene a ser el Distrito de Curahuasi con una producción de 600 toneladas por estación aproximadamente.

También busca generar una nueva alternativa de productos a partir de las semillas de linaza para mejorar utilidad y contrarrestar las diversas enfermedades gastrointestinales, de esta manera darle un valor agregado a dicha materia prima para incrementar la economía de los productores.

El objetivo de la investigación contribuye a determinar la influencia de parámetros óptimos de pH, temperatura y tiempo durante la extracción de fibra dietética soluble por el método de remojo a temperaturas altas, para evaluar el rendimiento y las propiedades funcionales como la capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de aceite (CAG) y capacidad de hinchamiento (CH) de la fibra dietética soluble obtenida a partir de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) presentado como una alternativa tecnológica.

Por consiguiente, en el presente trabajo se evaluó la eficiencia de diferentes tratamientos en la extracción acuosa de la fibra dietética soluble proveniente de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.), conducentes al aprovechamiento de esta materia prima con fines alimenticios.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Linaza (*Linum usitatissimum* L.)

2.1.1. Nociones generales de la linaza

La linaza se ha reconocido desde tiempos prehistóricos, como una fuente de alimentos y fibra, la mayor parte se consume, ya sea como suplemento dietético o como ingrediente para repostería, se importa desde Canadá. Históricamente, la producción de linaza se orientó hacia la producción de aceite de uso industrial; sin embargo, actualmente hay un nuevo interés por consumir la semilla molida debido a su potencial beneficio para la salud. Aunque hay importante evidencia que respalda el consumo de linaza, mucha gente aún desconoce las ventajas de su consumo y sus posibles aplicaciones en alimentos (Daunet *al.* 2003; Morris y Vaisey, Genserb 2003; Oomah 2003; Wanasundara y Shahidi 2003; Hall *et al.* 2006).

La linaza o semilla del lino (*Linum usitatissimum*L.) es rica en compuestos, debido a que proporcionan beneficios a la salud humana (ácido α - linolénico, lignanos y polisacáridos diferentes al almidón) y que se han propuesto que, a través de su efecto anti hipercolesterolémico, anti-carcinogénico, y controlador del metabolismo de la glucosa, pueden prevenir o reducir el riesgo de varias enfermedades importantes que incluyen la diabetes, el lupus, la nefritis y los cáncer dependientes de hormonas. Además, se ha señalado que el consumo de linaza aumenta la producción de lignanos en los mamíferos. Estos efectos, junto con su alto contenido de proteínas, hacen de la linaza un ingrediente alimentario muy atractivo y uno de los alimentos funcionales más importantes del siglo XXI (Shearer y Davies, 2005; Babu y Wiesenfeld, 2003; Oomah, 2003; Thompson, 2003)



2.1.2. Clasificación taxonómica de la linaza

La linaza tiene la siguiente clasificación taxonómica según el Consejo Canadiense de Linaza (2003).

- Familia : Linaceae
- Género : *Linum*
- Especie : *Usitatissimum*
- Nombre científico : *Linum usitatissimum* L.
- Nombres comunes : Linaza, Lino, Flax

2.1.3. Características de la semilla de linaza

La semilla de linaza es de 4 a 6 mm de longitud, aplanada, de forma oval y con un extremo aguzado. La cubierta de la semilla es de apariencia suave y brillante, y su color puede variar entre marrón oscuro y amarillo claro.

El peso de 1000 semillas es de 5 ± 1 g y su peso del hectolitro fluctúa entre 55 y 70 kg (Daunet *al.* 2003; Oomah, 2003).

La semilla tiene dos cotiledones aplanados, que constituyen la mayor proporción del embrión; este último está rodeado por las cubiertas de la semilla y por una delgada capa de endospermo.

La testa tiene una capa exterior que contiene la mayoría de la fibra soluble y dos interiores ricas en fibra y lignanos. Desde un punto de vista estructural, la testa, endospermo y cotiledones representan el 22, 21 y 57 %, respectivamente (Daunet *al.*, 2003; Oomah, 2003; Wiesenborn *et al.*, 2003).

Existen variedades de semillas de color amarillo o doradas y de color marrón; a pesar de la creencia de que el color externo de la semilla es un indicador de la composición química de la

linaza, no se han encontrado variaciones que sustenten que haya una diferencia entre ellas más allá de las causadas por la condiciones de cultivo (Daunet *al.*, 2003; Morris y Vaisey-Genserb, 2003).

2.1.4. Principales componentes nutricionales de la linaza

Composición química de la linaza

La linaza tiene alrededor de 40% de lípidos, 30% de fibra dietética y 20 % de proteína. La composición proximal varía considerablemente entre las variedades y de acuerdo a las condiciones ambientales en las que haya crecido la planta. En los cotiledones se encuentra el 87% de los lípidos y el 76% de la proteína de la semilla, en tanto que en el endospermo está sólo el 17% de los lípidos y el 16% de la proteína (Babu y Wiesenfeld, 2003; Daunet *al.*, 2003; Oohma, 2003).

La linaza es una semilla oleaginosa, fuente importante de ácidos grasos omega 3, especialmente a linolénico (ALA) que puede constituir hasta el 52% del total de ácidos grasos; de compuestos fenólicos conocidos como lignanos; de una goma coloidal y de proteína de buena calidad. Estos compuestos, aunque están ubicados en diferentes partes de la semilla, interactúan entre sí durante la extracción y el procesamiento, lo que plantea grandes desafíos para su utilización (Oomah, 2001; Oomah, 2003; Hall *et al.*, 2006).

Proteínas

El contenido de proteínas de la mayoría de los cultivares de linaza fluctúa entre 22.5 y 31.6 g/100 g. Las condiciones de procesamiento (descascarado o desgrasado) afectan el contenido de proteínas del producto derivado de la linaza. La cáscara tiene menores contenidos de proteína, por lo que, la harina sin cáscara y desgrasada tiene un alto contenido proteico. Como

en muchas otras semillas, el contenido de globulinas es mayoritario, llegando al 77% de la proteína presente, en tanto que el contenido de albúminas representa al 27% de la proteína total. La proteína de linaza es relativamente rica en arginina, ácido aspártico y ácido glutámico; los aminoácidos limitantes son lisina, metionina y cisteína (Daunet *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006).

Lípidos

El aceite, que constituye el componente principal de la linaza (35 a 43 g/100g base materia seca) ha sido por años el objetivo principal del procesamiento de esta semilla. La torta remanente de la extracción de aceite (55%), todavía se considera en algunas partes como un subproducto de bajo valor (Daunet *et al.*, 2003; Oomah, 2003). Los cotiledones son el principal tejido de almacenamiento de aceite, el que está constituido principalmente (98%) por triacilgliceroles y se encuentra en glóbulos de aceite de 1.3 μm de diámetro. También en la fracción lipídica se encuentra un 0.9 % de fosfolípidos y un 0.1% de ácidos grasos libres. Aunque la cáscara es relativamente pobre en lípidos (22%), su aceite es rico en ácido palmítico. En los cotiledones predomina los ácidos a linolénico, linoleico y oleico (Hall *et al.*, 2006).

Hidratos de Carbono

La linaza contiene muy pequeñas cantidades de azúcares solubles (1 a 2 g/100g). La mayoría de los hidratos de carbono presentes en esta especie, pertenecen al grupo de la fibra dietética. Se destaca entre otros granos por ser una excelente fuente de fibra dietética soluble e insoluble, la que en total puede llegar hasta 28% del peso seco de la semilla. La relación entre fibra soluble e insoluble fluctúa entre 20:80 y 40:60. En la fracción soluble, se encuentra un

hidrocoloide conocido como mucílago (8% del peso de la semilla). Existe muy poca información de la variación del contenido de fibra dietética entre variedades y según las condiciones de cultivo (Daunet *et al.*, 2003).

Otros compuestos

Entre los minerales, destaca el contenido de potasio, fósforo, hierro, zinc y manganeso. La semilla contiene además, vitaminas del grupo B. Como muchas semillas oleaginosas, contiene tocoferoles y tocotrienoles, estando muy relacionado su contenido con la presencia de ácido a linolénico. También la mayoría de las variedades de linaza contienen esteroides como estigmasterol, campesterol y avenasterol; y, carotenoides como luteína, β -caroteno y violaxantina (Hall *et al.*, 2006).

Por otra parte, la linaza tiene entre 0.8 y 1.3 g/100g de ácidos fenólicos, de los cuales aproximadamente 0.5 g/100g están en forma esterificada, y de 0.3 a 0.5 g/100g están en la forma eterificada, habiendo variaciones importantes entre variedades y por las condiciones ambientales. Los ácidos fenólicos más abundantes en la harina de semilla descascarada son el trans-ferúlico (46%), trans-sinápico (36%), p-cumárico (7.5%) y trans-caféico (6.5%). La goma de linaza también puede tener cantidades considerables de ácidos fenólicos (Daunet *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006). Una de las características más interesantes de la linaza es su contenido de fenoles complejos como es el caso de los lignanos. El lignano de mayor interés es el secoisolaciresinol (SDG), aunque también están presentes isolariciresinol, pinoresinol y mataresinol y otros derivados del ácido ferúlico (Daunet *et al.*, 2003).



Compuestos Antinutricionales

La linaza contiene algunos compuestos antinutricionales como es el caso de muchas otras plantas; el ácido fítico y los glucósidos cianogénéticos son los principales, aunque en la literatura no se han informado efectos adversos provocados por el consumo de linaza (Hall *et al.*, 2006).

El ácido fítico, un poderoso agente quelante de cationes y acomplejador de proteínas y almidón, está en cantidades que varían entre 0.8 y 1.5 g/100g del peso seco de la semilla dependiendo de cada variedad y las condiciones de crecimiento de la planta; estos valores son semejantes a los encontrados en maní y en fréjol soya, pero bastante inferiores a los de otras oleaginosas (2 a 5.2 g/ 100g). El ácido fítico, que representa entre el 60 y el 90% del fósforo presente en la semilla, constituye la principal forma de almacenamiento de este elemento y se estima que juega un papel preponderante en la viabilidad y vigor de la semilla. Se han informado efectos negativos como la reducción de la absorción de calcio, zinc, y hierro y de la digestibilidad de las proteínas; y positivos, como la disminución de la respuesta glicémica por el consumo de almidón y de la incidencia de cáncer de colon en ratas (Daunet *et al.*, 2003).

Los glucósidos cianogénéticos tienen la capacidad de liberar cianuro por hidrólisis ácida o enzimática. En la semilla de linaza los principales glucósidos presentes son linustatina y neolinustatina, y pequeñas cantidades de linamarina y lotasutralina, estando localizados principalmente en los cotiledones. Como en casi todas las plantas, el contenido en la linaza varía con la variedad, condiciones ambientales y la edad de la semilla, reduciéndose el contenido desde 5.0 g/100g en la semilla inmaduras a 0.1 g/100g en las maduras. La hidrólisis ocurre cuando la semilla se daña, debido a que durante la ruptura celular se liberan enzimas que actúan sobre los sustratos cianogénéticos. El efecto metabólico que tiene el consumo de glucósidos cianogénéticos en los seres humanos depende de la cantidad



consumida, la frecuencia de consumo, el estado nutricional y de salud de la persona y de la presencia de otros componentes en la dieta que puedan interactuar con ellos. Algunos tratamientos, como el tostado en microondas y la ebullición en agua reducen la aparición de cianuro en un 83 y 100%, respectivamente. Es importante destacar que el uso de la linaza habitualmente es como un ingrediente menor en panes, queques o cereales para desayuno, por lo que los glucósidos cianogénicos no representan un problema para el consumo, especialmente porque luego del horneado no se ha detectado presencia de cianuro en ellos (Daunet *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006).

La composición química de la linaza se muestra en el cuadro 01. No obstante, hay que señalar que esta composición depende de factores como la zona de producción, la época en que se cultiva, etc.

Cuadro 01: Composición química de las semillas de linaza (referida a 100 g de producto)

Energía (kcal)	Grasas (g)	AGS ¹ (g)	AGM ² (g)	AGP ³ (g)	Proteínas (g)	Carbohidratos (g)	Fibra (g)	Magnesio (mg)	Calcio (mg)
492-699	34.0-47.8	3.2	6.9	22.4	19.5-23.7	34.3	25.8-27.9	362	199

Fuente: Gambus H, Borowiec F y Zajac T.(2003.)

- ¹AGS: ácidos grasos saturados
- ²AGM: ácidos grasos monoinsaturados
- ³AGP: ácidos grasos poliinsaturados

2.2. Tratamientos para la extracción de fibra

2.2.1. Tratamiento con temperatura

Consiste en una serie de operaciones de acondicionamiento de la materia prima como previo al tratamiento de extracción, tales como el cortado, prensado, molienda y lavado. En el trabajo de

investigación realizado para la obtención del concentrado de fibra de piña, se estudió la etapa de lavado con variables de relación de agua: residuo 2:1, temperatura de 100°C y con un tiempo de 5 minutos de tratamiento, resultando de este trabajo un rendimiento de 6.4 a 8.6% y con un contenido de fibra dietética total de 85.2%, constituida mayoritariamente por hemicelulosa en un 43.8% y la capacidad de retención de agua fue de 6,1 g/g de muestra seca (Fernández, 2006). Por otro lado, también se tiene al trabajo efectuado para la obtención del concentrado de fibra proveniente de hojas del Agave tequila Weber, en la que la fibra se trató a una temperatura de 90°C, relación de M:H₂O 1:2 y con un tiempo de 15 minutos, tratamiento considerado como el más adecuado para concentrar la mayor cantidad de fibra (García, et al., 2003). Por último se cita el trabajo de investigación efectuada sobre las pencas de Agave, con la finalidad de obtener la fibra; estudiándose las variables de tiempo y la presión, mediante la ayuda del modelo estadístico matemático “superficie de respuesta”, evaluando las condiciones óptimas del tratamiento que permitan obtener el mayor porcentaje de fibra limpia y de color ideal; siendo esta a una presión de 45 lb/pulg² y con un tiempo de 63 minutos con un rendimiento óptimo de 9.08% (Barrios, 1982).

2.2.2. Tratamiento por explosión en vapor de agua

Se ha estudiado el efecto de un tratamiento termo mecánico de explosión a vapor que tiene efectos sobre el complejo celulolítico, constituyéndose, como una operación de pretratamiento de la masa lignocelulósica que altera la compleja estructura de este tipo de materiales, facilitando así la acción de los enzimas celulolíticos (Aguilera y SanMartín, 1985). En este tratamiento de explosión a vapor, la masa se somete durante tiempos cortos a una presión y temperatura elevada, produciéndose a continuación una descompresión brusca en el reactor mediante el cual se descarga el material. De esta manera, se produce una disgregación efectiva

del material en sus tres componentes (celulosa, lignina y hemicelulosa). Este tipo de tratamiento se experimentó sobre residuos de extracción de aceite de oliva (pulpa y porciones de hueso), en una instalación piloto que fue equipada con un reactor de dos litros de capacidad diseñado para alcanzar una presión de operación máxima de 42 kgf/cm^2 . El reactor se cargó con 200 g de materia prima y se inyectó vapor saturado hasta alcanzar la temperatura deseada. Una vez transcurrido el tiempo de proceso, el material se descargó de manera súbita en un ciclón, eliminándose los volátiles (Ballesteros et al., 2002). El proceso de explosión a vapor puede ser usado satisfactoriamente como un pretratamiento para la producción del etanol a partir de la biomasa lignocelulosa. Tradicionalmente la efectividad del pretratamiento es evaluado en términos de solubilización de hemicelulosa, la conversión enzimática de la fracción de celulosa y la recuperación de ambos polisacáridos. En este estudio, se han evaluado diferentes parámetros de composición (componentes principales) teniendo como una alternativa para caracterizar el efecto del pretratamiento con el vapor de materiales lignocelulosos.

2.2.3. Tratamiento con soluciones químicas

Los residuos agrícolas previa a la fermentación, debe ser sometido a una serie de procesos para liberar los azúcares: trituración o molienda, clasificación, pretratamiento, hidrólisis ácida y acondicionamiento. El proceso debe conseguir la ruptura de los enlaces $\beta(1,4)$ glucosídicos para obtener azúcares y evitar que éstos se degraden, a la vez que aparezcan otros compuestos indeseables. Mediante la hidrólisis con ácidos se consigue romper la estructura cristalina de la celulosa y hemicelulosa, de forma que se liberan los azúcares que las forman obteniéndose una disolución azucarada (hidrolizada). La hidrólisis ácida puede realizarse con elevadas concentraciones de ácido, 70 a 77% en peso, por lo que no son necesarias temperaturas altas,



próximas a 50°C, o bien a concentraciones bajas, 0,4 a 0,7% en peso, que sí necesita temperaturas altas, sobre 200°C. El proceso de hidrólisis se ha tratado de cuantificar mediante la determinación de los rendimientos en glucosa y en azúcares reductores totales, para cada uno de los hidrolizados obtenidos. Por otra parte, una vez finalizada la hidrólisis, cada uno de los residuos sólidos obtenidos se ha caracterizado en relación al contenido en celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas. En este sentido, cabe indicar que bajo la hipótesis de no degradación de la lignina se han calculado los valores de la conversión fraccional aceptando que la hemicelulosa es el reactivo limitante (Moya et al., 2005).

También se han desarrollado muchos tratamientos para hacer los materiales lignocelulósicos más susceptibles a la sacarificación, que incluyen los tratamientos físicos, químicos y enzimáticos. Como tratamiento físico, la molienda disminuye el índice de cristalinidad y el grado de polimerización de la celulosa, aunque permite aumentar la superficie de contacto con reactivos y enzimas. De la misma manera, la molienda húmeda favorece la hidrólisis enzimática de la celulosa (Chang et al., 1981).

2.3. Fibras dietéticas (FD)

Aunque no hay consenso en la comunidad científica sobre el concepto de FD, se puede definir como la parte de las plantas comestibles que resiste la digestión y absorción en el intestino delgado humano y que experimenta una fermentación parcial o total en el intestino grueso. Esta parte vegetal está formada por un conjunto de compuestos químicos de naturaleza heterogénea (polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias análogas). (Asociación americana de Informe de Químicos de Cereal, 2001). Desde el punto de vista nutricional, y en sentido estricto, la FD no es un nutriente, ya que no participa directamente en procesos metabólicos básicos del organismo. No obstante, la FD desempeña funciones fisiológicas



sumamente importantes como estimular la peristalsis intestinal. La razón por la que el organismo humano no puede procesarla se debe a que el aparato digestivo no dispone de las enzimas que pueden hidrolizarla. Esto no significa que la FD pase intacta a través del aparato digestivo: aunque el intestino no dispone de enzimas para digerirla, las enzimas de la flora bacteriana fermentan parcialmente la fibra y la descomponen en diversos compuestos químicos: gases (hidrógeno, dióxido de carbono y metano) y ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato y butirato). Éstos últimos pueden ejercer una función importante en el organismo de los seres vivos. La FD se encuentra únicamente en alimentos de origen vegetal poco procesados tecnológicamente, como los cereales, frutas, verduras, semillas y legumbres (Fernández y Rodríguez, 2001).

2.3.1. Componentes de la fibra dietética

La fibra vegetal es a veces denominada como un conjunto heterogéneo de moléculas complejas, los beneficios son varios y por esta razón conviene la ingesta de diversas fuentes antes que la de una sola. Las fibras suelen contener compuestos tales como (Prosky, 1988):

- **Celulosa**

Parte insoluble de la fibra dietética, abundante en harina entera de los cereales, salvado y verduras como alcachofas, espinacas y judías verdes. La celulosa forma parte de las paredes celulares vegetales.

- **Hemicelulosa**

Mezcla de glucosa, galactosa, xilosa, arabinosa, manosa, y ácidos urónicos, formando parte de la fibra insoluble que se encuentra en salvado y granos enteros de diferentes cereales.

- **Sustancias Pécicas**

Son polímeros del ácido metil D-galacturónico. Se encuentran sobre todo en la piel de ciertas frutas como la manzana o en la pulpa de otros vegetales como los cítricos, la fresa, el membrillo y la zanahoria. Puesto que retienen agua con facilidad, formando geles muy viscosos, se emplean para conferir unas características de textura determinadas. Además, los microorganismos intestinales las fermentan y con ello aumenta el volumen fecal. Su principal uso alimentario es el de espesante en la fabricación de mermeladas y productos de confitería. Para ello es suficiente que se encuentren en concentraciones del 1% en el producto.

- **Almidón resistente**

En tubérculos como papa y semillas, también en frutos, rizomas y médula de muchas plantas. Este almidón, que no se hidroliza en todo el proceso de la digestión, constituye el 20% del almidón ingerido en la dieta. Dicha proporción se reduce cuando los alimentos se someten a tratamiento térmico.

- **Compuestos no carbohidratados**

Como la lignina que posee gran cantidad de ácidos y alcoholes fenilpropílicos formando la fibra insoluble con gran capacidad de unirse y arrastrar otras sustancias por el tubo digestivo, forma la estructura de la parte más dura o leñosa de los vegetales, como acelga, lechuga, el tegumento de los cereales, entre otros.

- **Gomas**

Formadas por ácido urónico, xilosa, arabinosa o manosa, como la goma guar, arábica, karaya y tragacanto. Son fibra soluble. Además de ser moléculas de alto peso molecular, constituidas por polímeros hidrofílicos de unidades monosacáridas y derivados, unidos por enlaces glucosídicos formando largas cadenas, pudiendo estar constituidos por un solo tipo de monosacárido o por distintos tipos. Las gomas naturales se encuentran asociadas a las paredes



celulares de las plantas, microorganismos y a los exudados de las plantas. En los alimentos pueden aparecer como constituyentes naturales o como aditivos, ya que son utilizados en la industria alimenticia como gelificantes y estabilizantes.

- **Mucílagos**

Son polisacáridos muy ramificados de pentosas (arabinosa y xilosa) que secretan las plantas frente a las lesiones. La composición depende del grado de maduración de la planta. Cuanto mayor es su maduración, mayor es la cantidad de celulosa y lignina y menor la de mucílagos y gomas. Forman parte de plantagoovata, de ciertas algas y de las semillas de acacia y tomate. Forman parte de las fibras solubles y algunos tienen función laxante.

- **Otras sustancias**

Cutina, taninos, suberina, ácido fítico, proteínas, iones como calcio, potasio y magnesio.

2.3.2. Tipos de fibra dietética

La FD, tradicionalmente considerada como uncarbohidrato complejo, se ha dividido en dos grupos principales según sus características químicas y sus efectos en el organismo humano(Prosky, 1988). Esta clasificación es arbitraria y tan solo se basa en la separación química manteniendo unas condiciones controladas de pH y de enzimas que intentan simular las condiciones fisiológicas, obteniéndose así dos fracciones: fibra insoluble y fibra soluble(Asociación americana de Informe de Químicos de Cereal, 2001).

2.3.2.1. La fibra insoluble

Está integrada por sustancias (celulosa, hemicelulosa, lignina y almidón resistente) que retienen poca agua y se hinchan poco. Este tipo de fibra predomina en alimentos como el salvado de trigo, granos enteros, algunas verduras y en general en todos los cereales. Los



componentes de este tipo de fibra son poco fermentables y resisten la acción de los microorganismos del intestino. Su principal efecto en el organismo es el de limpiar, como un cepillo natural, las paredes del intestino desprendiendo los desechos adheridos a ésta; además de aumentar el volumen de las heces y disminuir su consistencia y su tiempo de tránsito a través del tubo digestivo. Como consecuencia, este tipo de fibra, al ingerirse diariamente, facilita las deposiciones y previene el estreñimiento(Dreher, 2001).

2.3.2.2. La fibra soluble

Está formada por componentes (inulina, pectinas, gomas, mucilagos y fructooligosacáridos) que captan mucha agua y son capaces de formar geles viscosos. Es muy fermentable por los microorganismos intestinales, por lo que produce gran cantidad de gas en el intestino. Al ser muy fermentable favorece la creación de flora bacteriana que compone 1/3 del volumen fecal, por lo que este tipo de fibra también aumenta el volumen de las heces y disminuye su consistencia.

La fibra soluble, además de captar agua, es capaz de disminuir y ralentizar la absorción de grasas y azúcares de los alimentos (índice glucémico), lo que contribuye a regular los niveles de colesterol y de glucosa en sangre(Marrón y Rosner, 1999).

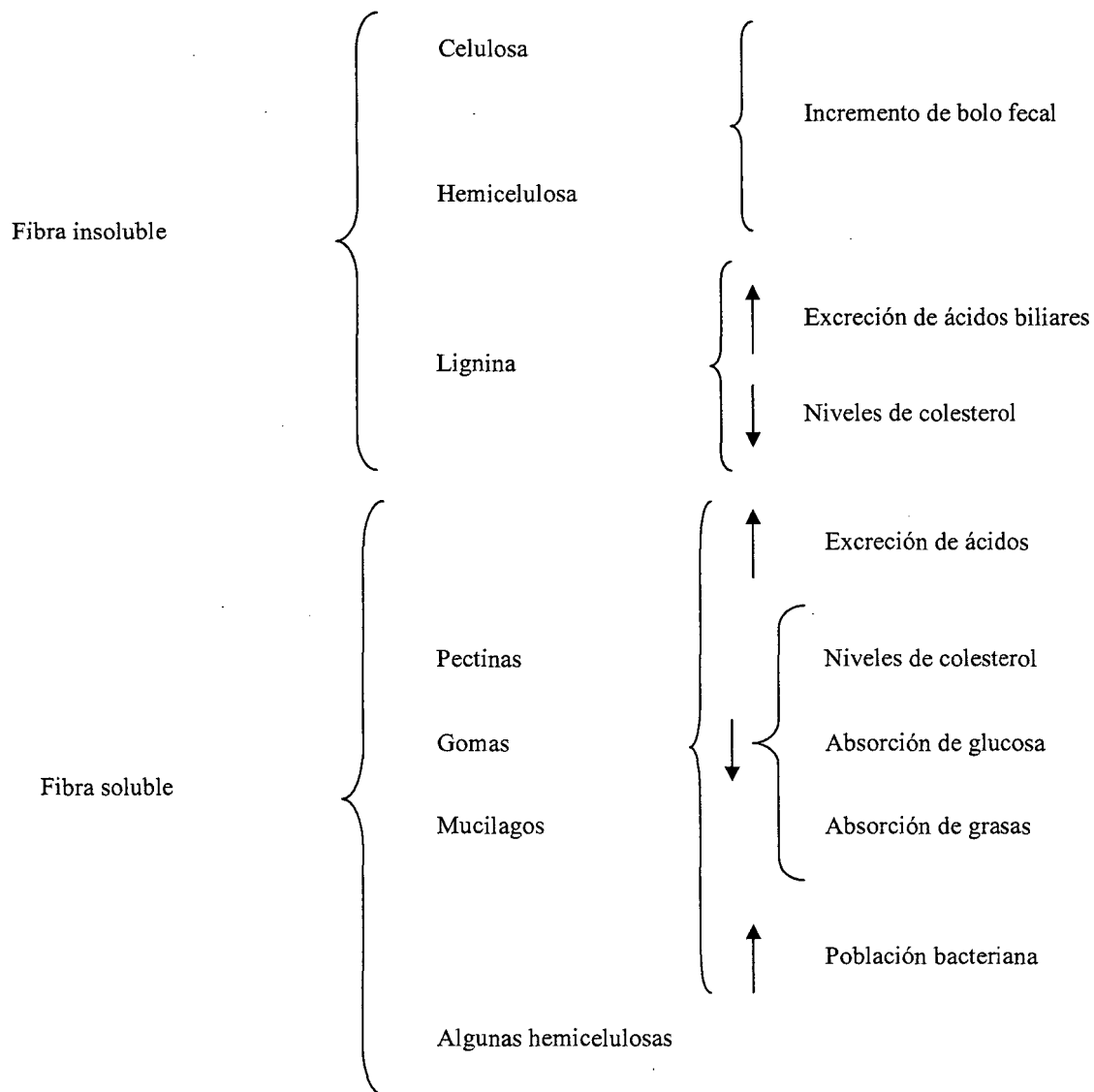


Figura 01: Tipos, componentes y funciones de la fibra dietética (Adaptado de Prosky(1988)).

2.3.3. Propiedades funcionales de la fibra dietética

2.3.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

Expresa la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por una muestra de materia seca de peso conocido, en presencia de un exceso de agua y bajo la acción de una fuerza patrón (Tamayo y Bermúdez, 1998). De esta propiedad depende el efecto fisiológico de la fibra y el

nivel máximo de incorporación a un alimento. La retención de agua afecta la viscosidad de los productos facilitando o dificultando su procesamiento. Entre los factores que influyen en la capacidad de retención de agua en una fibra se encuentran el tamaño de partícula, el pH y la fuerza iónica (Baquero y Bermúdez, 1998). Esta propiedad confiere un efecto de frescura y suavidad en productos horneados (Cruz, 2002).

2.3.3.2. Capacidad de adsorción de aceite (CAG)

Teóricamente las partículas con gran superficie presentan mayor capacidad para adsorber y atrapar componentes de naturaleza aceitosa; la grasa es atrapada en la superficie de la fibra principalmente por medios mecánicos. Se ha observado que las fibras insolubles presentan mayores valores de absorción de grasa que las solubles, sirviendo como emulsificante. A esta propiedad se le relaciona con la composición química, el tamaño y el área de las partículas de fibra (Cruz, 2002). La retención elevada de aceite imparte jugosidad y mejora de la textura de los productos cárnicos, en cambio una baja retención proporciona una sensación no grasosa en productos fritos (Peraza, 2000).

2.3.3.3. Capacidad de hinchamiento (CH)

Se refiere a la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua (Tamayo y Bermúdez, 1998). En esta característica tiene influencia la cantidad de los componentes polisacáridos, porosidad y tamaño de la partícula de la fibra (Femenia, 1997). En la industria panificadora la inclusión de fibra, en referencia a esta propiedad, soluciona problemas relacionados con la pérdida de volumen y humedad, proporcionando mayor estabilidad durante la vida de anaquel al favorecer una apariencia de frescura (Cruz, 2002).



2.3.4. Beneficios y utilidad de la fibra dietética

Aunque actualmente esté muy cuestionado por diversos investigadores, la inclusión en la dieta de alimentos ricos en fibra alimentaria puede prevenir o aliviar diferentes enfermedades tales como:

a) Estreñimiento

El efecto más conocido de la fibra es su capacidad de facilitar la defecación. La fibra aumenta el volumen de las heces al crear residuo sólido y absorber agua lo que produce unas heces más voluminosas y menos consistentes. Además, disminuye el tiempo de tránsito intestinal, es decir, acelera el proceso de evacuación, aumentando su frecuencia. Por lo tanto, un contenido adecuado de fibra en la alimentación es fundamental para prevenir y aliviar el estreñimiento. (Voderholzer, 1997; López, 2008).

b) Diverticulosis o enfermedad diverticular

Enfermedad caracterizada por la aparición de pequeñas bolsas en las paredes del colon en forma de dedo de guante llamadas divertículos. La diverticulosis aumenta con la edad, ya que en las personas mayores la pared intestinal es más débil y la presión que se ejerce dentro del colon facilita la creación de los divertículos. La excesiva presión que tiene que ejercer la capa muscular de la pared del colon al intentar expulsar las heces con poco volumen aumenta la presión dentro del colon y puede contribuir al desarrollo de la enfermedad diverticular. Hoy se acepta que la diverticulosis se debe a un mayor depósito de elastina en las paredes del colon (Stollman y Raskin, 2004)

c) Obesidad

La obesidad es una enfermedad que está asociada con la hipertensión arterial, cardiopatía isquémica, diabetes mellitus y muchos tipos de cáncer. Por lo tanto, mantener un peso corporal adecuado es una medida muy saludable (Lissner, 1987). Las dietas ricas en fibra pueden

ayudar a controlar la obesidad por varias razones: primero, las dietas ricas en fibra poseen menos calorías en el mismo volumen del alimento; segundo, este tipo de dietas facilitan la ingestión de menor cantidad de alimentos debido a que prolongan el tiempo de masticación y por su volumen, ayudan a producir más rápidamente la sensación de saciedad, (Levine, 1989) y por último, las dietas ricas en fibra secuestran parte de los azúcares y las grasas ingeridas, ralentizando su absorción, lo que disminuye el aporte final de energía (Blundell, 1994).

d) Cáncer de colon y recto

Aunque aisladamente una dieta rica en fibra no protege del cáncer colorrectal, los primeros estudios epidemiológicos observacionales señalaron que las poblaciones que consumían dietas ricas en fibra presentaban una menor incidencia del cáncer de colon. (Fuchset *al.*,1999). Ahora bien, estos estudios epidemiológicos sobre el efecto protector de la fibra frente a este tipo de cáncer son contradictorios, probablemente por la diversidad de los componentes que forman parte de la fibra alimentaria. Incluso se ha señalado que no es significativa la relación inversa entre el consumo de fibra y el desarrollo de adenomas colorrectales, uno de los precursores del cáncer de colon. Actualmente se acepta que el efecto beneficioso está en la dieta en general: consumo de vegetales (preferentemente verduras y frutas frescas), reducida ingesta de grasas y de carnes rojas, aporte adecuado de micronutrientes, etc.

Los mecanismos que se especulan por los que la FD puede tener efecto protector frente al cáncer de colon son variados (Fuchset *al.*, 1999):

- **Rápido tránsito de masa fecal.** Al disminuir el tiempo de contacto de las sustancias carcinogénicas con la mucosa cólica.
- **Efecto diluyente.** El mayor volumen fecal crea un efecto de dilución de las sustancias carcinogénicas.

- **Acidificación del contenido cólico.** La fermentación de la FD produce ácidos grasos de cadena corta, y la acidificación producida parece inactivar la enzima microbiana 7-a-dehidrolasa que transforman los ácidos biliares de primarios a secundarios. Al mismo tiempo la acidificación dificulta la absorción de calcio, el cual parece ser otro factor protector al dificultar la absorción de ácidos biliares.

- **Mejor nutrición de las células cólicas.** Los ácidos grasos de cadena corta son nutrientes especialmente adecuados para las células cólicas, y en especial el butirato que parece favorecer el desarrollo de las células cólicas en detrimento de las tumorales, teniendo un efecto protector en la réplica del ADN.

Retención de ácidos biliares. La FD produce una inmovilización de los ácidos biliares que no pueden ser utilizados por la flora intestinal para su transformación en secundarios.

e) Diabetes mellitus

Un aumento en la ingesta de fibra alimentaria, particularmente de tipo insoluble, podría mejorar el control de la glucemia, disminuyendo la hiperinsulinemia y las concentraciones plasmáticas de lípidos en los diabéticos, lo que conferiría un perfil idóneo de protección cardiovascular (Thompson, 2003). No obstante, y aunque se recomienda la inclusión de alimentos ricos en fibra en la dieta de los diabéticos, son muy débiles las pruebas científicas que apoyan la prevención de la diabetes tipo 2 mediante los alimentos ricos en fibra (Pak, 2009):

f) Hipercolesterolemia

La ingesta de fibra proporciona una menor absorción de colesterol, lo que conlleva a la prevención y tratamiento de las afecciones caracterizadas por niveles elevados de colesterol en sangre barajándose varias hipótesis (Zambrano, 2001):

- **Reduccion de la absorción del colesterol y grasa en el intestino.** En este sentido se apunta que la gelificación del quimo puede dificultar la absorción de grasa por inhibición de la formación de la micela per se o por el secuestro de ácidos biliares, también se apunta como fenómeno coincidente una menor absorción por acelerar el tránsito intestinal.
- **Cambios endocrinos.** Al parecer podría producir un cambio en la relación HDL/LDL, lo cual puede deberse a unos niveles de glucemia más bajos, con lo que la producción de insulina disminuiría y por tanto, la síntesis de colesterol plasmático que deriva de ella.
- **Efectos de los metabolitos producidos en el colon.** Los ácidos grasos de cadena corta (fundamentalmente el propionato) producidos en el colon a partir de la FD soluble, parecen tener un efecto depresor de la síntesis de colesterol hepático.
- **Incremento de las necesidades de producción biliar.** La FD produce un fenómeno de adsorción y posterior excreción de ácidos biliares que al no reabsorberse han de ser de nuevo elaborados a partir del colesterol, por lo que pueden descender los niveles orgánicos.

g) Saciedad

Las dietas ricas en FD provocan una mayor sensación de saciedad (ideal para dietas hipocalóricas de regímenes adelgazantes).

Este efecto de saciedad es debido a que los alimentos ricos en FD presentan un contenido calórico bajo para la actividad masticatoria que requieren y el volumen que ocupan (Fuertes, 1998).

2.3.5. Efectos adverso de la fibra

La fermentación de la fibra por las bacterias anaerobias en el colon, puede producir: flatulencia, distensión abdominal, meteorismo y dolor abdominal. Se recomienda que el

consumo de fibra se realice de forma gradual para que el tracto gastrointestinal se vaya adaptando. Se han descrito algunos casos de obstrucción intestinal y de formación de fitobezoares con la ingestión de dosis altas de fibra no fermentable, especialmente cuando existe un escaso aporte hídrico (Thompson, 2003).

2.3.6. Fuentes de la fibra dietética

La FD proviene principalmente de verduras, frutas, nueces y semillas, y de fuentes naturales no vegetales como los hongos (McDougall, 1996). Anteriormente el salvado de trigo, desecho de la industria harinera, era la única fuente comercial en fibra alimentaria empleada, cuya composición principal es de 14-24% celulosa y 5-10% lignina (Bello, 2000), siendo 4:96 la relación FDS:FDI que presenta (Duque, 1998); sin embargo a partir de los 80 se inició el empleo de otros cereales como fuente de FD, incluyéndose a la cascarilla de arroz y las hojuelas de avena (Calixto, 2002); Los análisis realizados sobre la última la colocaron como la fuente de mejor calidad, pues aunque su contenido de fibra oscila entre 10.2 y 12.1%, la proporción soluble e insoluble es en promedio 41:49 (Manthey, 1999), es decir, sus fracciones guardan cierto balance que no es común encontrar en otras fuentes de cereales (Calixto, 2002), y dado que la función fisiológica y el comportamiento de la FD al ser adicionada a un producto depende de la relación que guarden sus fracciones de FDS:FDI (Fernández y Rodríguez, 2001), se buscan fuentes que cumplan con esta característica.

Para que una fuente de fibra sea considerada con un buen balance de FDS:FDI sus contenidos deberán ser como mínimo 30% de FDS y 70% de FDI, considerándose fibras con excelente balance aquellas que guardan una proporción de 50% de FDS y 50% de FDI (Calixto, 2002).

La FD que se consume viene en su mayoría de cascarillas de cereales, pero en ellas predomina la porción insoluble; se sabe que la avena y las leguminosas completas son los fuentes de FD



de mejor calidad (Pérez, 1997), sin hacer a un lado las frutas y verduras que puedan proveer en mayor proporción ambos tipos de fibra. Para obtener un equilibrio en fibra soluble e insoluble, se ha recurrido a la mezcla de materiales, pues son muy pocas las fuentes que de manera natural lo tienen, siendo estas excepciones, la parte interior de la cebolla variedad *Hysam*, cuya relación es 50:50 y la cascara de mango variedad criollo, donde la proporción es 52:48 (García 2003).

Se han estudiado los desechos de frutas, hortalizas y otros vegetales como fuentes alternas de FD, entre ellos se tiene los residuos de la industria de jugo de naranja (Tamayo y Bermúdez,1998;Jimenez, 2001) analizaron la cascara de guayaba, llegando a la conclusión que ésta puede ser un excelente ingrediente de alimentos, pues combina las propiedades de la FD y el beneficio de los componentes antioxidantes presentes, entre ellos la vitamina C y E, así como compuestos fenólicos y carotenoides. El bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de cacao, los residuos fibrosos del “Jankbean” (*Canavaliaensiformis*) y del frijol lima (*Phaseoluslunatus*), son otros residuos que se han analizado; los resultados obtenidos permiten seleccionar los tipos de alimentos a los cuales pueden incorporarse, según el aporte de fibra soluble e insoluble que se desee (Pak, 2001).

En la industria de los alimentos, es necesario conocer el potencial de aplicación de cada una de las nuevas fuentes de FD, es por ello que se examinan tanto las proporciones de fibra soluble e insoluble como las propiedades funcionales de una nueva fuente de fibra, pues durante el procesamiento podrían producirse modificaciones importantes que han de tomarse en cuenta en función al destino final del producto y propiedades que se pretende (Zambrano, 2001).

III. PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo de la parte experimental de la investigación fue desarrollada en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. En la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, en los Laboratorios de Biología y Química.

3.1. Metodología experimental

El diagrama de flujo del proceso experimental para la obtención de fibra dietética soluble a partir de semillas de linaza se muestra en la Figura 02, el mismo que se describe a continuación.



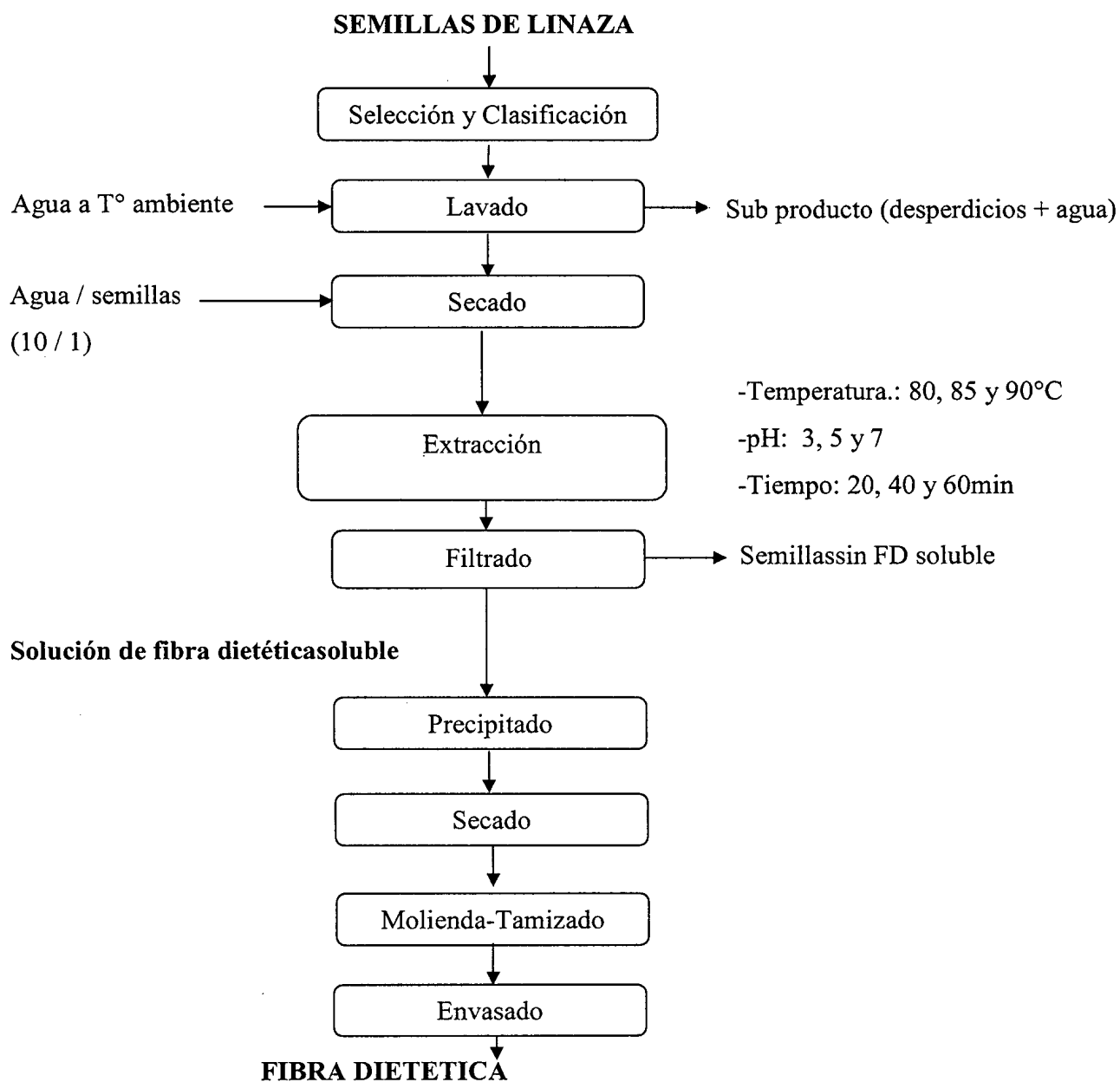


Figura 02: Diagrama de flujo para el desarrollo experimental

3.2. Descripción del diagrama de flujo para el desarrollo experimental

3.2.1. Selección y Clasificación.-En esta operación unitaria se procede a seleccionar y/o clasificar las semillas de linaza en buen estado de las semillas que tienen algunos defectos o están partidas.

3.2.2. Lavado.- Operación unitaria que se realiza con el fin de retirar algunas impurezas o bagazos que estén en la muestra, esta se realiza con chorros de agua a temperatura ambiente.

3.2.3. Secado.- Operación unitaria que se realiza para que la muestra esté en condiciones adecuadas para el siguiente paso, esta se realizó al aire libre a una temperatura ambiente (25°C) bajo la modalidad de un tendido.

3.2.4. Extracción.- Este proceso se inicio con el pesado de la las semillas de linaza con el fin de obtener las muestras representativas para saber la cantidad de agua que se debe adicionar para conseguir una proporción de agua:semilla (10:1), relación que se determinó haciendo pre-pruebas experimentales con proporciones de 1:1, 5:1, 10:1 y 15:1. Para el proceso de extracción acuosa, se preparó soluciones de pH 3, 5 y 7, con la finalidad de conocer la influencia de este factor. El proceso de extracción fue llevado a temperaturas de 80, 85 y 90 °C, tal como fueron conducidas experiencias previas (Figuerola, Muñoz y Estévez, 2008), con tiempos de 20, 40 y 60 min. Esto debido a que en tiempos muy cortos no se produce la separación que se pretende lograr. Este efecto fue encontrado en experiencias previas a la investigación. El proceso de extracción se realizó en un equipo de baño maría (Precisdig selecta de 10 litros) en recipientes de acero inoxidable para controlar los parámetros antes mencionados.

3.2.5. Filtración.- Una vez que la mezcla se encuentre a temperaturas de 25 a 30 °C filtramos la mezcla mediante un filtro de tela, para separar la fibra dietética soluble de las semillas de linaza.

3.2.6. Precipitado.- Esta operación unitaria se realizó con el fin de precipitar la mezcla antes de secarla en vasos de precipitado, adicionando alcohol puro de 96° en una proporción de 1:1, luego dejar en reposo durante un tiempo de 30 min. se procedió a separar el mucilago precipitado con un tenedor de mesa y el restante con coladores comerciales y depositar en las placas Petri para la siguiente operación.

3.2.7. Secado.- Se realizó en una estufa (Memmert de 40 litros) a 80°C por 5 horas hasta alcanzar una humedad de 12 % aproximadamente.

3.2.8. Molido y Tamizado.- Se realizó en un mortero debido a que se obtuvo poca cantidad de fibra dietética, para el tamizado se utilizó tamices de un tamaño de partícula de 500 µm malla (Tyler N°. 35).

3.2.9. Envasado.- El producto ya procesado se envasó en frascos de Polietileno Tereftalato de 5 g de capacidad, para ser almacenados a temperatura ambiente hasta ser utilizados en los respectivos análisis.

3.3. Determinación del rendimiento de la fibra dietética obtenida.

Esta variable dependiente se determinó tomando el peso inicial (P_i) de las semillas de linaza, luego del tratamiento se procedió a pesar siendo el peso final (P_f)

$$Rendimiento = \frac{P_f(\text{fibra dietética})}{P_i(\text{semillas de linaza})} \times 100 \quad \text{Ecuación N° 01}$$

3.4. Evaluación de la calidad funcional de la fibra dietética obtenida

En esta etapa se evaluó la variación de 3 indicadores: Capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de aceite (CAG) y capacidad de hinchamiento (CH) todas estas propiedades para valorar indirectamente la importancia de la fibra como alimento funcional, Tomando como referencia los métodos de (McDougall, 1996).

3.4.1. Determinación de la capacidad de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) fue medida como el agua retenida por la fibra. Se pesó 0.2 g de muestra que fue suspendida en agua destilada (10 ml) por un periodo de tiempo de 24 hr. a temperatura ambiente, luego se centrifugo (3000 rpm x 15 min.). Los sólidos precipitados fueron pesados después de retirar el sobrenadante (P₁) y secados 80°C durante toda la noche. Posteriormente se enfrió y se pesó (P₂). La CRA se expresa en gramos de agua por gramos de materia seca (g de agua/g de M.S.) y está dada por la siguiente formula:

$$CRA = P_1 - P_2 \quad \text{Ecuación N° 02}$$

3.4.2. Determinación de la capacidad de adsorción de aceite

La capacidad de adsorción de aceite (CAG) se determinó mezclando fibra (0.2 g) con aceite vegetal de soya (10 ml), se agito durante 15 min manualmente, luego se centrifugo (3000 rpm x 15 min.), se retiró el sobrenadante y se procedió a pesar (P₁) y secados 80°C durante toda la noche. Posteriormente se enfrió y se pesó (P₂). La CAG se expresa en gramos de agua por gramos de materia seca (g de agua/g de M.S.) y está dada por la siguiente formula:

$$CAG = P_1 - P_2 \quad \text{Ecuación N° 03}$$

3.4.3. Determinación de la capacidad de hinchamiento

La capacidad de hinchamiento (CH) se determinó suspendiendo (0.3 g) el peso muestra de fibra que representa un volumen inicial (V1) en 10 ml. de agua destilada, en pipetas graduadas de 10 ml, dejando reposar 24 hr. para proceder con la lectura del volumen final (V2). La capacidad de hinchamiento se expresa en mililitros de fibra por gramo de muestra seca (ml de F /g de M.S.) y está dada por la siguiente formula:

$$CH = \frac{V1-V2}{Pm} \quad \text{Ecuación N° 04}$$

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Los resultados de las variables de respuestas obtenidos en la etapa de evaluación del producto final son recopilados y preparados para ser procesados, para ello se hace uso de una computadora provista de software (Statistica 7, IBM SPSSStatistics 19 y Microsoft Office Exel 2010) para obtener resultados finales con la mayor precisión y veracidad. Para el procesamiento de datos el diseño experimental se presenta en el cuadro 02.



Cuadro 02: Diseño experimental de 3^3 con tres repeticiones = 81 observaciones.

FACTORES			TRATAMIENTOS	REPLICAS
pH	Temperatura	Tiempo		
3	80°C	20 min.	T ₁	3
3	80°C	40 min.	T ₂	3
3	80°C	60 min.	T ₃	3
3	85°C	20 min.	T ₄	3
3	85°C	40 min.	T ₅	3
3	85°C	60 min.	T ₆	3
3	90°C	20 min.	T ₇	3
3	90°C	40 min.	T ₈	3
3	90°C	60 min.	T ₉	3
5	80°C	20 min.	T ₁₀	3
5	80°C	40 min.	T ₁₁	3
5	80°C	60 min.	T ₁₂	3
5	85°C	20 min.	T ₁₃	3
5	85°C	40 min.	T ₁₄	3
5	85°C	60 min.	T ₁₅	3
5	90°C	20 min.	T ₁₆	3
5	90°C	40 min.	T ₁₇	3
5	90°C	60 min.	T ₁₈	3
7	80°C	20 min.	T ₁₉	3
7	80°C	40 min.	T ₂₀	3
7	80°C	60 min.	T ₂₁	3
7	85°C	20 min.	T ₂₂	3
7	85°C	40 min.	T ₂₃	3
7	85°C	60 min.	T ₂₄	3
7	90°C	20 min.	T ₂₅	3
7	90°C	40 min.	T ₂₆	3
7	90°C	60 min.	T ₂₇	3
Total de ensayos				81



Los resultados obtenidos de las variables de respuestas son procesados utilizando las siguientes técnicas matemáticas:

- Análisis de varianza para los factores que afectan sobre las características finales del producto.
- Prueba de comparaciones Múltiples de Duncan.
- Optimización mediante superficie de respuesta con el programa STATISTICA 7.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Rendimiento

Los resultados respecto al rendimiento en la obtención de fibra dietética soluble se presentan en el cuadro 04, estos resultados provienen de los tratamientos planteados.

El análisis de varianza para la variable dependiente RENDIMIENTO reporta que existe una influencia estadísticamente significativa para los factores de extracción pH, temperatura y tiempo (Anexo 01). De la misma forma, la interacción de dichos factores presentan los mismos resultados, todo esto a un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$), resultando el coeficiente R^2 de 93.2 %.

Cuadro 03: Análisis de Duncan para la variable dependiente (rendimiento)

GRUPOS												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	L
TRATAMIENTOS	T ₉	T ₈	T ₁₇	T ₁₅	T ₂₄	T ₂₃	T ₂₆	T ₂₂	T ₃	T ₁₉	T ₁₂	T ₂
	T ₈	T ₁₈	T ₁₅	T ₇	T ₂₀	T ₁₄	T ₁₆	T ₃	T ₄	T ₁	T ₂	T ₁₁
		T ₆	T ₇	T ₂₁	T ₂₇	T ₂₆	T ₂₅	T ₄	T ₅	T ₂	T ₁₁	T ₁₃
		T ₁₇	T ₂₁	T ₂₄	T ₂₃	T ₁₆	T ₂₂	T ₅	T ₁₉	T ₁₁	T ₁₃	T ₁₀
				T ₂₀	T ₁₄	T ₂₅	T ₃	T ₁₉	T ₁₂		T ₁₀	T ₁
				T ₂₇	T ₂₆	T ₂₂	T ₄					
				T ₂₃	T ₁₆	T ₃	T ₅					
				T ₁₄	T ₂₅							
					T ₂₂							

Por otra parte, el tratamiento estadístico de comparaciones múltiples de Duncan ($p < 0,05$) para el rendimiento, reporta diferencia estadística significativa entre los tratamientos, donde los 27 tratamientos son agrupados en 12 grupos representados en el cuadro 03 como a, b, c,... k y l. Se infiere del análisis que los tratamientos que presentan mayores rendimientos son; T₉(pH 3, temperatura 90°C y tiempo 60 min.) reportando 3.96 g que representa 13.19% de rendimiento y T₈(pH 3, temperatura 90°C y tiempo 40 min.) reportando 3.68 g que representa el 12.26 %de rendimiento, los tratamientos que presentan los más bajos valores para la variable dependiente son: T₂, T₁₁, T₁₃, T₁₀ y T₁. Quiere decir que los tratamientos agrupados bajo una misma letra indican que no presentan diferencias estadísticas significativas pero diferente a los demás.

Este efecto es debido a que en el proceso de extracción las semillas fueron tratadas a niveles altos de temperatura (90°C) y tiempos prolongados (60 y 40 minutos), siendo que niveles altos de temperatura aumentan la solubilidad de la fibra soluble y disminuyen la viscosidad del extracto por lo que el rendimiento en la extracción es mayor, en relación al pH, un medio ácido facilita el proceso de extracción por lo que en medios de pH bajos mejora el rendimiento.

Cuadro 04: Rendimiento en la extracción de fibra de linaza expresado en porcentaje.

Tratamientos	Promedio rendimiento (%) \pm desvest. (x)	Tratamientos	Promedio rendimiento (%) \pm desvest. (x)
T ₉	13.1889 \pm 0.5891 ^a	T ₂₆	9.4444 \pm 0.7574 ^{efg}
T ₈	12.2556 \pm 0.1711 ^{ab}	T ₁₆	9.4111 \pm 0.5430 ^{efg}
T ₁₈	12.0111 \pm 0.2269 ^b	T ₂₅	9.3444 \pm 0.4741 ^{efg}
T ₆	11.9444 \pm 1.3108 ^b	T ₂₂	9.0333 \pm 0.6110 ^{efgh}
T ₁₇	11.2778 \pm 0.3672 ^{bc}	T ₃	8.8333 \pm 0.2517 ^{fghi}
T ₁₅	10.7667 \pm 0.1155 ^{cd}	T ₄	8.6333 \pm 0.9528 ^{ghi}
T ₇	10.7111 \pm 0.1171 ^{cd}	T ₅	8.5889 \pm 0.2546 ^{ghi}
T ₂₁	10.5889 \pm 0.2589 ^{cd}	T ₁₉	8.1111 \pm 0.3079 ^{hij}
T ₂₄	9.9667 \pm 0.2667 ^{de}	T ₁₂	7.8444 \pm 0.3203 ^{ijk}
T ₂₀	9.9333 \pm 0.4000 ^{de}	T ₂	7.4667 \pm 1.0398 ^{jkl}
T ₂₇	9.9222 \pm 0.5872 ^{de}	T ₁₁	7.3556 \pm 0.7820 ^{jkl}
T ₂₃	9.8444 \pm 0.1836 ^{def}	T ₁₃	6.9333 \pm 0.5044 ^{kl}
T ₁₄	9.7667 \pm 0.4177 ^{def}	T ₁₀	6.8111 \pm 0.4948 ^{kl}
T ₂₆	9.4444 \pm 0.7574 ^{efg}	T ₁	6.5222 \pm 0.8694 ^l

a,b,c,...,l: Letras iguales indican que los tratamientos no presentan diferencias estadísticamente entre sí, en cambio letras diferentes indican diferencia estadística entre cada uno y/o grupos de tratamientos.

Cuadro 05: Contenido de fibra dietética de linaza.

Materia Prima	Fibra soluble	Fibra insoluble
Semilla entera de linaza (10g.)^(a)	(6% - 12%)	(18% - 24%)
Semilla molida (10g.)^(a)	(4% - 9%)	(13% - 18%)
Extracto de semilla entera (8% de humedad b.h.)^(b)	(84%)	

^(a) Base de Datos de Nutrientes del Departamento de Agricultura de EE.UU.

^(b) Datos obtenidos experimentalmente por el autor

Realizando la comparación con la cita anterior (cuadro 04) el rendimiento de la fibra dietética soluble obtenida está dentro del rango reportado por otras investigaciones de la Base de Datos de Nutrientes del Departamento de Agricultura de EE.UU. La variación del contenido de fibra soluble se debe a las diferentes variedades y tecnologías de cultivo de las semillas de linaza. En relación a la fibra insoluble, en el extracto obtenido nos representa la mayor proporción con 84 % de fibra soluble (Anexo 06) debido a que el análisis fue realizado a partir del extracto obtenido.

En conclusión los tratamientos óptimos son T₉ (pH 3, temperatura 90°C y tiempo 60 min.) reportando 3.96 g que representa 13.19% de rendimiento y T₈ (pH 3, temperatura 90°C y tiempo 40 min.) reportando 3.68 g que representa el 12.26 % de rendimiento.

4.2. Propiedades funcionales de la fibra dietética

Sobre las fibras obtenidas de los diversos tratamientos fueron evaluadas las propiedades funcionales por métodos físicos, tal como la capacidad de retención de agua (CRA), la capacidad de adsorción de aceite (CAG) y la capacidad de hinchamiento (CH), parámetros

considerados como una técnica para valorar indirectamente la importancia de la fibra como alimento funcional (McDougall 1996).

4.2.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

Los resultados de la capacidad de retención de agua (CRA) de la fibra obtenida de semillas de linaza se muestran en el cuadro 07, donde se aprecia que el tratamiento (T₂₁) ofrece mayor capacidad de retención de agua con 7.7084± 0.8041 g de agua/g de m.s., no presentando diferencia estadística significativa con el tratamiento T₁₀.

El análisis de varianza para la variable dependiente CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA (CRA) reporta que existe una influencia significativa para los factores de extracción (pH y Temperatura) siendo contrario para la variable tiempo. Por otro lado, indica que existe una influencia significativa de la interacción de dichos factores sobre las medias de la variable de respuesta; todo esto a un nivel de confianza del 95% (p<0.05). Asimismo, el coeficiente de R² obtenido para esta variable de respuesta fue de 95.5 % (Anexo 02).

Cuadro 06: Análisis de Duncan para la variable dependiente (CRA)

GRUPOS									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
TRATAMIENTOS	T ₂₁	T ₁₀	T ₂₄	T ₁₉	T ₁₃	T ₁₄	T ₂₂	T ₁₇	T ₄
	T ₁₀	T ₁₁	T ₂₆	T ₂₀	T ₂₇	T ₂₂	T ₁₇	T ₁₈	T ₁
			T ₁₆	T ₁₅	T ₁₄	T ₁₇	T ₁₈	T ₂	T ₉
			T ₁₉	T ₁₃	T ₂₂	T ₁₈	T ₂	T ₄	T ₆
			T ₂₀	T ₂₇				T ₁	T ₂₃
			T ₁₅	T ₁₄				T ₉	T ₂₅
			T ₁₃					T ₆	T ₈
			T ₂₇						T ₃
									T ₁₂
									T ₇
									T ₅

El tratamiento estadístico de comparaciones múltiples de Duncan ($p < 0,05$) para la capacidad de retención de agua, reporta diferencia estadística significativa entre los tratamientos, donde los 27 tratamientos son agrupados en 9 grupos representados en el cuadro 06 como (a, b, c, ... h y i). Asimismo, el análisis de Duncan indica que los tratamientos que presentan los más altos valores para la variable dependiente son; T_{21} y T_{10} y los tratamientos que presentan los más bajos valores para la variable dependiente son: T_4 , T_1 , T_9 , T_6 , T_{23} , T_{25} , T_8 , T_3 , T_{12} , T_7 y T_5 . Quiere decir que los tratamientos agrupados bajo una misma letra indican que no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí.

Del cuadro 06 se infiere que los tratamientos que poseen mayores niveles de capacidad de retención de agua son T_{21} (pH 7, temperatura 80°C y tiempo 60 min.) y T_{10} (pH 5, temperatura 80°C y tiempo 20 min.) con 7.7 g de agua/g de m.s. y 7.4 g de agua/g de m.s. respectivamente. El tiempo de contacto del agua con la fibra, no modifica el valor de la capacidad de retención de agua, (anexo 02), sin embargo la temperatura y el pH tienen influencia significativa, siendo que un incremento en la temperatura involucra cambios químicos y físicos en el producto, que pueden reducir el número de sitios activos donde se unen las moléculas de agua con la superficie del sólido (Robertson, 1981). El pH también influye en la inducción de sitios activos en la superficie de la fibra, siendo que estos son mejores a pH próximos a 7.

Cuadro 07: Capacidad de retención del agua expresados en gramos de agua retenida por gramo de materia seca (g de agua/g de m.s.)

Tratamientos	CRA promedio \pm desvest. (x)(g de agua/g de m.s.)	Tratamientos	CRA promedio \pm desvest. (x)(g de agua/g de m.s.)
T ₂₁	7.7084 \pm 0.8041 ^a	T ₁₇	4.0908 \pm 0.0989 ^{fgh}
T ₁₀	7.3874 \pm 0.4199 ^{ab}	T ₁₈	3.9790 \pm 0.1071 ^{fgh}
T ₁₁	6.9179 \pm 0.1569 ^b	T ₂	3.9504 \pm 0.0414 ^{gh}
T ₂₄	5.4524 \pm 0.2321 ^b	T ₄	3.6137 \pm 0.3900 ^{hi}
T ₂₆	5.3717 \pm 0.1310 ^c	T ₁	3.5586 \pm 0.4743 ^{hi}
T ₁₆	5.3427 \pm 0.1130 ^c	T ₉	3.5194 \pm 0.0900 ^{hi}
T ₁₉	5.2129 \pm 0.3371 ^{cd}	T ₆	3.5140 \pm 0.0491 ^{hi}
T ₂₀	5.1531 \pm 0.1448 ^{cd}	T ₂₃	3.2935 \pm 0.4799 ⁱ
T ₁₅	5.1297 \pm 0.2085 ^{cd}	T ₂₅	3.2743 \pm 0.5301 ⁱ
T ₁₃	5.0664 \pm 0.1010 ^{cde}	T ₈	3.2370 \pm 0.0654 ⁱ
T ₂₇	5.0266 \pm 0.1827 ^{cde}	T ₃	3.1498 \pm 0.0989 ⁱ
T ₁₄	4.5872 \pm 0.8657 ^{def}	T ₁₂	3.0701 \pm 0.5210 ⁱ
T ₂₂	4.4914 \pm 0.2886 ^{efg}	T ₇	3.0673 \pm 0.0164 ⁱ
T ₁₇	4.0908 \pm 0.0989 ^{fgh}	T ₅	3.0095 \pm 0.0944 ⁱ

a,b,c,...,i: Letras iguales indican que los tratamientos no presentan diferencias estadísticas entre sí, en cambio letras diferentes indican que presentan diferencias estadísticas entre cada uno y/o grupos de tratamientos.

Valencia y Román (2006), al realizar el estudio a la fibra alimentaria de trigo, avena y manzana, encontró que las capacidades de retención de agua fueron 3.8 , 3.9 y 4.1 g H₂O/g m.s. respectivamente, resultando la fibra de manzana con mayor capacidad de retención de agua que las demás, Martínez (2007), al analizar la fibra alimentaria de la acacia tres espinas (*Gleditsia triacanthos L.*) extraída por método alcalino (NaOH 0,75% p/v) obtuvo 11 g H₂O/g m.s. de CRA, Villarroel *et al.*,(2003) al analizar la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum*, encontró que la capacidad de retención de agua alcanzó valores de hasta 34 g H₂O/g m.s. para tamaños de partícula de 0.455mm, comparando con lo obtenido a partir de las semillas de linaza (Figura 03).

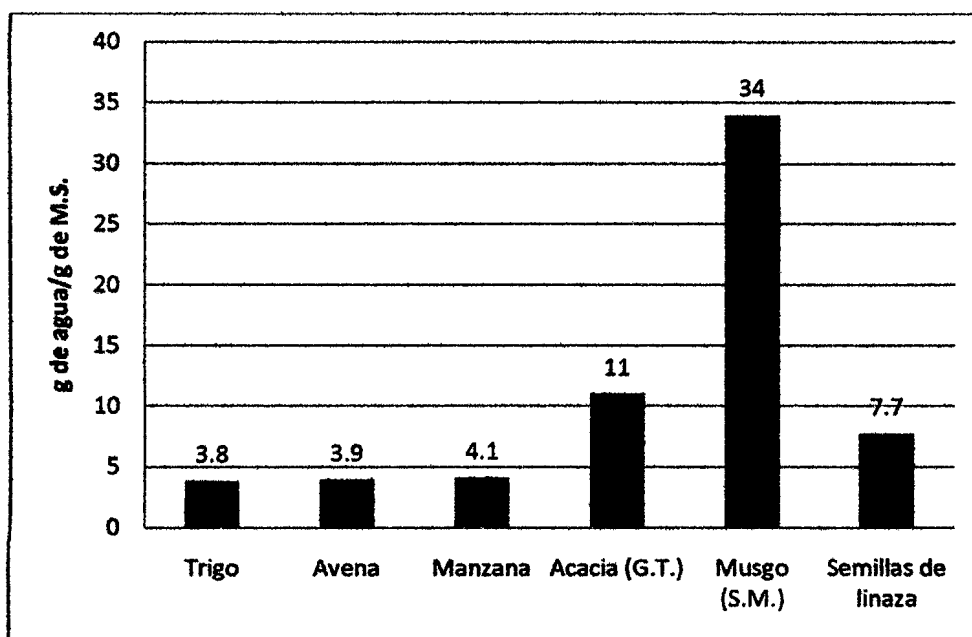


Figura 03. Capacidad de retención de agua (CRA) en diversas fibras

El valor del CRA determina el grado en que la fibra se puede incorporar a un sistema alimenticio para no deteriorar la viscosidad ni la apariencia del producto final; Como el CRA de la fibra obtenida de semillas de linaza es baja en función del criterio que, una fibra tiene alta CRA cuando su valor oscila entre 10 y 12 g/g Sánchez Guzmán (2005), por lo que su aplicación se vería limitada en aquellos productos que requieran de la apariencia de humedad

(rellenos de pasteles), mas no así en productos secos (galletas, cereales para desayuno)

Larraurriet *et al.*, (1997)

4.2.2. Capacidad de adsorción de aceite (CAG)

Los resultados de la capacidad de adsorción de aceite (CAG) de la fibra obtenida de semillas de linaza se muestran en cuadro 09, en el cual se aprecia que el tratamiento T₂₀ ofrece mayor capacidad de adsorción de aceite con 0.6162 ± 0.0099 g de aceite/g de m.s. respecto a los demás tratamientos. Este valor no representa diferencia estadística significativa a los tratamientos T₂₃ 0.5961 ± 0.0045 y T₁₉ 0.5864 ± 0.0083 g de aceite/g de m.s.

La CAG también es conocida como la capacidad de adsorción de moléculas orgánicas (CAMO), que mide de manera indirecta cuánto aceite puede adsorber una determinada fibra y puede relacionarse con el comportamiento a nivel intestinal, en donde la adsorción de los nutrientes grasos depende de la formación de micelas o pequeñas esferas consistentes de grasa y ácidos biliares. En base a esta propiedad la fibra dietaria puede ligarse en el intestino a sales biliares, colesterol, drogas, compuestos tóxicos y carcinogénicos permitiendo su excreción por las heces Zhang *et al.*, (1994). A la lignina, pectina, goma guar, se han identificado como los componentes de la fibra con mayor capacidad para unirse a moléculas orgánicas Story, *et al.*, (1982).

El análisis de varianza para la variable dependiente CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ACEITE (CAG) reporta que existe una influencia significativa para los factores de extracción (pH y Tiempo) mas no para la variable temperatura. Por otro lado, indica que existe una influencia significativa de la interacción de dichos factores sobre las medias de la variable de respuesta; todo esto a un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Asimismo, el coeficiente de R² obtenido para esta variable de respuesta fue de 89.5 % (Anexo 03)

Cuadro 08: Análisis de Duncan para la variable dependiente (CAG)

GRUPOS														
	a	b	d	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
TRATAMIENTOS	T ₂₀	T ₂₃	T ₁₉	T ₂₁	T ₁₇	T ₁₈	T ₉	T ₆	T ₂	T ₅	T ₄	T ₃	T ₁	T ₂₇
	T ₂₃	T ₁₉	T ₂₁	T ₁₇	T ₁₈	T ₂₆	T ₁₃	T ₁₂	T ₈	T ₇	T ₃	T ₁	T ₁₆	T ₁₅
	T ₁₉	T ₂₁	T ₁₇	T ₁₈	T ₂₆	T ₉	T ₂₂	T ₂₅	T ₅	T ₄	T ₁	T ₁₆	T ₂₇	T ₁₁
		T ₁₇	T ₁₈	T ₂₆	T ₉	T ₁₃	T ₁₀	T ₂₄	T ₇	T ₃	T ₁₆	T ₂₇	T ₁₅	
			T ₂₆	T ₉	T ₁₃	T ₂₂	T ₁₄	T ₂	T ₄					
				T ₁₃	T ₂₂	T ₁₀	T ₆	T ₈						
				T ₂₂	T ₁₀	T ₁₄	T ₁₂	T ₅						
				T ₁₀	T ₁₄	T ₆	T ₂₅	T ₇						
				T ₁₄	T ₆	T ₁₂	T ₂₄							
					T ₁₂	T ₂₅	T ₂							
					T ₂₅	T ₂₄	T ₈							
						T ₂	T ₅							
						T ₈								

Por otra parte, el tratamiento estadístico de comparaciones múltiples de Duncan ($p < 0,05$) para la capacidad de adsorción de aceite, reporta diferencia estadística significativa entre los tratamientos, donde los 27 tratamientos son agrupados en 14 grupos representados en el cuadro 08 como (a, b, c,... m y n). Asimismo, el análisis de Duncan indica que los tratamientos que presentan los más altos valores para la variable dependiente son; (T₂₀, T₂₃ y T₁₉) y los tratamientos que presentan los más bajos valores para la variable dependiente son: (T₂₇, T₁₅ y T₁₁).

Del cuadro 08 se infiere que los tratamientos que poseen mayores niveles de capacidad de adsorción de aceite son T₂₀ (pH 7, temperatura 80°C y tiempo 40 min.), T₂₃(pH 7, Temperatura 85°C y tiempo 40 min.) y T₁₉ (pH 7, Temperatura 80°C y tiempo 20 min.) proporcionan mayores valores de capacidad de adsorción de aceite.

En relación a la capacidad de adsorción de aceite (CAG) la temperatura de extracción no tiene influencia significativa, sin embargo, el pH y el tiempo de extracción tienen influencia

significativa, esto puede ser debido a que los lípidos son altamente no polares y en pH neutros tienen mayor capacidad de adsorción. El tiempo de extracción que proporciona mejores condiciones para la capacidad de adsorción de aceite, es aquel donde la fibra mantiene su valor de pH neutro. (Anexo 16 b).

Cuadro 09: Capacidad de adsorción de aceite (CAG) expresados en gramos de aceite retenido por gramo de materia seca (g de aceite/g de m.s.)

Tratamientos	CAG promedio \pm desvest. (x)(g de aceite/g de m.s.)	Tratamientos	CAG promedio \pm desvest. (x)(g de aceite/g de m.s.)
T ₂₀	0.6162 \pm 0.0099 ^a	T ₁₂	0.5368 \pm 0.0070 ^{efgh}
T ₂₃	0.5961 \pm 0.0045 ^{ab}	T ₂₅	0.5367 \pm 0.0147 ^{efgh}
T ₁₉	0.5864 \pm 0.0083 ^{abc}	T ₂₄	0.5338 \pm 0.0118 ^{fgh}
T ₂₁	0.5735 \pm 0.0114 ^{bcd}	T ₂	0.5295 \pm 0.0250 ^{fghi}
T ₁₇	0.5707 \pm 0.0093 ^{bcde}	T ₈	0.5270 \pm 0.0223 ^{fghi}
T ₁₈	0.5611 \pm 0.0049 ^{cdef}	T ₅	0.5157 \pm 0.0357 ^{ghij}
T ₂₆	0.5546 \pm 0.0038 ^{cdef}	T ₇	0.5059 \pm 0.0164 ^{hij}
T ₉	0.5509 \pm 0.0073 ^{defg}	T ₄	0.4990 \pm 0.0465 ^{ijk}
T ₁₃	0.5509 \pm 0.0105 ^{defg}	T ₃	0.4941 \pm 0.0352 ^{jkl}
T ₂₂	0.5501 \pm 0.0087 ^{defg}	T ₁	0.4729 \pm 0.0250 ^{klm}
T ₁₀	0.5452 \pm 0.0218 ^{defg}	T ₁₆	0.4716 \pm 0.0136 ^{klm}
T ₁₄	0.5427 \pm 0.0074 ^{defg}	T ₂₇	0.4644 \pm 0.0027 ^{lmn}
T ₆	0.5368 \pm 0.0093 ^{efgh}	T ₁₅	0.4567 \pm 0.0103 ^{mn}
T ₁₂	0.5368 \pm 0.0070 ^{efgh}	T ₁₁	0.4367 \pm 0.0188 ⁿ

a,b,c,...ⁿ: Letras iguales indican que los tratamientos no presentan diferencias estadísticas entre sí, en cambio letras diferentes indican que presentan diferencias estadísticas entre cada uno y/o grupos de tratamientos.

(Zambrano y Hernandez, 2002) reportaron valores de 0.688 y 1.75 g/g para la capacidad de adsorción de aceite en fibras de nopal y cascarilla de maíz respectivamente, así mismo (Zambrano y Gallardo, 2001) reportaron valores de 1.75 y 3.8 g/g para fibras de avena y col respectivamente, también en los estudios realizados por (Baquero y Bermudez, 2002) reportan valores de 1.5 y 1.38 g/g en fibras de maracuyá y mango obo respectivamente.

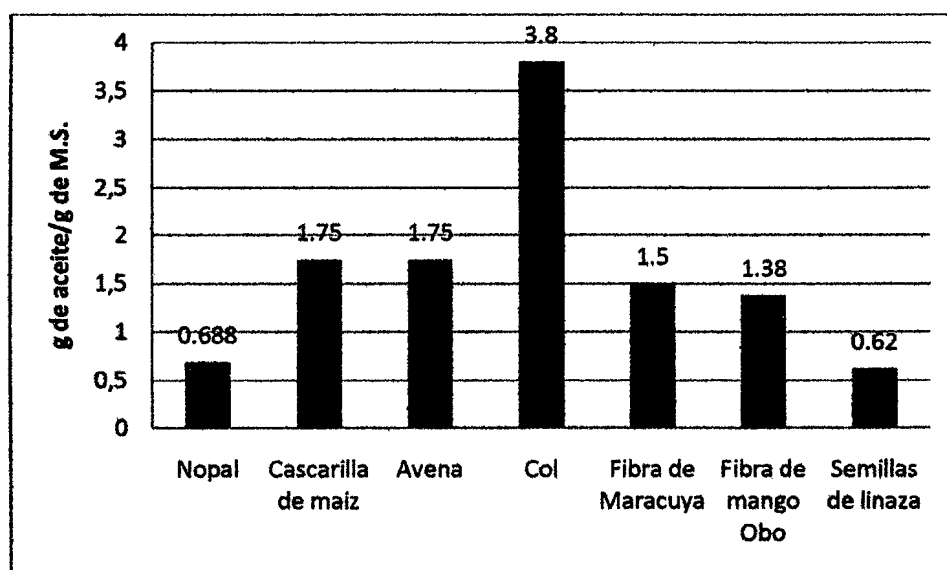


Figura 04. Capacidad de adsorción de aceite (CAG) en diversas fibras

La capacidad de adsorción de grasa de la fibra dietética obtenida a partir de las semillas de linaza varían de 0.59 – 0.62 g/g, siendo inferior a los valores reportados para frutas y vegetales (<2 g/g) y cereales (2 – 4 g/g) Femenia, Lefebvreet *al.* (1997).

4.2.3. Capacidad de hinchamiento (CH)

Los resultados de la capacidad de hinchamiento (CH) de la fibra obtenida de semillas de linaza se muestran en el cuadro 11, donde se aprecia que el tratamiento T₁₆ ofrece mayor capacidad

de hinchamiento con 35.1909 ± 0.3553 ml de agua/g de m.s.en relación a los demás tratamientos.

El análisis de varianza para la variable dependiente CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH) nos reporta que existe una influencia altamente significativa para los factores de extracción (pH, temperatura y tiempo). Por otro lado, indica que existe una influencia altamente significativa de la interacción de dichos factores sobre las medias de la variable de respuesta; todo esto a un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$), con un coeficiente de R^2 de 99.1 % (Anexo 04)

Cuadro 10: Análisis de Duncan para la variable dependiente (CH)

GRUPOS															
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	
TRATAMIENTOS	T ₁₆	T ₁₄	T ₁₇	T ₂₃	T ₁₁	T ₉	T ₁₉	T ₁₂	T ₄	T ₁	T ₂₅	T ₂₆	T ₅	T ₈	
		T ₁₇	T ₁₅	T ₁₁	T ₂₀	T ₂₄	T ₁₂	T ₄	T ₂	T ₇	T ₆	T ₃	T ₈	T ₂₇	
		T ₁₅	T ₁₀	T ₂₀	T ₁₃	T ₁₉			T ₁		T ₂₆				
			T ₂₂	T ₁₃	T ₁₈										
				T ₁₈	T ₂₁										

El tratamiento estadístico de comparaciones múltiples de Duncan ($p < 0,05$) para la capacidad de hinchamiento, reporta diferencia estadística significativa entre los tratamientos, donde los 27 tratamientos son agrupados estadísticamente en 14 grupos representados en el cuadro 10 como (a, b, c,... m y n). Asimismo, el análisis de Duncan indica que el tratamiento que presenta el más alto valor para la variable dependiente es T₁₆ con 35.1909 ± 0.3553 ml de agua/g de m.s.

Del cuadro 10 se infiere que el tratamiento T_{16} (pH 5, temperatura 90°C y tiempo 20 min.) posee mayor nivel de capacidad de hinchamiento con 35.19 ml de agua/g de m.s. Esto debido a que los factores estudiados poseen influencia en la capacidad de hinchamiento, un pH ligeramente ácido induce los sitios activos del mucilago haciendo que el agua sea adsorbido con mayor facilidad. Los niveles altos de temperatura en el proceso de extracción reducen el tamaño de las cadenas poliméricas por lo que el proceso de relajación de la matriz polimérica del mucilago se hace evidente resultando una mayor capacidad de hinchamiento. El tiempo de extracción también posee influencia debido a que en tiempos prolongados de extracción consigue desnaturalizar algunas cadenas poliméricas reduciendo la capacidad de hinchamiento.

Cuadro 11: Capacidad de hinchamiento expresados en ml de agua/g de m.s.

Tratamientos	CH promedio \pm desvest. (x)(ml de agua/g de m.s.)	Tratamientos	CH promedio \pm desvest. (x)(ml de agua/g de m.s.)
T ₁₆	35.1909 \pm 0.3553 ^a	T ₂₄	28.3579 \pm 0.3103 ^f
T ₁₄	33.4781 \pm 0.7551 ^b	T ₁₉	28.1636 \pm 0.7717 ^{fg}
T ₁₇	32.8784 \pm 0.2564 ^{bc}	T ₁₂	27.4528 \pm 0.5371 ^{gh}
T ₁₅	32.8129 \pm 0.2693 ^{bc}	T ₄	26.7964 \pm 0.4324 ^{hi}
T ₁₀	32.6901 \pm 0.5533 ^c	T ₂	26.5469 \pm 0.0350 ⁱ
T ₂₂	32.2131 \pm 0.3105 ^c	T ₁	26.2057 \pm 0.3071 ^{ij}
T ₂₃	31.0791 \pm 0.8563 ^d	T ₇	25.7282 \pm 0.3000 ^j
T ₁₁	30.7158 \pm 0.5987 ^{de}	T ₂₅	24.6587 \pm 0.1550 ^k
T ₂₀	30.7151 \pm 0.2128 ^{de}	T ₆	24.2142 \pm 0.2833 ^k
T ₁₃	30.6694 \pm 0.2595 ^{de}	T ₂₆	24.0439 \pm 0.0386 ^{kl}
T ₁₈	30.6426 \pm 0.3913 ^{de}	T ₃	23.4061 \pm 0.2953 ^l
T ₂₁	30.0849 \pm 0.4925 ^e	T ₅	22.2190 \pm 0.7835 ^m
T ₉	28.7448 \pm 0.2858 ^f	T ₈	21.7448 \pm 0.2790 ^{mn}
T ₂₄	28.3579 \pm 0.3103 ^f	T ₂₇	21.2001 \pm 0.3370 ⁿ

a,b,c,...n: Letras iguales indican que los tratamientos no presentan diferencias estadísticas entre sí, en cambio letras diferentes indican que presentan diferencias estadísticas entre cada uno y/o grupos de tratamientos.

Flórez *et al.* (2006), determinaron la capacidad de hinchamiento (CH) de la fibraalimentaria de maracuyá, piña, limón, naranja y mandarina, de los cuales la fibra alimentaria de maracuyá

presenta mayor capacidad de hinchamiento con 8.5 ml H₂O/g m.s. que las otras fibras alimentarias.

Asimismo, Martínez (2007), al evaluar la capacidad de hinchamiento (CH) de la fibra de acacia tres espinas (*Gleditsia triacanthos* L.) alcanzó un valor máximo de 15.74 ml H₂O/g M.S. para la extracción alcalina con NaOH (0.75% p/v).

De la misma manera, Villarroel *et al.* (2003) evaluó la capacidad de hinchamiento (CH) de la fibra del musgo (*Sphagnum magellanicum*) el cual alcanzó a 8 ml H₂O/g m.s. como valor máximo a 0.455mm de tamaño de partícula.

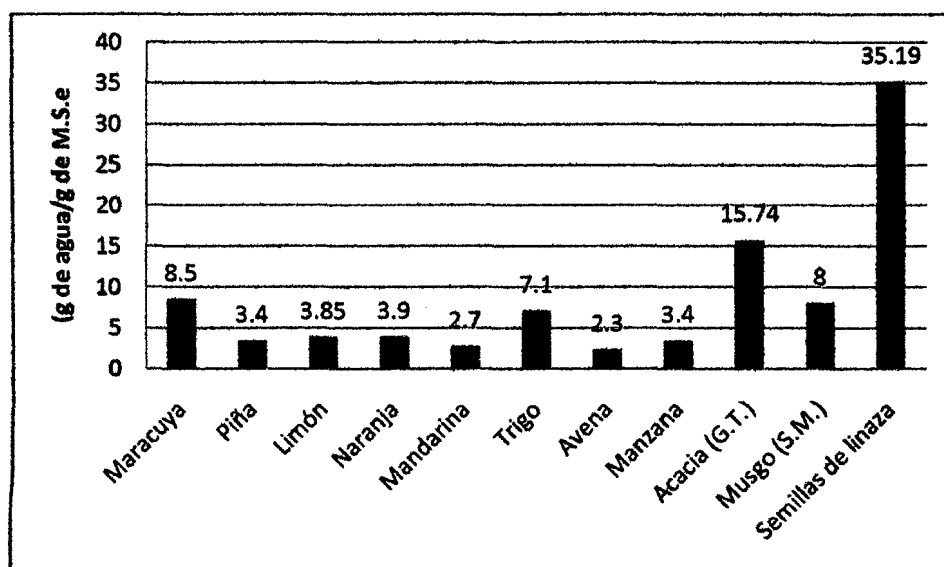


Figura 05. Capacidad de Hinchamiento (CH) en diversas fibras

V. CONCLUSIONES

- Los tratamientos que ofrecen mejores resultados para el rendimiento en la extracción de fibra dietética a partir de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.), bajo las condiciones estudiadas fueron bajo las condiciones de pH 3.0, temperatura 90 °C y un tiempo de 60 min (13.19 % de rendimiento) y pH 3.0, temperatura 90 °C con un tiempo de 40 min (12.56 %). El promedio de contenido de fibra soluble en el extracto seco con 8% de humedad b.h., es de 84.8%.
- En relación a sus propiedades funcionales los experimentos demostraron que los procesos de extracción que ofrecen fibra con mejor capacidad de retención de agua (CRA) son a condiciones de pH 7.0, temperatura 80 °C con tiempo de 60 min (7.71g de agua/g de M.S.) y pH 5.0, temperatura 80 °C con tiempo de 20 min (7.39 g de agua/g de m.s.); para la capacidad de adsorción de aceite (CAG) se obtuvo 0.62, 0.60 y 0.59 g. de aceite/g de m.s. esto a condiciones de pH 7.0, temperatura 80 °C y un tiempo de 40 min; pH 7.0, temperatura 85 °C y un tiempo de 40 min; pH 7.0, temperatura 80 °C y un tiempo de 20 min. respectivamente; y para la capacidad de hinchamiento (CH) se obtuvo 35.19 ml de agua/ g de m.s. esto a condiciones de pH 5.0, temperatura 90 °C y un tiempo de 20 min.

VI. RECOMENDACIONES

- El uso de la fibra dietética soluble extraída a partir de semillas de linaza por su capacidad de retención de agua (CRA) se vería limitada en aquellos productos que requieran de la apariencia de humedad (reellenos de pasteles), mas no así en productos secos (galletas, cereales para desayuno).

- Para la capacidad de retención de aceite (CAG), la fibra estudiada puede emplearse en productos donde no se desee una alta retención de aceite, como en bocadillos fritos, churros y donas; reduciendo así la apariencia de productos embebidos en aceite.

- Respecto a la capacidad de Hinchamiento (CH) tiene un valor muy representativo sobre el resto de las muestras por lo que sería recomendable aplicarlo en la formulación de productos dietéticos debido fundamentalmente a que produce mayor sensación de saciedad consumiendo menor cantidad de alimento y consecuentemente la reducción de calorías ayudando a corregir problemas de obesidad por el consumo excesivo de alimentos.

BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- AOAC. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Agricultural Chemist. Washington DC, EEUU, 1990, 1298 pp.
- Asociación Americana de Diabetes. Recomendaciones de nutrición e intervenciones para diabetes: Una declaración de posición de la Asociación Americana de Diabetes. Cuidado de Diabetes , 2008.
- Asociación americana de Informe de Químicos de Cereal. Comité de Definición de Fibra Dietética. La definición de fibra dietética. Mundo de Alimento de Cereal, 2001, 46 (3): 112-126.pp.
- Babu, Wiesenfeld, P. W. Alimenticio y los Efectos de Hematological de Lino. En: Thompson, L.U.; Cunanne, S.C. (editor). Lino en Nutrición Humana. 2o edn., Champaign, Illinois AOCS Prensa, 2003, 150-173.pp.
- Badui S. Química de los Alimentos. Longman / Alhambra. México, 1999, 648.pp.
- Baquero, Claudia y Ana Silvia Bermúdez. Los residuos vegetales de la industria de jugo de maracuyá como fuente de fibra dietética. En temas de tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra dietética; Editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 1998, 207 – 214. p.
- Bello G., José. Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos. Ediciones Díaz de Santos, S.a. España, 2000, 240 – 242. pp.
- Calixto, Saura; Goñi Cambrodón, Martin Albarran y R. Pulido Ferrer. Fibra dietética en cerveza: contenido, composición y evaluación nutricional. Centro de información Cerveza y Salud. España, 2002, 4 – 19, 43.



- Calvo, Carlos y Luis Duran. Propiedades físicas II. Ópticas y color. En temas de tecnología de alimentos. Vol. 1. Editado por José Miguel Aguilera, CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 1997, 261 – 288. p.
- Cruz, Mariza. “Caracterización fisicoquímica, fisiológica y funcional de residuos fibrosos de cascara de maracuyá (*Pasiflora edulis*)” Tesis. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México, 2002.
- Daun, J. K.; Barthet, V. J., Chornick, T. L.; Duguid, S. Estructura y composición, desarrollo de la variedad de lino. En: Thompson, L.U.; Cunanne, S.C. (editores). Lino en Nutrición Humana. 2o editor. Champaign, Illinois. AOCS Prensa, 2003, 1-40. pp.
- Dreher, M. L. Dietary Fiber Overview. Handbook of Dietary Fiber. S. Sungsoo Cho and M. L. Dreher. New York, Marcel Dekker, Inc 2001.
- Femenia, A., Lefebvre, C., Thebaudin, Y., Robertson, J. A. y Bourgeois, M. Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. Journal of food science, 1997, 62 (4): 635-639.pp.
- Fernández Pérez, Marilis y José Luis Rodríguez Sánchez. Tecnología para la obtención de fibra dietética a partir de materia primas regionales. La experiencia en Cuba. En fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud. Obtención y caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Editado por Lajolo, M., F. Saura-Calixto, E. Witting y E. Wenzel. Varela Editora. Brasil, 2001, 212 – 213.p.
- Figuerola, F. E.; Hurtado, M. L.; Estévez, A. M.; Chiffelle, yo.; Asenjo, F. La fibra se concentra de la manzana pomace y la piel cítrica como fuentes de fibra potenciales para el enriquecimiento de alimentos. Química De alimentos, 2005, 91: 395-401.



- Fuertes S. Tendencias actuales en el uso de la fibra dietética en la alimentación. Séptimo simposio de alimentos. Universidad autónoma de Yucatán, 1998, 1 – 25.pp.
- Garcia, Itzel. “Caracterización fisicoquímica y funcional de los residuos fibrosos de mango criollo (*Mangifera indica* L) y su incorporación en galletas”. Tesis Universidad Tecnológica de la Mixteca. México, 2003.
- Geankoplis, Christie J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Tercera. Edición. Compañía Editorial Continental (CECSA) 2005. http://www.frlp.utn.edu.ar/web/syllabus_quimica/operaciones_unitariasI.pdf
- Hernández – Unzón, H. Y. y Y. Gallardo – Navarro. Composición parcial de los polisacáridos de las fibras de chayote, brócoli y mamey. En temas de tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra dietética; Editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. cyted. Instituto Politécnico Nacional, México, 1998, 43 – 53. p.
- Jiménez – Escrig, Antonio., Mariela Rincón, Raquel Pulido y Fulgencio Saura – Calixto. Guava fruti (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *J. Agric. Food Chem*, 2001, 49, 5489 – 5493. p.
- Larrauri, J. A., Rupérez, P., Borroto, B. y Saura-Calixto, F. Seasonal changes in the composition and properties of a high dietary fiber powder from grapefruit peel. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1997, 74 : 308 – 312. pp.
- Marrón y Rosner B. Los efectos que bajan colesterol de fibra dietética: una meta-análisis. *Diario americano de Nutrición Clínica*, 1999, 69 (1): 30 – 42. pp.
- Manthey, Frank A., Gary A. Hareland y Donna J. Huseby. Soluble and insoluble dietary fiber content and composition in oat. *Cereal Chem*, 1999, 76 (3) 417 – 420. pp.



- McDougall, Gordon J., Ian M. Morrison, Derek Stewart y John R. Hillman. Plant cell walls as dietary fibre: range, Structure, processing and function. *J. Sci. Food Agric*, 1996, 70, 133 – 150. pp.
- Morris, D. H.; Vaisey-Genserb, M Disponibilidad y Etiquetaje de Alimento de Lino, Productos y Suplementos. En: Thompson, L. U.; Cunnane S. C. Lino en Nutrición Humana. 2o edn., Champaign, Illinois. AOCS Prensa, 2003, 404-422. pp.
- Oomah, B. D. 2003 Procesado de fibra de lino, aceite, proteína, y lignina. En: Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. (editores). Lino en Nutrición Humana. 2o edn., Champaign, Illinois. AOCS Prensa, 2003, 363-386. pp.
- Pak N Fibra dietética en alimentos chilenos. En Fibra Dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud: Obtención, Caracterización, Efecto Fisiológico y Aplicaciones en Alimentos. Cap. 12. Varela. São Paulo, Brasil, 2009, 179-185. pp.
- Perez – Hidalgo, M., E. Guerra – Hernandez y B. Garcia – Villanova. Determination of insoluble dietary fiber compounds: cellulose, hemicellulose and lignin in legumes. *Ars Pharmaceutica*, 1997, 38 (4), 357 – 364. pp.
- Perraza, G. “Caracterización de los residuos fibrosos de *Canavalia ensiformis* L. y *Phaseolus Lunatus* L. y su incorporación en un producto alimenticio”. Tesis. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México, 2000.
- Prosky L, Asp NG, Schweizer, F de T, DeVries, W de J, Furda. Determinación de fibra insoluble, soluble, y total dietética en productos de alimentación: estudio interlaboratorio. *Diario de Asociación de Químicos Oficiales Analíticos*, 1988, 71 (5): 1017-1023
- Ruales, Jenny y José Zumba. Cuantificación y caracterización de la fibra dietética en frutas y hortalizas ecuatorianas. En temas de tecnología de



alimentos. Vol. 2. Fibra dietética; Editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 1998, 55 – 59. p.

- Sangnark, Arpathsra y athapol Noomhoym. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. *Food Chemistry*, 2003, 80, 221 – 229.pp.
- Schneeman BO. Fibra dietética y función gastrointestinal. *Investigación de Nutrición*; 1998. 18 (4): 625-632.pp.
- Tamayo Yolanda y Ana Silvia Bermúdez. Los residuos vegetales de la industria de jugo de naranja como fuente de fibra dietética. En temas de tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra dietética; Editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 1998, 181 – 189. pp.
- Thompson, L.U. a. Analysis and Bioavailability of Lignans. In: Thompson, L.U., Cunnane, S.C. Editado. *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd Edn, Champaign, Illinois. AOCS Press, 2003, 92-116. pp.
- Thompson, LU. b. Flaxseed, Lignans, and Cancer. In: Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. Editado. *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd Edn. Champaign, Illinois, AOCS. Press, 2003, 194-222. pp.
- Zambrano, M.; Melendez, R. y Gallardo, Y. Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Editado por Lajolo, M., F. Saura-Calixto, E. Witting y E. Wenzel. Varela Editora. Brasil, 2001, 212 – 213.p.



ANEXOS



ANEXO 01: ANOVA PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE RENDIMIENTO

ANOVA						
Variable dependiente: RENDIMIENTO						
Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Interpretación
Modelo corregido	240.119	26	9.235	28.314	0.000	*
Intersección	7310.879	1	7310.879	22413.941	0.000	*
pH	6.169	2	3.084	9.456	0.000	*
Temperatura	96.803	2	48.401	148.390	0.000	*
Tiempo	63.829	2	31.914	97.845	0.000	*
pH * Temperatura	49.313	4	12.328	37.796	0.000	*
pH * Tiempo	8.412	4	2.103	6.447	0.000	*
Temperatura * Tiempo	2.284	4	0.571	1.751	0.152	NS
pH * Temperatura * Tiempo	13.310	8	1.664	5.101	0.000	*
Error	17.613	54	0.326			
Total	7568.612	81				
Total corregida	257.733	80				

ANEXO 02: ANOVA PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE CRA

ANOVA						
Variable dependiente: CRA						
Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Interpretación
Modelo corregido	137.490	26	5.288	44.586	0.000	*
Intersección	1631.491	1	1631.491	13755.843	0.000	*
pH	47.805	2	23.902	201.531	0.000	*
Temperatura	16.601	2	8.301	69.986	0.000	*
Tiempo	0.341	2	0.170	1.437	0.247	NS
pH * Temperatura	6.177	4	1.544	13.019	0.000	*
pH * Tiempo	31.329	4	7.832	66.038	0.000	*
Temperatura * Tiempo	8.820	4	2.205	18.591	0.000	*
pH * Temperatura * Tiempo	26.418	8	3.302	27.842	0.000	*
Error	6.405	54	0.119			
Total	1775.386	81				
Total corregida	143.894	80				

ANEXO 03: ANOVA PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE CAG.

ANOVA						
Variable dependiente: CAG						
Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Interpretación
Modelo corregido	0.150	26	0.006	17.643	0.000	*
Intersección	22.772	1	22.772	69588.328	0.000	*
pH	0.029	2	0.015	44.353	0.000	*
Temperatura	0.000	2	0.000	0.669	0.516	NS
Tiempo	0.007	2	0.003	10.531	0.000	*
pH * Temperatura	0.032	4	0.008	24.109	0.000	*
pH * Tiempo	0.019	4	0.005	14.487	0.000	*
Temperatura * Tiempo	0.011	4	0.003	8.516	0.000	*
pH * Temperatura * Tiempo	0.052	8	0.007	19.896	0.000	*
Error	0.018	54	0.000			
Total	22.940	81				
Total corregida	0.168	80				

ANEXO 04: ANOVA PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE CH.

ANOVA						
Variable dependiente: CH						
Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	Interpretación
Modelo corregido	1210.380	26	46.553	238.502	0.000	*
Intersección	64626.741	1	64626.741	331097.451	0.000	*
pH	625.490	2	312.745	1602.262	0.000	*
Temperatura	49.765	2	24.883	127.479	0.000	*
Tiempo	39.844	2	19.922	102.064	0.000	*
pH * Temperatura	271.223	4	67.806	347.385	0.000	*
pH * Tiempo	51.528	4	12.882	65.998	0.000	*
Temperatura * Tiempo	24.446	4	6.112	31.311	0.000	*
pH * Temperatura * Tiempo	148.084	8	18.510	94.833	0.000	*
Error	10.540	54	0.195			
Total	65847.661	81				
Total corregida	1220.920	80				

ANEXO 05: RESULTADOS DEL RENDIMIENTO.

FACTORES			TRATAMIENTOS	PROMEDIO RENDIMIENTO (%) \pm desvest. (x)	RENDIMIENTO EN G.
pH	Temperatura	Tiempo			
3	80°C	20 min.	T ₁	6.5222 \pm 0.8694 ^l	1.96
3	80°C	40 min.	T ₂	7.4667 \pm 1.0398 ^{jkl}	2.24
3	80°C	60 min.	T ₃	8.8333 \pm 0.2517 ^{fg}	2.65
3	85°C	20 min.	T ₄	8.6333 \pm 0.9528 ^{ghi}	2.59
3	85°C	40 min.	T ₅	8.5889 \pm 0.2546 ^{ghi}	2.84
3	85°C	60 min.	T ₆	11.9444 \pm 1.3108 ^b	3.58
3	90°C	20 min.	T ₇	10.7111 \pm 0.1171 ^{cd}	3.21
3	90°C	40 min.	T ₈	12.2556 \pm 0.1711 ^{ab}	3.68
3	90°C	60 min.	T ₉	13.1889 \pm 0.5891 ^a	3.96
5	80°C	20 min.	T ₁₀	6.8111 \pm 0.4948 ^{kl}	2.04
5	80°C	40 min.	T ₁₁	7.3556 \pm 0.7820 ^{jkl}	2.21
5	80°C	60 min.	T ₁₂	7.8444 \pm 0.3203 ^{ijk}	2.35
5	85°C	20 min.	T ₁₃	6.9333 \pm 0.5044 ^{kl}	2.08
5	85°C	40 min.	T ₁₄	9.7667 \pm 0.4177 ^{def}	2.93
5	85°C	60 min.	T ₁₅	10.7667 \pm 0.1155 ^{cd}	3.23
5	90°C	20 min.	T ₁₆	9.4111 \pm 0.5430 ^{efg}	2.82
5	90°C	40 min.	T ₁₇	11.2778 \pm 0.3672 ^{bc}	3.38
5	90°C	60 min.	T ₁₈	12.0111 \pm 0.2269 ^b	3.60
7	80°C	20 min.	T ₁₉	8.1111 \pm 0.3079 ^{hij}	2.43
7	80°C	40 min.	T ₂₀	9.9333 \pm 0.4000 ^{de}	2.98
7	80°C	60 min.	T ₂₁	10.5889 \pm 0.2589 ^{cd}	3.18
7	85°C	20 min.	T ₂₂	9.0333 \pm 0.6110 ^{efgh}	2.71
7	85°C	40 min.	T ₂₃	9.8444 \pm 0.1836 ^{def}	2.95
7	85°C	60 min.	T ₂₄	9.9667 \pm 0.2667 ^{de}	2.99
7	90°C	20 min.	T ₂₅	9.3444 \pm 0.4741 ^{efg}	2.80
7	90°C	40 min.	T ₂₆	9.4444 \pm 0.7574 ^{efg}	2.83
7	90°C	60 min.	T ₂₇	9.9222 \pm 0.5872 ^{de}	2.98

ANEXO 06: ANALISIS DE FIBRA DIETETICA SOLUBLE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 722
Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú
Teléfono - fax - modem: 224831



UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA
INFORME DE ANALISIS

Nº0508-13-LAQ

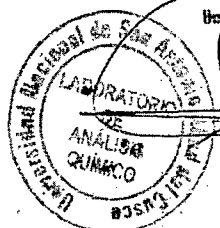


SOLICITANTE: FRANKLIN MERMA RIO
MUESTRA : MUCILAGO DE LINAZA (SECO)
FECHA : C/04/07/2013

RESULTADO ANALISIS:

=====
Fibra Bruta % 7.20
Fibra Soluble % 84.80
=====

* Norma; FAO 14/7 1995 (Ambos Gravimétricos)
Cusco, 11 de Julio 2013



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Unidad de Prestación de Servicios Académicos

Marquitos Herrera Arrieta
RESPONSABLE DEL LABORATORIO
DE ANALISIS QUIMICO



ANEXO 07: RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA)

FACTORES			TRATAMIENTOS	CRA PROMEDIO ± DESV (X) (g de agua/g de M.S.)
pH	Temperatura	Tiempo		
3	80°C	20 min.	T ₁	3.5586 ± 0.4743 ^{hi}
3	80°C	40 min.	T ₂	3.9504 ± 0.0414 ^{gh}
3	80°C	60 min.	T ₃	3.1498 ± 0.0989 ⁱ
3	85°C	20 min.	T ₄	3.6137 ± 0.3900 ^{hi}
3	85°C	40 min.	T ₅	3.0095 ± 0.0944 ⁱ
3	85°C	60 min.	T ₆	3.5140 ± 0.0491 ^{hi}
3	90°C	20 min.	T ₇	3.0673 ± 0.0164 ⁱ
3	90°C	40 min.	T ₈	3.2370 ± 0.0654 ⁱ
3	90°C	60 min.	T ₉	3.5194 ± 0.0900 ^{hi}
5	80°C	20 min.	T ₁₀	7.3874 ± 0.4199 ^{ab}
5	80°C	40 min.	T ₁₁	6.9179 ± 0.1569 ^b
5	80°C	60 min.	T ₁₂	3.0701 ± 0.5210 ⁱ
5	85°C	20 min.	T ₁₃	5.0664 ± 0.1010 ^{cde}
5	85°C	40 min.	T ₁₄	4.5872 ± 0.8657 ^{def}
5	85°C	60 min.	T ₁₅	5.1297 ± 0.2085 ^{cd}
5	90°C	20 min.	T ₁₆	5.3427 ± 0.1130 ^c
5	90°C	40 min.	T ₁₇	4.0908 ± 0.0989 ^{fgh}
5	90°C	60 min.	T ₁₈	3.9790 ± 0.1071 ^{fgh}
7	80°C	20 min.	T ₁₉	5.2129 ± 0.3371 ^{cd}
7	80°C	40 min.	T ₂₀	5.1531 ± 0.1448 ^{cd}
7	80°C	60 min.	T ₂₁	7.7084 ± 0.8041 ^a
7	85°C	20 min.	T ₂₂	4.4914 ± 2886 ^{efg}
7	85°C	40 min.	T ₂₃	3.2935 ± 04799 ⁱ
7	85°C	60 min.	T ₂₄	5.4524 ± 0.2321 ^b
7	90°C	20 min.	T ₂₅	3.2743 ± 0.5301 ⁱ
7	90°C	40 min.	T ₂₆	5.3717 ± 0.1310 ^c
7	90°C	60 min.	T ₂₇	5.0266 ± 0.1827 ^{cde}



ANEXO 08: RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ACEITE (CAG)

FACTORES			TRATAMIENTOS	CAG PROMEDIO ± DESV (X) (g de aceite/g de M.S.)
pH	Temperatura	Tiempo		
3	80°C	20 min.	T ₁	0.4729 ± 0.0250 ^{klm}
3	80°C	40 min.	T ₂	0.5295 ± 0.0250 ^{fghi}
3	80°C	60 min.	T ₃	0.4941 ± 0.0352 ^{jkl}
3	85°C	20 min.	T ₄	0.4990 ± 0.0465 ^{ijk}
3	85°C	40 min.	T ₅	0.5157 ± 0.0357 ^{ghij}
3	85°C	60 min.	T ₆	0.5368 ± 0.0093 ^{efgh}
3	90°C	20 min.	T ₇	0.5059 ± 0.0164 ^{hij}
3	90°C	40 min.	T ₈	0.5270 ± 0.0223 ^{fghi}
3	90°C	60 min.	T ₉	0.5509 ± 0.0073 ^{defg}
5	80°C	20 min.	T ₁₀	0.5452 ± 0.0218 ^{defg}
5	80°C	40 min.	T ₁₁	0.4367 ± 0.0188 ⁿ
5	80°C	60 min.	T ₁₂	0.5368 ± 0.0070 ^{efgh}
5	85°C	20 min.	T ₁₃	0.5509 ± 0.0105 ^{defg}
5	85°C	40 min.	T ₁₄	0.5427 ± 0.0074 ^{defg}
5	85°C	60 min.	T ₁₅	0.4567 ± 0.0103 ^{mn}
5	90°C	20 min.	T ₁₆	0.4716 ± 0.0136 ^{klm}
5	90°C	40 min.	T ₁₇	0.5707 ± 0.0093 ^{bcd}
5	90°C	60 min.	T ₁₈	0.5611 ± 0.0049 ^{cdef}
7	80°C	20 min.	T ₁₉	0.5864 ± 0.0083 ^{abc}
7	80°C	40 min.	T ₂₀	0.6162 ± 0.0099 ^a
7	80°C	60 min.	T ₂₁	0.5735 ± 0.0114 ^{bcd}
7	85°C	20 min.	T ₂₂	0.5501 ± 0.0087 ^{defg}
7	85°C	40 min.	T ₂₃	0.5961 ± 0.0045 ^{ab}
7	85°C	60 min.	T ₂₄	0.5338 ± 0.0118 ^{fgh}
7	90°C	20 min.	T ₂₅	0.5367 ± 0.0147 ^{efgh}
7	90°C	40 min.	T ₂₆	0.5546 ± 0.0038 ^{cdef}
7	90°C	60 min.	T ₂₇	0.4644 ± 0.0027 ^{lmn}



ANEXO 09: RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH)

FACTORES			TRATAMIENTOS	CH PROMEDIO ± DESV (X) (ml de agua/g de M.S.)
pH	Temperatura	Tiempo		
3	80°C	20 min.	T ₁	26.2057 ± 0.3071 ^{ij}
3	80°C	40 min.	T ₂	26.5469 ± 0.0350 ⁱ
3	80°C	60 min.	T ₃	23.4061 ± 0.2953 ^l
3	85°C	20 min.	T ₄	26.7964 ± 0.4324 ^{hi}
3	85°C	40 min.	T ₅	22.2190 ± 0.7835 ^m
3	85°C	60 min.	T ₆	24.2142 ± 0.2833 ^k
3	90°C	20 min.	T ₇	25.7282 ± 0.3000 ^j
3	90°C	40 min.	T ₈	21.7448 ± 0.2790 ^{mn}
3	90°C	60 min.	T ₉	28.7448 ± 0.2858 ^f
5	80°C	20 min.	T ₁₀	32.6901 ± 0.5533 ^c
5	80°C	40 min.	T ₁₁	30.7158 ± 0.5987 ^{de}
5	80°C	60 min.	T ₁₂	27.4528 ± 0.5371 ^{gh}
5	85°C	20 min.	T ₁₃	30.6694 ± 0.2595 ^{de}
5	85°C	40 min.	T ₁₄	33.4781 ± 0.7551 ^b
5	85°C	60 min.	T ₁₅	32.8129 ± 0.2693 ^{bc}
5	90°C	20 min.	T ₁₆	35.1909 ± 0.3553 ^a
5	90°C	40 min.	T ₁₇	32.8784 ± 0.2564 ^{bc}
5	90°C	60 min.	T ₁₈	30.6426 ± 0.3913 ^{de}
7	80°C	20 min.	T ₁₉	28.1636 ± 0.7717 ^{fg}
7	80°C	40 min.	T ₂₀	30.7151 ± 0.2128 ^{de}
7	80°C	60 min.	T ₂₁	30.0849 ± 0.4925 ^e
7	85°C	20 min.	T ₂₂	32.2131 ± 0.3105 ^c
7	85°C	40 min.	T ₂₃	31.0791 ± 0.8563 ^d
7	85°C	60 min.	T ₂₄	28.3579 ± 0.3103 ^f
7	90°C	20 min.	T ₂₅	24.6587 ± 0.1550 ^k
7	90°C	40 min.	T ₂₆	24.0439 ± 0.0386 ^{kl}
7	90°C	60 min.	T ₂₇	21.2001 ± 0.3370 ⁿ

ANEXO 10: ANÁLISIS DE DUNCAN PARA:

Duncan ^a														
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	3	6.5222												
10	3	6.8111	6.8111											
13	3	6.9333	6.9333											
11	3	7.3555	7.3555	7.3555										
2	3	7.4667	7.4667	7.4667										
12	3		7.8444	7.8444	7.8444									
19	3			8.1111	8.1111	8.1111								
5	3				8.5889	8.5889	8.5889							
4	3				8.6333	8.6333	8.6333							
3	3				8.8333	8.8333	8.8333	8.8333						
22	3					9.0333	9.0333	9.0333	9.0333					
25	3						9.3445	9.3445	9.3445					
16	3						9.4111	9.4111	9.4111					
26	3						9.4444	9.4444	9.4444					
14	3							9.7667	9.7667	9.7667				
23	3							9.8444	9.8444	9.8444				
27	3								9.9222	9.9222				
20	3								9.9333	9.9333				
24	3								9.9667	9.9667				
21	3									10.5889	10.5889			
7	3									10.7111	10.7111			
15	3									10.7666	10.7666			
17	3										11.2778	11.2778		
6	3											11.9445		
18	3												12.0111	
8	3												12.2556	12.2556
9	3													13.1889
Sig.		0.075	0.051	0.145	0.062	0.082	0.119	0.064	0.095	0.071	0.185	0.059	0.050	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

ANEXO 11: ANÁLISIS DE DUNCAN PARA:

CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA (CRA)										
Duncan ^a										
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	3	3.0095								
7	3	3.0673								
12	3	3.0701								
3	3	3.1498								
8	3	3.2370								
25	3	3.2743								
23	3	3.2935								
6	3	3.5140	3.5140							
9	3	3.5194	3.5194							
1	3	3.5586	3.5586							
4	3	3.6137	3.6137							
2	3		3.9504	3.9504						
18	3		3.9790	3.9790	3.9790					
17	3		4.0908	4.0908	4.0908					
22	3			4.4914	4.4914	4.4914				
14	3				4.5872	4.5872	4.5872			
27	3					5.0266	5.0266	5.0266		
13	3					5.0664	5.0664	5.0664		
15	3						5.1297	5.1297		
20	3						5.1531	5.1531		
19	3						5.2129	5.2129		
16	3							5.3427		
26	3							5.3717		
24	3							5.4524		
11	3								6.9179	
10	3								7.3874	7.3874
21	3									7.7084
Sig.		0.077	0.081	0.084	0.052	0.066	0.054	0.203	0.101	0.259

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

ANEXO 12: ANÁLISIS DE DUNCAN PARA:

CAPACIDAD DE ADSORCION DE ACEITE (CAG)															
Duncan ^a															
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11	3	0.4367													
15	3	0.4567	0.4567												
27	3	0.4644	0.4644	0.4644											
16	3		0.4716	0.4716	0.4716										
1	3		0.4729	0.4729	0.4729										
3	3			0.4941	0.4941	0.4941									
4	3				0.4990	0.4990	0.4990								
7	3					0.5059	0.5059	0.5059							
5	3					0.5157	0.5157	0.5157	0.5157						
8	3						0.5270	0.5270	0.5270	0.5270					
2	3						0.5295	0.5295	0.5295	0.5295					
24	3							0.5338	0.5338	0.5338					
25	3								0.5367	0.5367	0.5367	0.5367			
12	3								0.5368	0.5368	0.5368	0.5368			
6	3								0.5368	0.5368	0.5368	0.5368			
14	3								0.5427	0.5427	0.5427	0.5427			
10	3								0.5452	0.5452	0.5452	0.5452			
22	3								0.5501	0.5501	0.5501	0.5501			
13	3								0.5509	0.5509	0.5509	0.5509			
9	3								0.5509	0.5509	0.5509	0.5509			
26	3									0.5546	0.5546	0.5546	0.5546		
18	3									0.5611	0.5611	0.5611	0.5611		
17	3										0.5707	0.5707	0.5707	0.5707	
21	3											0.5735	0.5735	0.5735	
19	3												0.5864	0.5864	0.5864
23	3													0.5961	0.5961
20	3														0.6162
Sig.		0.081	0.325	0.071	0.095	0.188	0.069	0.078	0.050	0.060	0.058	0.081	0.059	0.122	0.060

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

ANEXO 13: ANÁLISIS DE DUNCAN PARA:

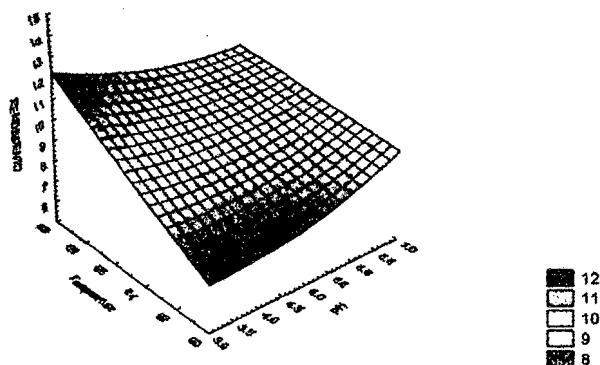
CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH)															
Duncan ^a															
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
27	3	21.2001													
8	3	21.7448	21.7448												
5	3		22.2190												
3	3			23.4061											
26	3			24.0439	24.0439										
6	3				24.2142										
25	3				24.6587										
7	3					25.7282									
1	3					26.2057	26.2057								
2	3						26.5469								
4	3						26.7964	26.7964							
12	3							27.4528	27.4528						
19	3								28.1636	28.1636					
24	3									28.3579					
9	3									28.7449					
21	3										30.0849				
18	3										30.6426	30.6426			
13	3										30.6694	30.6694			
20	3										30.7151	30.7151			
11	3										30.7158	30.7158			
23	3											31.0791			
22	3												32.2131		
10	3												32.6901		
15	3												32.8129	32.8129	
17	3												32.8784	32.8784	
14	3													33.4781	
16	3														35.1909
Sig.		0.137	0.194	0.083	0.113	0.191	0.128	0.074	0.054	0.134	0.125	0.290	0.097	0.086	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

ANEXO 14: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE SUPERFICIE DE RESPUESTA CON EL PROGRAMA STATISTICA PARA RENDIMIENTO

a.- Rendimiento: En función del pH y Temperatura

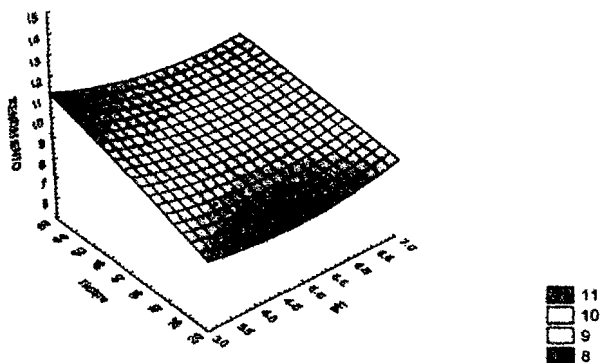
3D Surface Plot (RENDIMIENTO f: (pH y Temperatura))
RENDIMIENTO = $-65.5955+7.9492*x+0.7907*y+0.1386*x*x-0.1105*x*y+0.0002*y*y$



El rendimiento óptimo que se alcanza en función de las variables independientes (pH y Temperatura) son a los valores de 3.0 y 90°C respectivamente.

b.- Rendimiento: En función del pH y Tiempo

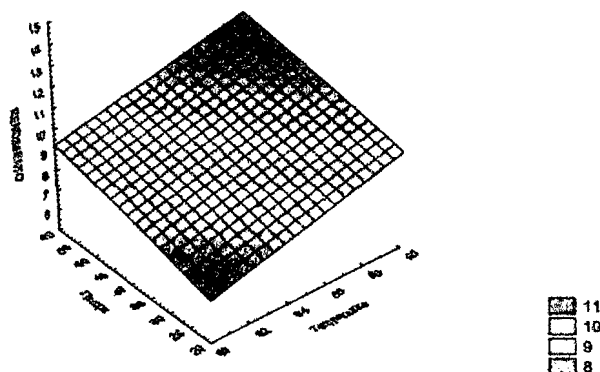
3D Surface Plot (RENDIMIENTO f: (pH y Tiempo))
RENDIMIENTO = $8.7426-1.0976*x+0.1115*y+0.1386*x*x-0.0086*x*y-0.0002*y*y$



El rendimiento óptimo que se alcanza en función de las variables independientes (pH y Tiempo) son a los valores de 3.0 y 60 min. respectivamente.

c.- Rendimiento: En función de la Temperatura y Tiempo

3D Surface Plot (RENDIMIENTO f: (Temperatura y Tiempo))
 $RENDIMIENTO = -14.8993 + 0.244x + 0.0804y + 0.0002x^2 - 0.0001xy - 0.0002y^2$

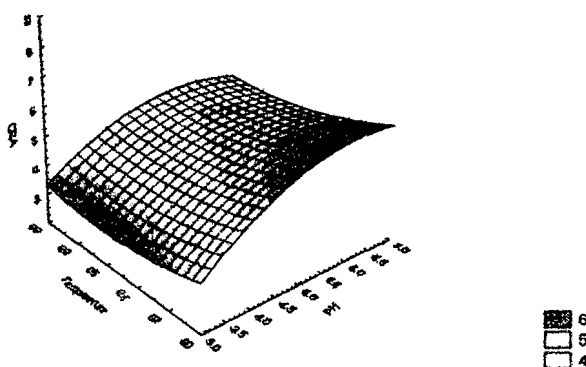


El rendimiento óptimo que se alcanza en función de las variables independientes (Temperatura y Tiempo) es a los valores de 90°C y 60 min. respectivamente.

ANEXO 15: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE SUPERFICIE DE RESPUESTA CON EL PROGRAMA STATISTICA

a.- Capacidad de Retención de Agua: En función del pH y Temperatura

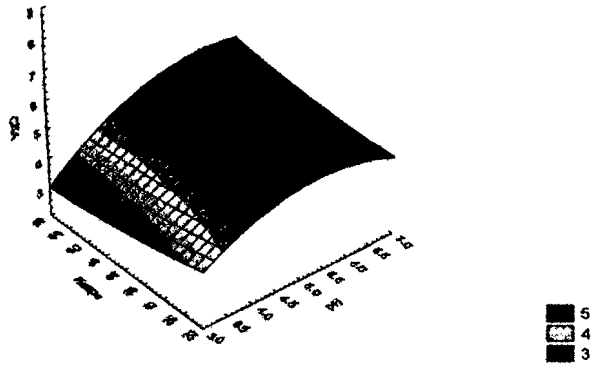
3D Surface Plot (CRA f: (pH y Temperatura))
 $CRA = 101.0824 + 5.0835x - 2.4854y - 0.2158x^2 - 0.0297xy + 0.0149y^2$



La capacidad de retención de agua óptima que se alcanza en función de las variables independientes (pH y Temperatura) son a los valores de 7.0 y 80°C respectivamente.

b.- Capacidad de Retención de Agua: En función del pH y Tiempo

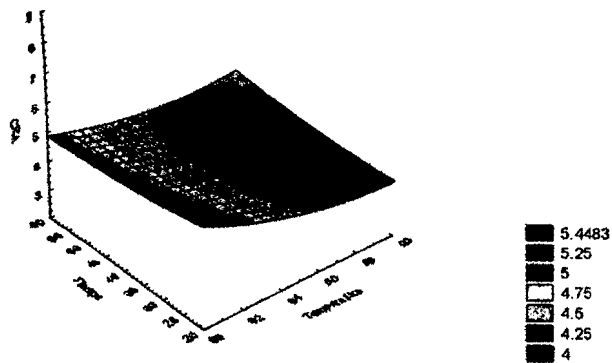
3D Surface Plot (CRA f: (pH y Tiempo))
 $CRA = 0.3524 + 2.1183 \cdot x - 0.0822 \cdot y - 0.2158 \cdot x^2 + 0.011 \cdot x \cdot y + 0.0003 \cdot y^2$



La capacidad de retención de agua óptima que se alcanza en función de las variables independientes (pH y Tiempo) son a los valores de 7.0 y 60 min. respectivamente.

c.- Capacidad de Retención de Agua: En función de la Temperatura y Tiempo

3D Surface Plot (CRA f: (Temperatura y Tiempo))
 $CRA = 129.7168 - 2.7364 \cdot x - 0.2449 \cdot y + 0.0149 \cdot x^2 + 0.0026 \cdot x \cdot y + 0.0003 \cdot y^2$

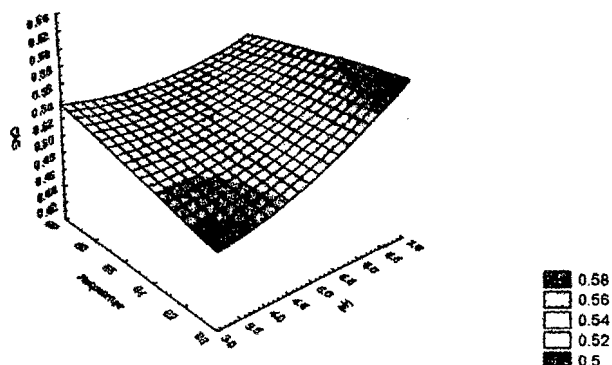


La capacidad de retención de agua óptima que se alcanza en función de las variables independientes (Temperatura y Tiempo) son a los valores de 80°C y 20 min. respectivamente.

ANEXO 16: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE SUPERFICIE DE RESPUESTA CON EL PROGRAMA STATISTICA

a.- Capacidad de Adsorción de Aceite: En función del pH y Temperatura

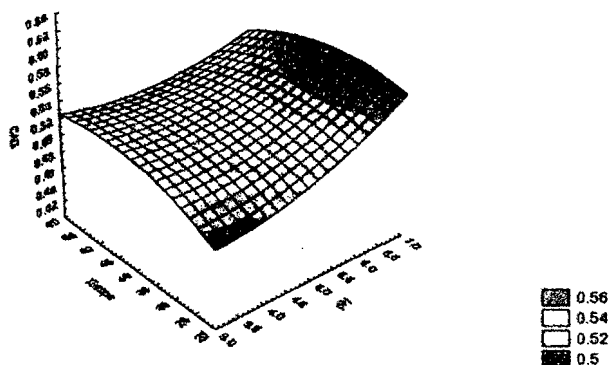
3D Surface Plot (CAG f. (pH y Temperatura))
 $CAG = -0.946+0.1871*x+0.0234*y+0.0042*x*x-0.0026*x*y-6.5407E-5*y*y$



La Capacidad de Adsorción de Aceite óptima que se alcanza en función de las variables independientes (pH y Temperatura) a los valores de 7.0 y 80°C respectivamente.

b.- Capacidad de Adsorción de Aceite: En función del pH y Tiempo

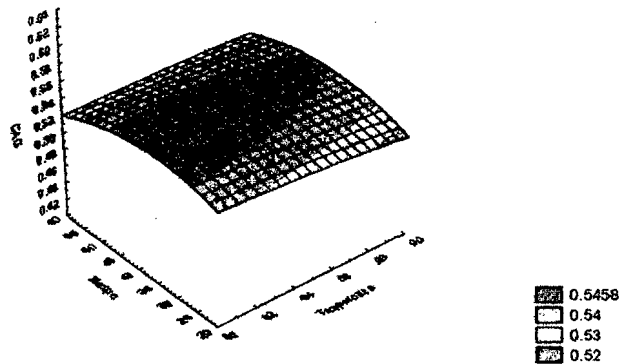
3D Surface Plot (CAG f. (pH y Tiempo))
 $CAG = 0.4206-0.0138*x+0.008*y+0.0042*x*x-0.0004*x*y-4.8852E-5*y*y$



La Capacidad de Adsorción de Aceite óptima que se alcanza en función de las variables independientes (pH y Tiempo) son a los valores de 7.0 y 20 min. respectivamente.

c.- Capacidad de Adsorción de Aceite: En función de la Temperatura y Tiempo

3D Surface Plot (CAG f. (Temperatura y Tiempo))
 $CAG = 0.2168 + 0.0085 \cdot x - 0.0005 \cdot y - 6.5407E-5 \cdot x^2 + 5.1661E-5 \cdot x \cdot y - 4.8852E-5 \cdot y^2$

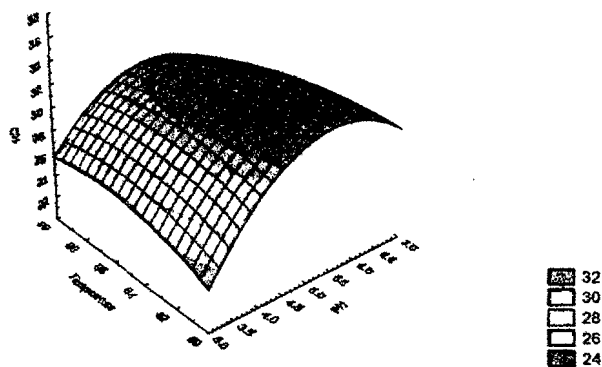


La Capacidad de Adsorción de Aceite óptima que se alcanza en función de las variables independientes (Temperatura y Tiempo) es a los valores de 80°C y 40 min. respectivamente.

ANEXO 17: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE SUPERFICIE DE RESPUESTA CON EL PROGRAMA STATISTICA

a.- Capacidad de Hinchamiento: En función del pH y Temperatura

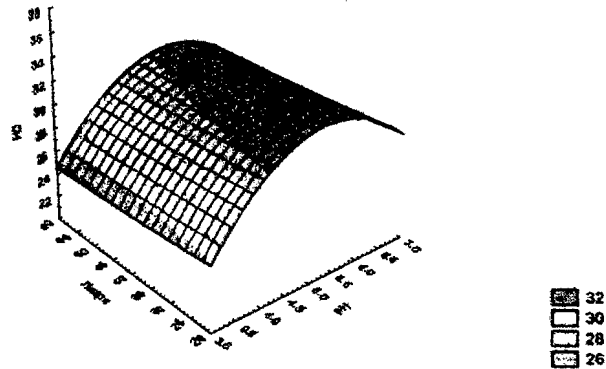
3D Surface Plot (CH f. (pH y Temperatura))
 $CH = -428.764 + 27.6991 \cdot x + 9.3114 \cdot y - 1.3464 \cdot x^2 - 0.1593 \cdot x \cdot y - 0.0508 \cdot y^2$



La Capacidad de Hinchamiento óptima que se alcanza en función de las variables independientes (pH y Temperatura) son a los valores de 5.0 y 80°C respectivamente.

b.- Capacidad de Hinchamiento: En función del pH y Tiempo

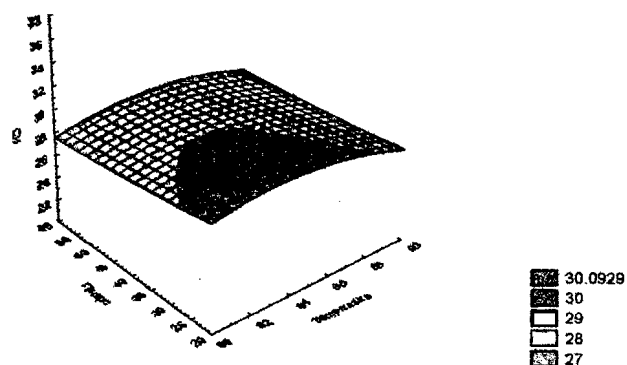
3D Surface Plot (CH f: (pH y Tiempo))
 $CH = -4.3803 + 14.4081x - 0.0378y - 1.3464x^2 - 0.0063xy + 0.0003y^2$



La Capacidad de Hinchamiento óptima que se alcanza en función de las variables independientes (pH y Tiempo) son a los valores de 5 y 20 min. respectivamente.

c.- Capacidad de Hinchamiento: En función de la Temperatura y Tiempo

3D Surface Plot (CH f: (Temperatura y Tiempo))
 $CH = -322.176 + 8.4772x - 0.149y - 0.0508x^2 + 0.0009xy + 0.0003y^2$



La Capacidad de Hinchamiento óptima que se alcanza en función de las variables independientes (Temperatura y Tiempo) son a los valores de 85°C y 20 min. respectivamente.

FOTO 01: PROCESO DE EXTRACCIÓN DE FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE



FOTO 02: FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE SECA



FOTO 03: MOLIDO DE LA FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE

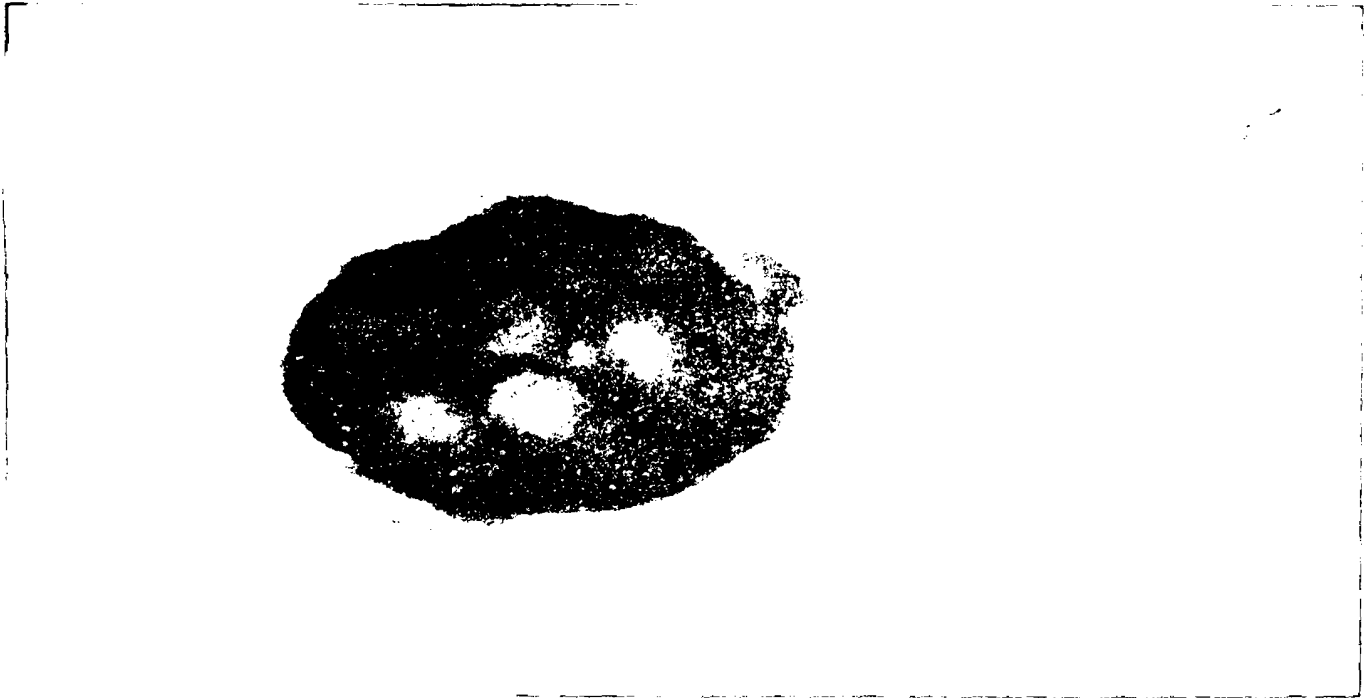


FOTO 04: TAMIZADO DE LA FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE

