ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN TÉCNICA FINANCIERA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DEL GARBANZO *(Cicer Arietinum)* USANDO UN PROCESO EXTRUSIÓN

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

BYRON DANILO VALENCIA MALDONADO
byrdanvalencia@hotmail.com

DIRECTOR: Dra. JENNY RUALES
jruales@pi.pro.ec

Quito, abril 2009

DERECHOS DE AUTOR

© Escuela Politécnica Nacional 2 009

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo Byron Valencia, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

Byron Valencia M.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Byron Valencia, bajo mi supervisión.

_____

Dra. Jenny Ruales

DIRECTOR DE PROYECTO

Dedicatoria

A mi familia en especial a mis padres Gloria y Byron por darme la vida, amor, comprensión y porque son la luz que guía mi camino.

A mis abuelitos Felipe, Beatriz e Isabel por ser los verdaderos ángeles durante toda mi vida.

A Ma. Fernanda, Verónica y David por el cariño, apoyo y amistad incondicional que día a día me brindan.

Agradecimientos

A mi Directora de Tesis, Dra. Jenny Ruales por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la realización de este trabajo.

Al Ing. Javier Avilés, no solo por su generoso aporte económico sino también por sus valiosas sugerencias y acertados aportes durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Bolívar Izurieta, su permanente disposición y valioso aporte durante el desarrollo de este trabajo.

A todo el personal del DECAB en especial a la Dra. Rosario Barrera, Dra. Susana Fuertes, Ing. Elena Coyago, Dra. Irma Paredes, Ing. Elena Beltrán, Ing. Cecilia Carpio, Ing. Pablo Polit, Dr. Juan Bravo, Ing. Oswaldo Acuña, Ing. Edwin Acosta, Ing. Dávila Jorge, Lcda. Margarita Rosero, Sr. Héctor Ortiz por la valiosa colaboración, consejos y amistad que me brindaron durante la realización del presente trabajo.

A mis queridos amigos Nelson, Juanca, Pablo, Hugo, Carlos, Germán, Gaby, Salome, Maritza, Pauly y Freddy.

RESUMEN

La presente investigación tiene por objeto la industrialización del garbanzo obteniendo un producto base para la elaboración de croquetas de falafel con un alto valor nutricional, bajo contenido de factores anti-nutricionales y una adecuada funcionalidad, mediante la aplicación de un bio-tratamiento y un proceso de extrusión.

Se realizó el estudio del efecto de los bio-tratamientos en función de la cinética de degradación del contenido de fitatos presentes en el garbanzo. Se determinó el bio-tratamiento y las variables de temperatura, pH y humedad para la activación enzimática de la fitasa endógena, de esta manera se obtuvo el contenido más bajo de fitatos en función del tiempo de tratamiento, aproximadamente un 66% de degradación de fitatos mediante la aplicación del bio-tratamiento de incubación a un pH entre 6-7, una temperatura de 60ºC y una humedad del 90%.

Para la cocción del producto se aplicó un proceso de extrusión, se determinaron parámetros como el contenido de humedad de las muestras y el rango de temperatura, para obtener un producto con un alto índice de gelatinización de almidones y adecuadas características funcionales. Se determinó el perfil de temperatura de extrusión (80-115-150) ºC y el contenido de humedad de las muestras, las cuales estuvieron en un rango de entre 25%-30% de humedad. Obteniendo un 96% de gelatinización de almidones, un valor de 10,6 para el IAA (Índice de Absorción de Agua) y un 11,3 para el PH (Poder de Hinchamiento) y un 5,5% de ISA (Índice de Solubilidad en Agua). De igual manera mediante el proceso de extrusión se obtuvo en 80% inhibición del contenido de anti-tripsina.

Se realizó un estudio de pre-factibilidad para determinar la viabilidad de la aplicación del proyecto a escala industrial, para lo cual se analizó la ingeniaría del proyecto e indicadores económicos como el punto de equilibrio, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Obteniendo del estudio de pre-factibilidad un punto de equilibrio del 31,67%, un VAN del 991.171,31 USD y un TIR del 78% resultados que indican que el proyecto es viable y factible para su ejecución.

INTRODUCCIÓN

El garbanzo ***(Cicer arietinum)*** es una importante fuente de alimento rico en proteínas, hidratos de carbono fibra y minerales siendo un alimento muy balanceado, sin embargo el garbanzo posee atributos indeseables como largos periodos de cocción, inhibidores enzimáticos, polifenoles y fitatos que deben ser reducidos y/o eliminados antes de su consumo ya que no permiten una adecuada asimilación de los nutrientes.

Los bio-tratamientos mediante la activación y acción enzimática de la fitasa endógena contenida en las semillas de cereales y leguminosas, es una de las principales alternativas en la degradación del contenido de fitatos, incrementando su valor nutricional y la bio-disponibilidad de minerales (Chichester, 1982).

La extrusión es un proceso de cocción, el cual se lleva acabo a altas temperaturas y tiempos de residencia relativamente cortos (HTST). Al tener un proceso HTST se protege muy bien el sabor y los nutrientes, además que permite la inactivación de enzimas, disminución de la acción microbiana, y la eliminación de factores anti-nutricionales termolábiles como inhibidores de tripsina (O`Connor, 1987).

La aplicación del proceso de extrusión modifica la estructura del almidón incrementando la bio-disponibilidad del polímero, cambiando la textura y propiedades funcionales del producto. La proteína, como segundo componente principal en los extrudidos, puede sufrir desnaturalización y aumentar su digestibilidad.

El estudio de pre-factibilidad nos permite conocer la viabilidad y aplicación del proyecto a escala industrial, evaluando indicadores económicos como el TIR el VAN y el Punto de Equilibrio.

En el presente proyecto se investiga la aplicación bio-tratamientos para la degradación del contenido de fitatos así como la aplicación del proceso de extrusión para la eliminación de factores anti-nutricionales termolábiles, la cocción y funcionalidad de la harina pre-cocida para la elaboración de la croqueta de falafel, de igual manera mediante el estudio de pre-factibilidad se determina la aplicación tecnológica y la factibilidad en el desarrollo del proyecto de la industrialización del la harina pre-cocida de garbanzo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN **v**

INTRODUCCIÓN **vii**

1 PARTE TEÓRICA.....1

1.1 El Garbanzo 1
1.1.1 Generalidades 1
1.1.1.1 Origen.....1
1.1.1.2 Características Botánicas.....1
1.1.1.3 Sistema de Raíces.....2
1.1.1.4 Tallo Principal y Ramas 2
1.1.1.5 Hojas.....2
1.1.1.6 Etapa de Floración.....3
1.1.1.7 Las Flores 3
1.1.1.8 Vainas.....4
1.1.1.9 Semillas 4
1.1.2 Aspectos Agroecológicos 5
1.1.2.1 Exigencias Edafo-climáticas 5
1.1.3 Composición Nutricional.....6
1.1.3.1 Almidón.....6
1.1.3.2 Proteína.....6
1.1.3.3 Fibra 7
1.1.3.4 Lípidos.....7
1.1.3.5 Minerales.....7
1.1.4 Importancia Económica y Distribución Geográfica 8
1.1.4.1 Comercio mundial.....9
1.1.4.2 Consumo internacional.....9

1.2 Factores Anti-Nutricionales.....10
1.2.1 Ácido Fítico 11
1.2.1.1 Fitasa 13
1.2.2 Inhibidores de Proteasas 14

1.3 Extrusión.....16
1.3.1 Componentes y Funcionamiento de un Extrusor.....16

1.3.2 Corte o Deslizamiento 18
1.3.3 Principios Físicos-Químicos de la Extrusión 18
1.3.4 Modificaciones de Estructuras Físicas y Químicas de Almidones y Proteína 20
1.3.4.1 Proteínas 20
1.3.4.2 Almidones 22
1.3.5 Métodos de Evaluación de las Propiedades Funcionales 23
1.3.5.1 Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH).....23
1.3.6 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....24

1.4 Productos a Partir de Garbanzo 25
1.4.1 Harina de Garbanzo.....25
1.4.2 Harina Pre-Cocida de Garbanzo.....26
1.4.3 Falafel 26

2 METODOLOGÍA ……..……..……28

2.1 Caracterización de Materia Prima y Producto Terminado.....28
2.1.1 Materia Prima 28
2.1.2 Caracterización de Materia Prima 28
2.1.3 Caracterización del Producto Terminado 29

2.2 Procesos Previos al Proceso de Extrusión 29
2.2.1 Obtención del Gritz de Garbanzo 30
2.2.1.1 Desintegración.....30
2.2.1.2 Tamizado.....30
2.2.2 Biotratamientos (Incubación)……..……31
2.2.2.1 Incubación Grano Entero de Garbanzo ……31
2.2.2.2 Incubación Gritz y Harina de Garbanzo.....32
2.2.2.3 Incubación de Gritz de Garbanzo a un pH entre 4-5.....33
2.2.2.4 Incubación del Gritz de Garbanzo a un pH entre 6-7.....34
2.2.3 Análisis del Contenido de Fitatos.....34
2.2.4 Preparación de Materia Prima Previo al Proceso de Extrusión.....35
2.2.4.1 Incubación a un pH entre 6-7 para la Obtención de Materia Prima.....36
2.2.4.2 Determinación del Contenido de Humedad 36
2.2.4.3 Secado 37
2.2.4.4 Acondicionamiento de las Muestras 37

2.3 Obtención de Harina Pre-Cocida de Garbanzo por Extrusión.....39

2.3.1 Determinación de las Propiedades Funcionales 41
2.3.2 Determinación del Grado de Gelatinización (DSC) 41
2.3.3 Determinación de Inhibidores de Tripsina 42

2.4 Desarrollo del Producto a Partir de Harina Pre-Cocida 42

2.5 Estudio de Estabilidad del Producto 43

2.6 Estudio de Pre-Factibilidad.....43

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN…….....45

3.1 Producción de Harina Pre-Cocida y su Producto.....45

3.2 Composición Nutricional de la Materia Prima y del Producto Terminado 46
3.2.1 Composición Nutricional de la Materia Prima 46
3.2.2 Composición Nutricional del Producto Terminado.....47

3.3 Procesos Previos a la Extrusión 48
3.3.1 Obtención del Gritz de Garbanzo 48
3.3.2 Bio-Tratamiento Bajo Condiciones Controladas de Temperatura y Humedad.49
3.3.2.1 Incubación de Granos Enteros de Garbanzo Bajo Condiciones Controladas 49
3.3.2.2 Incubación de Gritz de Garbanzo Bajo Condiciones Controladas.....50
3.3.2.3 Incubación de Gritz de Garbanzo a un pH entre 4-5. 51
3.3.2.4 Incubación de Gritz de Garbanzo a un pH entre 6-7.....52
3.3.2.5 Determinación del Tratamiento de Incubación 53
3.3.3 Obtención de Materia Prima Previo al Proceso de Extrusión 54
3.3.3.1 Secado 54

3.4 Obtención de Harina Pre-Cocida de Garbanzo por Extrusión.....56
3.4.1 Análisis de los Parámetros del Proceso de Extrusión.....56
3.4.2 Análisis de las Propiedades Funcionales del Producto Extruido para Dos Perfiles de Temperatura 57
3.4.2.1 Índice de Absorción de Agua para el Primer Perfil de Temperatura 57
3.4.2.2 Índice de Absorción de Agua para el Segundo Perfil de Temperatura 58
3.4.2.3 Índice de Solubilidad en Agua para el Primer Perfil de Temperatura 59

3.4.2.4 Índice de Solubilidad en Agua para el Segundo Perfil de Temperatura 60
3.4.2.5 Poder de Hinchamiento para el Primer Perfil de Temperatura 61
3.4.2.6 Poder de Hinchamiento Segundo Perfil de Temperatura 62
3.4.3 Grado de Gelatinización de Almidones.....63
3.4.4 Determinación de los Parámetros del Proceso 63
3.4.5 Determinación de Inhibidores de Tripsina 64

3.5 Desarrollo del Producto a Partir de Harina Pre-cocida.....64

3.6 Estudio de Estabilidad del Producto 65

3.7 Estudio de Pre-Factibilidad.....66
3.7.1 Perfil del Producto.....66
3.7.2 Destino de la Producción.....66
3.7.3 Tamaño y Localización de la Planta.....67
3.7.3.1 Localización 67
3.7.3.2 Capacidad de Producción de la Planta 67
3.7.4 Ingeniería del Proyecto.....68
3.7.4.1 Proceso de Elaboración del Producto.....68
3.7.4.2 Balance de Masa.....69
3.7.4.3 Selección de Maquinaria y Equipos.....71
3.7.4.4 Balance de Energía.....72
3.7.4.5 Requerimientos de Combustible 73
3.7.4.6 Requerimiento de Agua.....74
3.7.4.7 Requerimientos de Energía Eléctrica 74
3.7.5 Estudio Económico.....75
3.7.5.1 Inversión, Costos, Gastos y Ventas Netas.....76
3.7.5.2 Punto de Equilibrio.....80
3.7.5.3 Estado de Pérdidas y Ganancias.....82
3.7.5.4 Flujo de Caja TIR y VAN 83

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……...85

4.1. Conclusiones……..85

4.2. Recomendaciones……...87

BIBLIOGRAFÍA……..…….88

ANEXOS…..……..…….93

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.1 Composición Nutritiva del Garbanzo por 100 g.……...…….……..….8

Tabla 1.2 Producción Mundial de Garbanzo…….…….……8

Tabla 1.3 pH y Temperatura para la activación enzimática en Ciertos Cereales y Leguminosas.....14

Tabla 1.4 Temperatura de Denaturación de Proteínas y Concentración de Humedad.....21

Tabla 1.5 Temperatura de Gelatinización de Almidones…...…….……23

Tabla 1.6 Composición Nutricional de la Harina de Garbanzo.…….…….….25

Tabla 2.1 Contenido de Humedad de Acondicionamiento.....…….……...38

Tabla 2.2 Variables del Proceso de Extrusión…….…….44

Tabla 3.1 Composición Nutricional del Gritz de Garbanzo.…….…46

Tabla 3.2 Composición Nutricional de la Harina Pre-cocida de Garbanzo.…….……47

Tabla 3.3 Porcentaje de Composición Según el Tamaño de Partícula Después del Proceso de Tamizado……..48

Tabla 3.4 Variables del Proceso de Extrusión…..……56

Tabla 3.5 Índice de Solubilidad en Agua para el Segundo Perfil de Temperatura……...…60

Tabla 3.6 Temperatura, Humedad y Grado de Gelatinización de Almidones……...….……..63

Tabla 3.7 Porcentaje de Composición de la Receta……..……....65

Tabla 3.8 Análisis Microbiológico de la Harina Pre-cocida…….65

Tabla 3.9 Maquinaria y Equipo utilizado en el Sistema de Proceso……...……..71

Tabla 3.10 Maquinaria y Equipo Auxiliar para el Procesamiento……...….71

Tabla 3.11 Requerimientos de Agua Diarios, Mensuales y Anuales…….……...74

Tabla 3.12 Requerimientos de Energía Eléctrica Diaria, Mensual y Anual.……....75

Tabla 3.13 Inversión Total Monto del Capital Propio y Financiamiento……..…….…….76

Tabla 3.14 Inversión Fija……...……..76

Tabla 3.15 Capital de Operación……..……...77

Tabla 3.16 Ventas Netas…….……..77

Tabla 3.17 Costos de Producción……..78

Tabla 3.18 Gastos Financieros……..79

Tabla 3.19 Costo del Producto……..79

Tabla 3.20 Punto de Equilibrio…….80

Tabla 3.21 Estado de Pérdidas y Ganancias…….82

Tabla 3.22 Flujo de Caja……...84

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.1 Estructura de una Proteína con Dos Clases de Inclusiones Dentro del Endosperma……..……..11

Figura 1.2 Estructura del Acido Fítico (A) Quelado (B) a pH Neutro...……..……..…....12

Figura 1.3 Acción de la Enzima Fitasa sobre el Fitato.……..……..……...13

Figura 1.4 Efecto del Tratamiento Térmico Sobre Inhibidores de Tripsina y la Eficiencia de la Relación de Proteína (PER)….……..…….15

Figura 1.5 Componentes de un Extrusor……..……16

Figura 1.6 Muestra las Características de los Estados de la Materia en Función a la Temperatura...……20

Figura1.7 Flujograma de Análisis de IAA, PI, ISA……..……..24

Figura 1.8 Croquetas de Falafel……...…….26

Figura2.1 Semillas Secas de Garbanzo...……..28

Figura 2.2 Productos Resultante después del Proceso de Tamizado……30

Figura 2.3 Incubación a Condiciones Controladas en la Cámara SEMATEC…….…31

Figura 2.4 Incubación de Gritz y Harina de Garbanzo a Condiciones Controladas de Temperatura y Humedad……..…….32

Figura 2.5 Incubación a Condiciones Controladas pH 4-5……..…….33

Figura 2.6 Incubación a Condiciones Controladas pH 6-7……...34

Figura 2.7 Incubación de Gritz de Garbanzo a Condiciones Controladas en la Cámara SEMATEC…….36

Figura 2.8 Secado del Gritz de Garbanzo mediante un Secador de Bandas…….37

Figura 2.9 Proceso de Extrusión y Obtención del Producto…….…….……...39

Figura 3.1 Variación del Contenido de Fitatos Durante el Tratamiento de Incubación Grano entero en Función al Tiempo de Tratamiento……49

Figura 3.2 Variación del Contenido de Fitatos Durante el Tratamiento de Incubación del Gritz de Garbanzo…….…….50

Figura 3.3 Variación del Contenido de Fitatos Durante el Tratamiento de Incubación pH4-5……..……...51

Figura 3.4 Variación del Contenido de Fitatos Durante el Tratamiento de Incubación

pH 6-7 …….....52

Figura 3.5 Diferencia del Contenido de Fitatos entre el Tratamiento de Incubación a Diferente pH……..53

Figura 3.6 Curva de Secado del Producto……....55

Figura 3.7 Índice de Absorción de Agua para el Primer Perfil de Temperatura……..57

Figura 3.8 Índice de Absorción de Agua para el Segundo Perfil de Temperatura……...58

Figura 3.9 Índice de Solubilidad en Agua Primer Perfil de Temperatura……59

Figura 3.10 Poder de hinchamiento Primer Perfil de Temperatura……..61

Figura 3.11 Poder de Hinchamiento Segundo Perfil de Temperatura……..62

Figura 3.12 Flujo del Proceso de Obtención del la Harina Pre-Cocida Base para la Elaboración de Falafel……...68

Figura 3.13 Balance de Masa del Proceso……69

Figura 3.14 Punto de Equilibrio……81

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I
Métodos de Determinación de Fitatos por Intercambio Aniónico……..……93

ANEXO II
Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA), Poder de Hinchamiento (PH)..…….…….....98

ANEXO III
Grado de Gelatinización.……101

ANEXO IV
Determinación de Inhibidores de Tripsina……...103

ANEXO V
Costo Terreno y Construcción…….…….…...…106

ANEXO VI
Maquinaria y Equipo……107

ANEXO VII
Otros Activos……...…108

ANEXO VIII
Materiales Directos……..……109

ANEXO IX
Mano de Obra Directa……..…..…….……..……110

ANEXO X
Costo de Ventas…….……..…111

ANEXO XI
Gastos de Administración y Generales ……..…….……....112

ABREVIATURAS

Kg	Kilogramo
G	Gramo
Mg	Miligramo
M	Molaridad
N	Normalidad
M	Metro
Cm	Centímetro
Mm	Milímetro
m^2	metro cuadrado
m^3	metro cúbico
L	Litros
Gal	Galón
S	Segundo
Min	Minuto
°C	Grado Centígrado
°K	Grados Kelvin
kJ	Kilo julio
BTU	British Termal Unit
UFH	Unidades Formadoras de Colonia
USD	Dólares
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
Tg	Temperatura de Transición Vítrea
Tm	Temperatura de fusión

kDa	Kilodalton
kw	Kilowatio
N	Newton
RPM	Revoluciones Por Minuto
N	Número de muestras
SD	Desviación estándar
%	Porcentaje

1 PARTE TEÓRICA

1.1 EL GARBANZO

1.1.1 GENERALIDADES

Las leguminosas constituyen una fuente muy importante desde el punto de vista socio-económico.

El garbanzo es un recurso nutricional importante en la dieta de numerosos países en desarrollo, debido a que es una importante fuente de proteínas, carbohidratos, vitaminas, lípidos y minerales. Sin embargo el garbanzo posee atributos indeseables como largos periodos de cocción, inhibidores enzimáticos, cianógenos y fitatos que deben ser reducidos y/o eliminados antes de su consumo ya que no permiten una adecuada asimilación de los nutrientes (Brenes y Brenes, 1 993).

1.1.1.1 Origen

El origen del cultivo del garbanzo se origina en el Suroeste de Turquía, desde allí se extendió muy pronto hacia Europa en especial a la región mediterránea, más tarde a África fundamentalmente Etiopía y América a países como Canadá, México, Argentina y Chile (Infoagro, 2 002).

1.1.1.2 Características Botánicas.

El garbanzo (*Cicer arietinum*) pertenece a la familia *Fabaceae,* es una planta anual diploide, con un número cromosómico de 2n=16. El sistema de reproducción es fundamentalmente la autogamia, situándose el nivel de alogamia en torno al 1%. La planta puede alcanzar una altura de 60 cm (Saxena *et al.*, 1 996).

1.1.1.3 Sistema de Raíces

La planta del garbanzo desarrolla un sistema vigoroso de raíces posee una raíz pivotante normalmente alcanza entre 40 cm y 50 cm de profundidad con un máximo de un metro bajo condiciones óptimas. El sistema radical presenta cuatro filas de raíces laterales las cuales no son muy numerosas, pero tienen una estructura firme y varias capas de corteza secundaria que ayudan a la planta a tolerar la sequía (Saxena *et al*., 1 996).

1.1.1.4 Tallo Principal y Ramas

La planta presenta un tallo principal del cual se originan ramas primarias que se desarrollan en un periodo de 3 a 4 semanas, una vez emergida la planta, éstas a su vez producen ramas secundarias las que dependiendo fundamentalmente de la pluviometría y de la fertilidad del suelo pueden generar ramas terciarias siendo las ramas basales las más productivas. El tallo principal es erecto, piloso, con la colénquima muy desarrollada y la cutícula bastante gruesa (Saxena *et al.*, 1 996).

1.1.1.5 Hojas

Las hojas son compuestas generalmente imparipinadas, alternas sin zarcillos y rígidas, las primeras hojas del tallo principal presentan de 7 a 11 folíolos incrementándose paulatinamente el número de éstos hasta llegar a un máximo de 15.

Los folíolos al igual que los tallos presentan abundante pilosidad, esta es una característica muy importante ya que los pelos con la secreción de una solución acuosa compuesta principalmente por ácido málico (90 a 96 %) y oxálico (4 a 9 %) colectan humedad ambiental esto ayuda de manera significativa a que las plantas

mantengan su contenido hídrico y soporten en mejor forma los déficit de humedad (Fenalce, 2 005).

1.1.1.6 Etapa de Floración

El tallo emite una cantidad superior a 15 nudos vegetativos antes de dar comienzo a su floración. Esta etapa comprende desde la iniciación y desarrollo de las yemas a florales hasta la apertura de las mismas.

La presencia de cada nueva flor implica la elongación de una porción de un tallo y el desarrollo de una nueva hoja esto indica que las plantas luego de iniciar su floración continúan con un gran crecimiento vegetativo. Todas las flores y por ende las vainas se producen en la mitad superior de las plantas. El proceso de polinización se realiza cuando las flores aún se encuentran cerradas obteniéndose prácticamente un 100 % de autofecundación (Saxena *et al.*, 1 996).

1.1.1.7 Las Flores

Las flores son papilionáceas, pequeñas y se ubican sobre pedúnculos muy cortos que pueden medir de 6 mm a 13 mm de largo, éstos nacen en las axilas de las hojas ubicadas en los nudos reproductivos, si bien pueden producirse hasta dos flores por nudo lo normal es que se produzca solamente una.

La corola es generalmente blanca en las plantas de tipo Kabuli y púrpura en las de tipo Deshi. Las primeras flores desarrolladas por las plantas llamadas seudo-flores o flores falsas, suelen ser imperfectas y no llegan a producir vainas. La mayor parte de las flores producidas tardíamente en la parte más alta de los tallos sufre abscisión de producirse vainas éstas quedarán vanas o producirán semillas de menor tamaño. Estos problemas pueden producirse cuando se presenta un déficit hídrico durante la etapa reproductiva, puede agudizarse y hacerse extensivos a muchas otras flores y

vainas de expresión más temprana. En cualquier caso el porcentaje de abscisión en garbanzo es bastante alto, alcanzando un promedio entre 65% y 75 %, con valores ligeramente más altos para los cultivares del tipo Deshi (Fenalce, 2 005).

1.1.1.8 Vainas

Las vainas o legumbres corresponden a frutos oblongos, globosos, pubescentes y puntiagudos, miden aproximadamente 1 cm de ancho y 2,5 a 3,0 cm de largo, siendo de color verde durante casi todo su desarrollo. Al acercarse al estado de madurez fisiológica adquieren un color verde limón, el cual evoluciona a amarillo después de algunos días; en la medida que las vainas se aproximan a la madurez de cosecha van deshidratándose y adquiriendo un color y aspecto abarquillado.

Normalmente las vainas contienen una a dos semillas en su interior aunque existen genotipos que pueden presentar hasta tres semillas por vaina (Fenalce, 2 005).

1.1.1.9 Semillas

Las semillas pueden ser de forma globosa o bilobular, son en general puntiagudas mostrando un pico característico recto o curvado en el sector en que se proyecta la aparición de la radícula. La superficie de la semilla es en general arrugada y su color puede ser blanco, crema, amarillento, anaranjado, café, rojizo o negro pudiendo encontrarse distintas tonalidades dentro de cada color. El peso de las semillas es muy variable 8 a 70 g por cada 100 unidades, los valores más bajos dentro del rango señalado se presenta en las semillas de garbanzo tipo Deshi (Fenalce, 2 005).

Existen 3 tipos de garbanzos, que corresponden fundamentalmente a diferencias en el tamaño, forma y coloración de las semillas.

- Tipo KABULI, tamaño del garbanzo medio a grande, redondeados y arrugados, color claro y flores no pigmentadas. Su cultivo se localiza en la región mediterránea, América Central y América del Sur.
- Tipo DESI, grano de tamaño pequeño, formas angulares y color amarillo o negro. Las flores y los tallos son generalmente pigmentados y en algunas ocasiones también las hojas. Se cultivan principalmente en la India.
- Tipo GULABI, grano de medio a pequeño tamaño, liso, redondeado y de color claro (Brenes y Brenes, 1 993).

1.1.2 ASPECTOS AGROECOLÓGICOS

1.1.2.1 Exigencias Edafo-climáticas

El garbanzo es una planta resistente a la sequía aunque crece con la humedad acumulada en el suelo de la lluvia caída previamente, el grano responde positivamente a un riego suplementario ya que en general mejora la nodulación e incrementa el rendimiento y el número de vainas.

El garbanzo a partir de 10 ºC es capaz de germinar, aunque la temperatura óptima de germinación oscila entre 25-35 ºC. Si las temperaturas son más bajas se incrementa el tiempo de la germinación (García *et al.*, 2 007).

Con respecto al suelo, es prefiere los suelos silíceo-arcillosas o limo-arcillosas que no contengan yeso. Cuando hay un exceso de arcilla suele producir una bastez en la piel de la semilla. Cuando el terreno es rico en yeso el garbanzo obtenido es de mala calidad brindando malas condiciones a la cocción. Si la tierra tiene materia orgánica sin descomponer el cultivo también se ve perjudicado. La mejor época de cultivo suelen coincidir cuando ha sido un año poco lluvioso.

Prefieren los suelos labrados en profundidad, pues su sistema radicular está muy bien desarrollado y es muy resistente a la sequia (Infoagro, 2 002).

Conviene no repetir su cultivo sobre el terreno por lo menos hasta que pasen cuatro años. Se debe evitar los lugares donde se acumula la humedad. El garbanzo es sensible a la salinidad tanto del suelo como del agua de riego. Los suelos cuanto más aireados mejor. El pH ideal está entre 6 y 9, aunque parece ser que cuanto más ácido sea el suelo mayores problemas de Fusarium pueden aparecer (García *et al*., 2 007).

1.1.3 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

La importancia nutricional del garbanzo ha hecho que este producto pase a formar parte de la dieta básica en numerosos países, de manera general se puede afirmar que el garbanzo es una fuente importante de carbohidratos y proteínas; constituyendo el 80% del peso seco de la semilla, sin embargo que su aceptabilidad se ve afectada por la presencia de factores anti-nutricionales (Clemente, 1 992).

1.1.3.1 Almidón

El almidón es el principal componente de la semilla del garbanzo aproximadamente entre el 30 % al 50 %. Almidón que se constituye (20 % a 30 %) de amilosa, y el resto es constituido por amilopectina (Lineback, 1 982).

1.1.3.2 Proteína

El contenido de proteína está entre el 14 % y 30 %, esto depende de la variedad y factores medioambientales. Las globulinas constituyen la fracción mayoritaria en los cotiledones de la planta, las albuminas se encuentran constituidas principalmente por

enzimas y factores anti-nutricionales (Lectinas e inhibidores de proteasas) (Clemente, 1 992).

1.1.3.3 Fibra

El contenido de fibra es elevado (5 % - 19 %) mayor que otras leguminosas, siendo sus componentes mayoritarios la celulosa y la hemi-celulosa. La fibra presente en el garbanzo se encuentra principalmente en su cubierta seminal, la cual constituye el 80 % de la fibra total de la semilla (Clemente, 1 992).

1.1.3.4 Lípidos

El contenido de lípidos totales de la semilla del garbanzo aproximadamente se encuentra entre el 3 % y 7 %; constituyen un grupo heterogéneo que incluye ácidos grasos libres di y tri glicéridos, fosfolípidos, esteroles, glucolípidos y lipoproteínas. Siendo los compuestos mayoritarios de los lípidos en la semilla los triglicéridos y fosfolípidos, los principales ácidos grasos son linoleico, oleico y palmítico (Ghirardi *et al.*, 1 974).

1.1.3.5 Minerales

El garbanzo es una excelente fuente de minerales como: calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), hierro (Fe) y potasio (K), siendo el hierro el mineral con la mayor bio-disponibilidad (91 %) con respecto otras leguminosas (Clemente, 1 992).

Tabla 1.1 Composición Nutricional del Garbanzo por 100 g.

Proteínas (g)	Lípidos (g)	kcal	Hidratos de carbono (g)	Fibra (g)	Fósforo (mg)	Magnesio (mg)	Potasio (mg)	Sodio (mg)
20,4	5,0	335,0	55,0	15,0	375,0	160,0	800	30,0

(Infoagro, 2 002)

1.1.4 IMPORTANCIA ECONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Más de 10 millones de hectáreas de garbanzo son las que se siembran en el mundo, aproximadamente 7 millones se cultivan en la India seguido de Pakistán y Turquía. En Latinoamérica la mayoría del cultivo se produce en México, Perú, Chile y Argentina con un importante crecimiento en Canadá.

Tabla 1.2 Producción Mundial de Garbanzo.

PAÍSES	**PRODUCCIÓN AÑO 2 001 (millones de toneladas)**
India	3 870 000
Turquía	540 000
Pakistán	387 100
México	200 000
Irán	158 000
Etiopía	135 000
España	50 300
Egipto	15 315
Nepal	12 148
Italia	4 703
Perú	4 500
Chile	3 689
Portugal	1 500
Argentina	1 200

(Marginet, 2 002)

1.1.4.1 Comercio mundial

El comercio mundial del garbanzo está alrededor de las 500 000 toneladas, registrando grandes fluctuaciones de año a año, en función de la producción de India y Pakistán.

Los principales países exportadores suelen ser grandes productores cuyo consumo interno es muy bajo, la participación de cada uno es muy variable a lo largo de los años. El mayor vendedor mundial es Australia con volúmenes que oscilan entre 130 000 y 380 000 toneladas, seguido en importancia Canadá, México y Turquía. Australia y Canadá cuenta con programas de mejoramiento genético del grano en el aspecto productivo y en las características culinarias, esta inversión en mejorar la genética les otorga alta competitividad. Se destaca Canadá ya que ingresó en el comercio mundial en 1 990 y en el periodo de diez años llegó a ser el segundo país exportador del mundo. España es el principal importador del planeta, así como también Jordania y Bangladesh siendo el principal producto comercializado el garbanzo seco y entero (Marginet, 2 002).

1.1.4.2 Consumo internacional

El mercado internacional de garbanzo es considerado un mercado de autoconsumo los principales países consumidores son también los principales productores como India y Pakistán. El consumo en India oscila en torno a las 7 millones de toneladas anuales. Por malas condiciones climáticas India se transforma en el principal importador. Por ejemplo en el 2 001, para satisfacer su demanda interna importó 516 000 Toneladas, lo que representó el 50 % del total de las exportaciones.

El consumo mundial de garbanzos se realiza de dos formas bien definidas y diferentes: como semilla en las en naciones de tradición cristiana, y como harina en las naciones de tradición musulmana (judía e hindú). En los países de origen

cristiano la demanda es estacional se consume generalmente en invierno y durante las celebraciones religiosas de Pascua.

España es uno de los principales consumidores de garbanzo entero, también existe un importante el consumo en Italia y Grecia.

En los países de Medio y Lejano Oriente la demanda es bastante estable a lo largo del año porque la harina de garbanzos forma parte de la dieta diaria de la población (Marginet, 2 008).

1.2 FACTORES ANTI-NUTRICIONALES

Los Factores Anti-nutricionales son sustancias naturales generadas por el metabolismo secundario de las plantas por lo general como un mecanismo de defensa ante el ataque de mohos, bacterias, insectos y animales, o en algunos casos productos del metabolismo de las plantas sometidas a condiciones de estrés. Los cuales al estar presentes en los alimentos ejercen efectos contrarios a su óptima nutrición, reduciendo el consumo e impidiendo la digestión, la absorción y la utilización de nutrientes. Su naturaleza, mecanismos de acción y potencia de sus efectos son muy variados y tienen una amplia distribución en el reino vegetal (Tacon, 1 995).

El garbanzo al igual que otras semillas, contiene diversas sustancias que afectan su calidad nutricional, dichas sustancias son conocidas como factores anti-nutricionales.

En el garbanzo destaca la presencia de inhibidores de proteasas y amilasas, oligosacáridos, polifenoles, lectinas y ácido fítico (Tacon, 1 995).

1.2.1 ÁCIDO FÍTICO

El ácido fítico (*mio-inositol 1,2,3,4,5,6-hexafosfato)* y sus sales constituyen la principal forma de almacenamiento de fósforo (P) en semillas de cereales y leguminosas (entre el 60 % y el 90 %) (Graf, 1 986); el cual se acumula rápidamente en el periodo de maduración.

Se le atribuye tres roles fisiológicos importantes en las semillas (Chichester, 1 982).

1.- Almacenamiento de Fosforo (P).
2.- Almacenamiento de Energía.
3.- Inicio de Dormancia.

El Ácido Fítico se localiza en las semillas nomocotiledoneas en su capa externa llamada aureola, y en las semillas dicotiledoneas se ubica en sus células globoides dentro de los cotiledones (Chichester, 1 982).

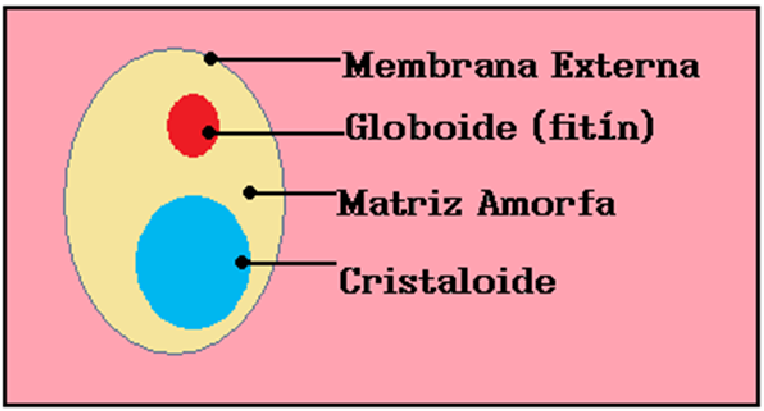


Figura 1.1 Estructura de una Proteína con dos Clases de Inclusiones Dentro del Endosperma.
(Chichester, 1 982)

La estructura del Ácido Fítico se representa en la siguiente figura.

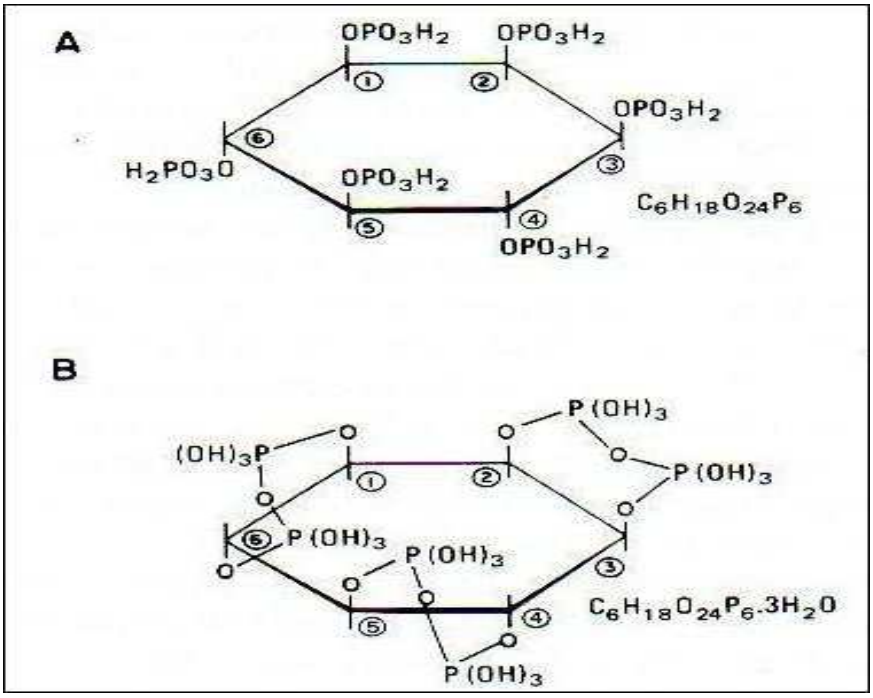


Figura 1.2 Estructura del Acido Fítico (A) Quelado (B) a pH Neutro.

(Chichester, 1 982)

Sin embargo, en esta forma el Fósforo permanece no disponible para el hombre y animales mono-gástricos debido a que éstos no están provistos de suficiente actividad de fosfatasas endógenas (fitasas), que sean capaces de liberar el grupo fosfato de la estructura del Ácido Fítico.

El Ácido Fítico es además un compuesto con actividad anti-nutricional, debido a su capacidad de formar complejos insolubles con minerales divalentes y proteínas convirtiéndolos en no asimilables por el organismo bajo condiciones fisiológicas. (Tacon, 1 995).

1.2.1.1 Fitasa

La fitasa (Meso-inositol hexafosfato fosfohidrolasa) es una fosfomonoesterasa presente en plantas y en animales, actúa sobre el inositol hexafosfato obteniendo ortofosfato y algunos ésteres más bajos de myo-inosito (penta a monofosfatos) y en algunos casos myo-inositol libre. La fitasa presentes en las semillas incrementa su actividad durante la germinación. El modo de acción de la fitasa sobre el ácido fítico ocurre en una serie de pasos que empieza con la desfosforilación de la posición 6 seguido de la separación del fosforo de la posición 5, 4,1 y 3 o 1 y 4 siendo el fosfato en posición 2 el más estable (Chichester, 1 982).

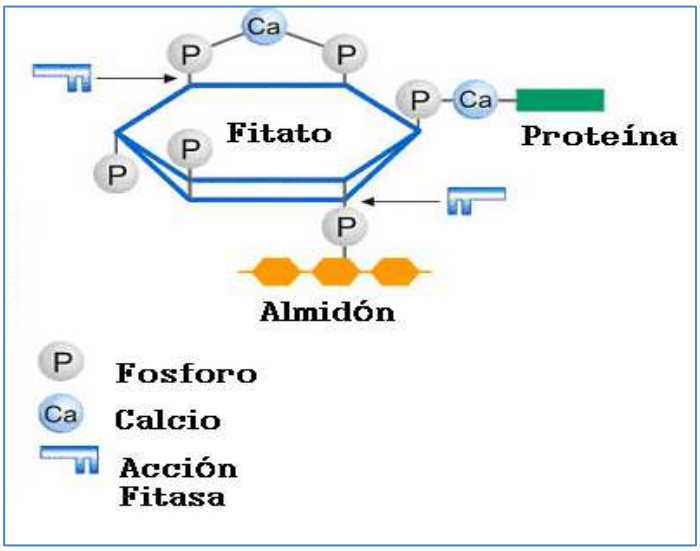


Figura 1.3 Acción de la Enzima Fitasa sobre el Fitato.
(Enzymeindia, 2 007)

El pH y la temperatura óptima para la activación enzimática de enzima en algunos cereales y leguminosas se encuentra entre el rango (5 – 7.5) y la temperatura se encuentra en un rango de 45 ºC a 60 ºC (Chichester, 1 982).

Tabla 1.3 pH y Temperatura para la Activación Enzimática en ciertos Cereales y Leguminosas.

Producto	**pH Óptimo**	**Temperatura (ºC)**
Maíz	5.60	50
Harina de Trigo	5.15	55
Salvado de Trigo	5.00	-
Partículas de Aleurona de Arroz	4.0 – 5.0	45
Frejol Azul	5.3	50
Frejol Blanco	5.2	60
Frejol Verde	7.5	57

(Chichester, 1 982)

1.2.2 INHIBIDORES DE PROTEASAS

Los inhibidores de proteasas son moléculas proteicas que tienen la capacidad de formar complejos proteína-proteína con las enzimas digestivas inhibiendo de forma competitiva su actividad catalítica.

Estudios realizados demuestran que los inhibidores de proteasas inhiben la actividad *in vitro* de las enzimas digestivas tripsina y quimo-tripsina humana, afectando la digestibilidad proteica de las semillas y su calidad.

Además pueden ser causantes de retardo en el crecimiento de animales y humanos, también se le atribuye ser el causante de hipertrofia e hiperplasia pancreática (Keshun, 1 999).

Los inhibidores de proteasas presentes en las semillas de las oleaginosas pueden ser clasificados en dos grupos; las de peso molecular entre 20-25 KDa, presentan especificidad por la tripsina, y las de peso entre 8-10 KDa son capaces de inhibir a las proteasas tripsina y quimo-tripsina en su centro activo. Los inhibidores más

característicos y estudiados de las dos categorías son los inhibidores de Kunitz y de Bowman-Birk respectivamente, los cuales forman un complejo equimolecular inactivo con la tripsina (Richardson, 1 991).

Para la inactivación de los inhibidores de proteasas se ha realizado varios planteamientos basados en largos tratamientos a altas temperaturas, tratamientos con vapor, cocción, tostado, radiación de microondas y extrusión. Adicionalmente, si al tratamiento térmico se le adiciona condiciones de humedad durante el proceso tiene un significativo efecto en la eficiencia en la inactivación del inhibidor de tripsina (Keshun, 1 999).

La actividad inhibidora de tripsina en la semilla de garbanzo presenta grandes variaciones en sus niveles de inhibición, además que muestra un menor contenido de inhibidores de tripsina respecto a otras leguminosas de grano (Keshun, 1 999).

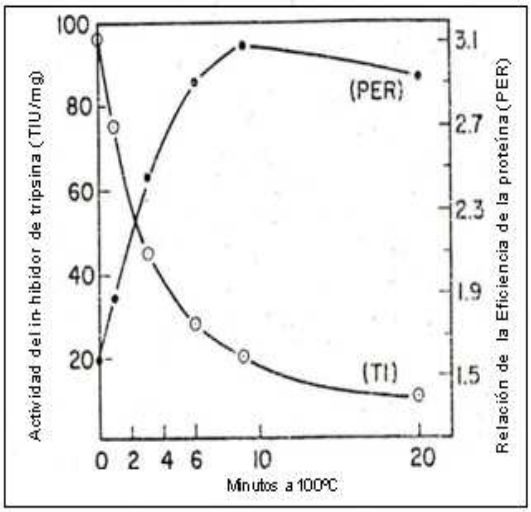


Figura 1.4 Efecto del Tratamiento Térmico Sobre Inhibidores de Tripsina y la Eficiencia de la Relación de Proteína (PER).
(Keshun, 1 999)

1.3 EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso de cocción, el cual se lleva acabo a temperaturas entre 150 ºC a 200 ºC y tiempos de residencia relativamente cortos (HTST). Al tener un proceso (HTST) se protege muy bien el sabor y los nutrientes además que permite la inactivación de enzimas al mismo tiempo microorganismos y factores anti-nutricionales termolábiles son eliminados, razón por la cual es ampliamente utilizado en la industria alimenticia.

Presenta varias ventajas sobre otros procesos debido a que es un proceso continuo con altos rendimientos y alta eficiencia energética. Su versatilidad que al usar diferentes tipos de ingredientes mejoran su textura y sabor; se puede efectuar diferentes operaciones como cocción, formación, texturización y deshidratación, además que brinda un absoluto control de la temperatura y textura (Harper y Mercier, 1 989).

1.3.1 COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO DE UN EXTRUSOR

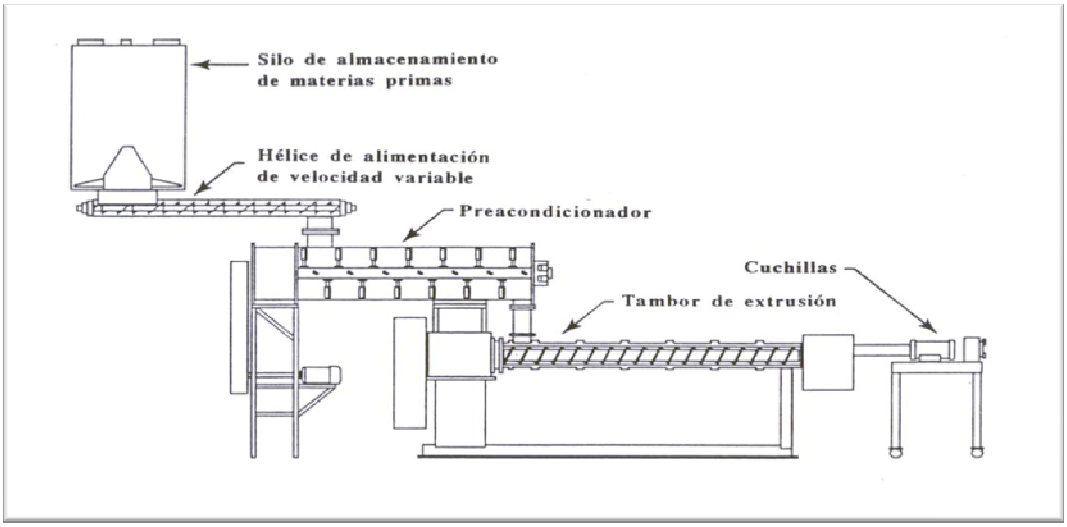


Figura 1.5 Componentes de un Extrusor.
(Harper y Mercier, 1 989)

El pre-acondicionador fundamentalmente actúa como una mezcladora ya que da lugar a que el vapor y el agua se mezclen con los ingredientes secos que van a ser procesados por el extrusor. Los objetivos principales del pre-acondicionamiento es humedecer, pre-calentar para tener bajas fuerzas de corte al inicio del proceso y finalmente lograr la uniformidad del producto para obtener un proceso continuo y homogéneo (Polit *et al.*, 1 992).

El tornillo del extrusor consta de tres secciones: la zona de transporte de sólidos donde el producto es receptado y transportado hacia la zona de compresión donde es precalentado a temperatura de fusión al mismo tiempo que se aplica una presión creciente llegando a la fusión del producto (masa gelatinizada), y por último la zonas del dado donde la presión incrementa y el producto es homogenizado (Harper y Mercier, 1 989).

La relación de la presión que existe a largo del tornillo, es la relación entre los volúmenes que hay en los dos extremos del tornillo. El Tornillo es movido por un motor, cuya energía mecánica es transformada en su mayor parte en calor que se transmite al producto en algunos casos se tiene un sistema de transferencia de calor adicional generalmente por camisas de vapor a lo largo del barril si el proceso lo requiere (Harper y Mercier, 1 989).

Entonces las funciones principales del tornillo son: transportar, cortar o deslizar el producto y transformar la energía mecánica en calor que es transmitido al producto (Polit *et al*., 1 992).

1.3.2 CORTE O DESLIZAMIENTO

El producto presente en el canal del tornillo es sometido al corte, esto quiere decir que el producto se adhiere a la superficie del tornillo y del barril dándose el movimiento de uno respecto a otro.

Al gradiente de velocidad de cero en el barril al máximo en la superficie del tornillo las capas de producto se deslizan una sobre otra produciéndose el corte. La razón de corte es proporcional a la velocidad y diámetro del tornillo e inversamente proporcional a la profundidad del tornillo. El corte permite que el producto se estire acelerando la gelatinización de almidones, alinea las moléculas de cadena larga y puede des-polimeralizarlas causando dextrinización en el caso de almidones (Pazmiño, 2 005).

1.3.3 PRINCIPIOS FÍSICOS-QUÍMICOS DE LA EXTRUSIÓN

Las principales variables que se debe considerar en el proceso de extrusión son:
El efecto del calor con relación a los materiales que pasan por el tornillo (temperatura de transición vítrea Tg y temperatura de fusión Tf), el control en la humedad por su rol plastificante, el proceso de gelatinización de los almidones y a la denaturización de proteínas. (O´Connor, 1 987)

Los polímeros se pueden encontrar en dos estados importantes, las soluciones poliméricas que contienen agua y almidones y/o proteínas; y los productos fundidos los cuales al ser enfriados lentamente se produce un estado cristalino termodinámicamente estable o un estado vítreo característico de los líquidos sub-enfriados. Termodinámicamente lo que ocurre es que de un estado amorfo se transforma a un estado cristalino.

Para un almidón, cuando las temperaturas son muy bajas, se encuentra en el estado vítreo, cuando se supera la temperatura te transición vítrea el polímero empieza a adquirir movimiento al mismo tiempo que ocurre una caída en la viscosidad.

Cuando se tiene un polímero (proteína y/o almidón) que está bajo su temperatura de transición vítrea (Tg) es un sólido quebradizo, pero a medida que se empieza a calentar pasa por una región que se denomina cuerosa; empieza a agrandarse, para luego llegar a su temperatura de fusión (Tm) transformarse en una goma que se funde y fluye, y por último pasa a un estado cristalino. Proceso detallado en la figura 1.6.

El almidón está compuesto de dos polímeros, la amilosa que es un polímero lineal de glucosa de peso molecular relativamente bajo, presente aproximadamente en un 25 % del almidón total; y amilo-pectina es una molécula ramificada cuyo peso molecular es alto. El almidón se encuentra en una forma semi-cristalina lo que significa que una parte está en forma cristalina y otra en forma amorfa. La fracción cristalina varía según la el tipo de almidón entre el (15 % al 40 %) (Polit *et al*., 1 992).

Es importante entender estos conceptos, ya que, los cambios del estado de la materia ocurren dentro del extrusor, y son influyentes en los resultados de las propiedades funcionales del producto final.

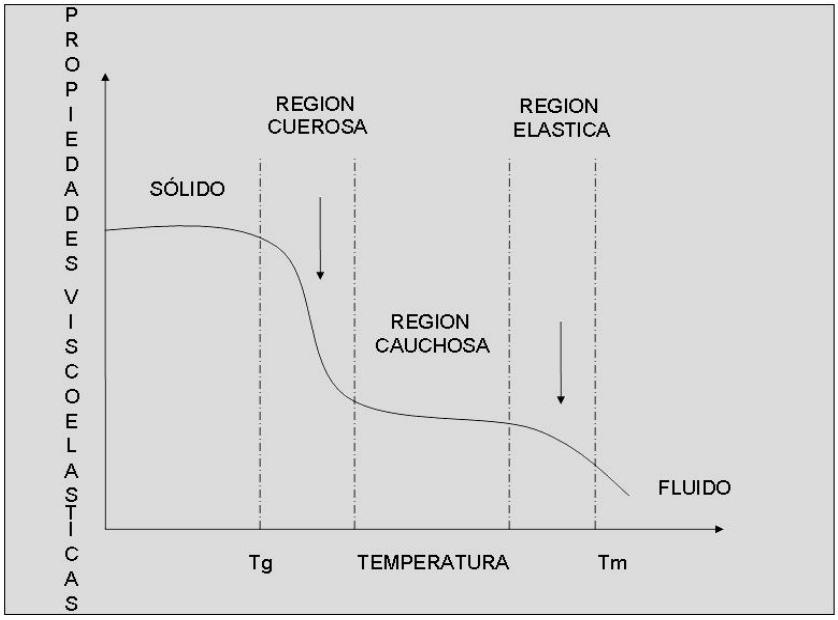


Figura 1.6 Muestra las Características de los Estados de la Materia en Función a la Temperatura.
(Polit *et al.*, 1 992)

Es importante destacar el rol que juega el agua en el proceso, ya que puede bajar la temperatura de transición vítrea.

A medida que se incorpora agua al proceso de extrusión la temperatura de transición vítrea baja y se puede llegar a la temperatura ambiente, es decir, con poco calor se puede llegar fácilmente a la Tg, ampliando la posibilidad de que el material llegue a la región cauchosa (Polit *et al.*, 1 992).

1.3.4 MODIFICACIONES DE ESTRUCTURAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE ALMIDONES Y PROTEÍNA

1.3.4.1 Proteínas

Las proteínas son secuencias de aminoácidos en forma globular, las cuales pueden ordenarse en distintos niveles, una parte puede estar enrollada en forma de hélice y otras partes pueden estar en forma de una lámina plegada.

El objetivo de la extrusión es cambiar significativamente la estructura enrollada de la proteína (estructura terciaria) por acción del esfuerzo de corte y la temperatura. Esto quiere decir que algunos enlaces serán rotos incluidos puentes de hidrógeno, durante el desdoblamiento a su vez nuevos enlaces serán formados. De esta manera se forman fibras lineales más o menos entrelazados responsables de la consistencia del producto, a este proceso de lo denomina texturización (Pilosof, 2 000).

Para que este proceso se desarrolle se debe llegar a la temperatura de denaturación de las proteínas (70 ºC a 90 ºC), siendo parte del proceso reversible pero se puede llegar a un punto donde el proceso se transforma en irreversible (O´Connor, 1 987).
Es importante saber que el agua juega un papel muy importante ya que a medida que aumenta la cantidad, disminuye la temperatura de denaturación (Polit *et al.,* 1 992).

Tabla 1.4 Temperatura de Denaturación de Proteínas y Concentración de Humedad.

Proteína	**Humedad (%)**	**Temperatura de Denaturación**
Mioglobina	2.3	122
	9.5	89
	15.6	82
	20.6	79
	35.2	75
Harina de Soya	10	115
	20	109
	30	102
	40	97
	50	89

(Polit *et al*, 1 992)

1.3.4.2 Almidones

Los almidones nativos tienen una composición heterogénea por lo menos de dos distintos polímeros de glucosa. La amilosa la cual es un polímero lineal de peso molecular relativamente bajo normalmente representa el 25 % del almidón total. La amilopectina, una molécula ramificada con un peso molecular relativamente alto (Harper y Mercier, 1 989).

Los almidones no cambian su estructura química durante el proceso de extrusión, sin que existan nuevas conformaciones estructurales a pesar de las altas condiciones de temperatura. Pero se puede perder cantidades relativas de maltosa y sacarosa, incrementándose la glucosa y fructosa, atribuido a la reacción de Maillard (O´Connor, 1 987).

La modificación de los almidones ocurre con la alteración de las paredes celulares de los gránulos de almidón, el hinchamiento de los gránulos que contiene amilosa y amilopectina, ocurre debido a la absorción de agua y a la acción de la temperatura, lo cual da lugar a la gelatinización de los almidones, la disminución del peso molecular de las partículas se debe a la facilidad con la que la amilosa se vuelve soluble, bajo la fuerza de corte y el tratamiento térmico (dextrinización) en los productos extruidos (O´Connor, 1 987).

La gelatinización de los almidones ocurre cuando el porcentaje de agua sube al 73 %, y es importante saber que el contenido de agua juega un papel importante en temperatura de gelatinización (Polit *et al*., 1 992).

Tabla 1.5 Temperatura de Gelatinización de Almidones.

Origen del Almidón	Temperatura de Gelatinización
Maíz	62 - 72 °C
Papas	56 - 66 °C
Trigo	52 - 63 °C
Arroz	61 - 78 °C
Tapioca	58 - 70 °C

(O´Connor, 1 987)

A medida que se aumenta la energía mecánica y la temperatura, el peso molecular decrece, debido a que las moléculas se rompen, lo que conduce a otro fenómeno llamado dextrinización de los almidones (Polit *et al.,* 1 992).

Las dextrinas provienen de almidones que han sido calentados en un medio con baja humedad, y como el resultado del proceso hidrotérmico se obtienen moléculas cortas, solubles llamadas dextrinas (Ruales, 1 996).

1.3.5 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

1.3.5.1 Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH)

Las propiedades funcionales del almidón son la capacidad de absorción de agua del gránulo de almidón, y la exudación de fracciones de almidón, a medida que se incrementa la temperatura del medio circundante (Anderson, 1 969).

El índice de solubilidad y absorción de agua se puede usar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos térmicos.

Figura1.7 Flujograma de Análisis de IAA, PI, ISA.
(Polit *et al*, 1 992)

1.3.6 CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido es una técnica termo-analítica que se usa para monitorear los cambios en la energía térmica asociados con las transformaciones físicas y químicas de los materiales como función de la temperatura. Por ejemplo, transiciones de una estructura cristalina a una estructura amorfa en una sólida o reacciones químicas ya que en ambas transformaciones el calor es liberado o absorbido. En tecnología de alimentos existen numerosos ejemplos en los cuales algunas sustancias experimentan cambios físicos y/o químicos cuando se les

suministra o extrae calor como: cambios de fase en agua, grasas y lípidos, desnaturalización de proteínas y gelatinización de almidones.

En el caso de gelatinización de almidones se presenta como un proceso endotérmico, que se lo observa como un pico en la curva hacia arriba interpretado como la absorción de calor que faltaba para obtener el 100 % de gelatinización de almidones (Rodríguez *et al.*, 2 001).

1.4 PRODUCTOS A PARTIR DE GARBANZO

1.4.1 HARINA DE GARBANZO

A partir de la molienda del grano entero y descascarado se obtiene una harina de origen vegetal que desde el punto de vista nutricional es un alimento rico en proteína, hidratos de carbono, fibras, minerales y vitaminas. La harina de garbanzo se suele mezclar con harina blanca de trigo para dar ácimo al pan, o bien se emplea como ingrediente en productos de confitería.

Tabla 1. 6 Composición Nutricional de la Harina de Garbanzo.

Composición	**Valor**
Proteínas (%)	13.0
Grasas (%)	4.7
Hidratos de carbono (%)	67.2
Fibra cruda (%)	3.3
Calcio (%)	56.3
Sodio (mg)	12.4
Hierro (mg)	7.2
Valor energético (kcal)	359.5

(Infoagro, 2 002)

1.4.2 HARINA PRE-COCIDA DE GARBANZO

La harina pre-cocida que se elabora con garbanzos secos brevemente tostados y molidos es muy usada en varias recetas.

En India el harina es usada en la preparación de buñuelos fritos, pancakes, snacks condimentados, pakoras, en el medio oriente es usada para la elaboración de falafel, en Francia es usada para la elaboración de socca y pancakes, en Italia es especialmente usada en la elaboración de Panissa y Fainá (Practically Edible, 2 007).

1.4.3 FALAFEL

Figura 1.8 Croquetas de Falafel

El falafel o falafe es una croqueta de garbanzos y especias cuyo origen se remonta a los tiempos bíblicos; se originó en el subcontinente indio. Actualmente es uno de los principales alimentos en India, Pakistán y Oriente Medio. A pesar que su origen es incierto, se cree que es original de la India, donde se preparaba un pan con especias amargas.

Para la elaboración del falafel simplemente se remoja el grano en agua hasta que se ablanda, luego es triturado, opcionalmente se les puede retirar la piel, mezclado principalmente con perejil y ajo de esta manera se obtiene una pasta con la cual se hacen pequeñas bolas achatadas que se fríen en abundante aceite. En ocasiones puede utilizar harina de garbanzo. Hoy en día el falafel se puede comprar congelados en muchos establecimientos de Europa ya que el falafel de garbanzo se ha popularizado gracias a inmigrantes de esos países. Los israelíes han jugado un papel crucial en la popularización del falafel de garbanzo, especialmente en el área metropolitana de Nueva York, mientras que en Europa se ha popularizado gracias a las colonias de inmigrantes libaneses, turcos y kurdos (Baumler, 2 000).

2 METODOLOGÍA

2.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO TERMINADO

2.1.1 MATERIA PRIMA

Figura 2.1 Semillas Secas de Garbanzo.
(Infoagro, 2 002)

Se trabajó con la variedad de garbanzo Macarena (Kabuli), de la cual se tiene mayor disponibilidad en el mercado. El material es importado y distribuido por la empresa Granos del Campo (Quito).

Se tomó muestras de materia prima, las mismas que fueron molidas, congeladas, liofilizadas y almacenadas en congelación para los siguientes análisis: contenido de fitatos, inhibidores de tripsina y análisis proximal.

2.1.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA

Se realizó un análisis proximal utilizando los siguientes métodos:

- Contenido de Humedad.- Se analizó según el método AOAC 925.10. 2 007,
- Contenido de Ceniza.- Se analizó según el método AOAC923.03.2 007
- Contenido de Proteína.- Se analizó según el método AOAC2001.11. 2 007
- Contenido de Grasa.- Se analizó según el método AOAC920.85. 2 007
- Contenido de Fibra Cruda.- ICC-STD-113
- Contenido de carbohidratos Totales.- Se analizó según el método FAO, Food Energy Methods of Analysis and Conversion Factors. FAO FOOD AND NUTRITION PAPER Vol. 77.2 003.

%Carbohidratos Totales = 100 - %(Humedad + Grasa + Proteína + Ceniza)

- Valor Calórico.- Se analizó según el método FAO, Food Energy Methods of Analysis and Conversion Factors, FAO FOOD AND NUTRITION PAPER Vol. 77. 2 003.

Kcal/100 g = A+B+C

A= 4 kcal x %Carbohidratos totales
B= 9 kcal x % Grasa o Extracto Etéreo
C= 4 kcal x % Proteína

2.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO

Se realizó un análisis proximal similar al descrito anteriormente en el punto 2.1.2, variando en el método del contenido de grasa ya que se analizó mediante el método AOAC922.06. 2 007.

2.2 PROCESOS PREVIOS AL PROCESO DE EXTRUSIÓN

2.2.1 OBTENCIÓN DEL GRITZ DE GARBANZO

2.2.1.1 Desintegración

El grano de garbanzo fue sometido a un proceso de desintegración utilizando un desintegrador Ritz (General Electric, 5K184KK1300, U.S.A), en el cual el grano es partido a un tamaño de partícula de 3 mm a 5 mm de diámetro. A su vez se retira la testa del grano, para obtener una mezcla de gritz, harina y cascarilla (testa).

2.2.1.2 Tamizado

Se utilizó la máquina Seleccionadora Clasificadora (Bowermeister, BR12, No 30948), la cual presenta un juego de tamices con las siguientes dimensiones de diámetro: Ø1,5 mm, Ø3 mm, Ø5 mm. La mezcla se separó y clasificó en sus principales componentes.

Figura 2.2 Productos Resultante Después del Proceso de Tamizado.

2.2.2 BIOTRATAMIENTOS (INCUBACIÓN)

Para la degradación del contenido de fitatos mediante la activación enzimática de la fitasa se realizaron cuatro diferentes bio-tratamientos variando el tamaño de partícula condiciones de humedad del producto, pH y la aplicación de varias técnicas de incubación.

2.2.2.1 Incubación grano entero de garbanzo

Figura 2.3 Incubación a Condiciones Controladas en la Cámara SEMATEC.

Se acondicionó 3 kg de garbanzo (granos enteros) en remojó durante 1 hora a una temperatura de 60 ºC utilizando una marmita (Hamilton, 11861 Masteller road, U.S.A.), con una relación de agua 1:3 (grano; agua).

Se escurrió el exceso de agua e inmediatamente se colocó en bandejas dentro de la cámara de incubación (SEMATEC, RH y T Controller) a una humedad de entre 90 % y 96 % y una temperatura de entre 55 ºC y 60 ºC durante 24 horas. Se tomaron muestras cada dos horas.

Las muestras se etiquetaron, congelaron y deshidrataron en un liofilizador (LYOVAC, GT2), para luego almacenarse en congelación a una temperatura de -18 ºC para su posterior análisis de contenido de fitatos.

2.2.2.2 Incubación gritz y harina de garbanzo

Figura 2.4 Incubación de Gritz y Harina de Garbanzo a Condiciones Controladas de Temperatura y Humedad.

Se pesó 1 kg de gritz de garbanzo y se dispersó el producto en bandejas de acero inoxidable formando una capa uniforme con espesor aproximado de 2 cm. Se acondicionó el producto dentro de la cámara de incubación a condiciones de humedad de entre 90 % y 95 % y temperatura de entre 55 ºC y 60 ºC, durante 48 horas.

Se tomaron muestras cada 2 horas hasta cumplir 12 horas para, luego continuar tomando muestras cada 12 horas hasta cumplir un periodo de 48 horas, las muestras fueron etiquetadas y congeladas para luego ser liofilizadas y almacenadas en congelación, para su posterior análisis de contenido de fitatos.

Se aplicó el mismo proceso para 1 kg de harina cruda de garbanzo.

2.2.2.3 Incubación de gritz de garbanzo a un pH entre 4-5

Figura 2.5 Incubación a Condiciones Controladas pH 4-5.

Se pesó doce muestras de 50 g de gritz de garbanzo, se acondicionó en erlenmeyers de 125 ml, se agregó agua con una relación 1:1.5 (gritz; agua), se ajustó el pH de la mezcla con una solución de ácido cítrico hasta un pH de 4,5.

En un baño termostático (Precision Scientific, Modelo 25) a 60 ºC, se incubaron las muestras durante un periodo de 24 horas y se tomaron muestras cada hora durante todo el periodo, las mismas que fueron etiquetadas y deshidratadas por liofilización y luego almacenadas en congelación a una temperatura de -18 ºC para su posterior análisis de contenido de fitatos

2.2.2.4 Incubación del gritz de garbanzo a un pH entre 6-7

Figura 2.6 Incubación a Condiciones Controladas pH 6-7

Se pesaron 12 muestras de 50 g de gritz de garbanzo, las cuales fueron acondicionadas en erlenmeyers de 125 ml, se agregó agua a una relación 1:1.5 (gritz; agua), se ajustó el pH de las muestras a un pH 7 con una solución NaOH 0,01 N.

Se preparó el baño a 60 ºC y se incubaron las muestras durante un periodo de 12 horas. Se tomaron muestras cada hora las mismas que fueron etiquetadas y deshidratadas por liofilización y luego almacenadas en congelación a una temperatura de -18 ºC, para su posterior análisis de contenido fitatos.

2.2.3 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE FITATOS

Las muestras resultantes de cada ensayo luego de liofilizadas fueron molidas para la determinación del contenido de fitatos.

Las muestras fueron analizadas según el método Phytate in Foods Anion Exchange Method (AOAC Official Method 986.11. 2 007)

El análisis consistió en la extracción de fitatos de muestras por triplicado del producto analizado, las cuales fueron diluidas con HCl; el extracto se mezcló con una solución EDTA-NaOH, posteriormente cada muestra fue filtrada por la columna de intercambio iónico; los fitatos fueron extraídos de la columna con una solución 0.7 M de NaCl; a la solución resultante se la llevó a una digestión ácida, la cual se adicionó HNO_3-H_2SO_4 los cuales intervienen en la liberación del fosforo. Por último el contenido de fitatos se calculó como hexafosfato equivalente. El método es descrito en el Anexo I.

Se realizó una evaluación estadística de los resultados mediante un análisis de varianza ANOVA ONE WAY. Se determinó diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos de los bio-tratamientos para determinar el tratamiento con mayor grado de degradación de fitatos con respecto al tiempo para lo cual utilizó el programa STATGRAPHICS plus versión 5.1.para Windows.

2.2.4 PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA PREVIO AL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Una vez determinado y optimizado el Bio-tratamiento de incubación con el más alto rendimiento de degradación del contenido de fitatos, se procedió a la aplicación y preparación de materia prima a gran escala.

2.2.4.1 Incubación a un pH entre 6-7 para la obtención de materia prima

Figura 2.7 Incubación de Gritz de Garbanzo a Condiciones Controladas en la Cámara Sematec.

Se remojó 20 kg de gritz de garbanzo con una relación de agua 1: 1.5 (gritz; agua) durante un periodo de una hora.

El producto se dispersó en una capa uniforme con un espesor de 2 cm en bandejas de acero inoxidable.

Las bandejas fueron acondicionadas dentro de la cámara de incubación durante un periodo de 9 horas a una temperatura de entre 55 ºC - 60 ºC y una humedad de entre 90 % - 96 %.

2.2.4.2 Determinación del contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad de las muestras después del tratamiento de incubación según el método AOAC 925.10. 2 007, usando una estufa (Memmert, Tipo UM200, B292) a 130 ºC durante una hora.

2.2.4.3 Secado

Figura 2.8 Secado del Gritz de Garbanzo Mediante un Secador de Bandas.

La muestra resultante del proceso de incubación, finalizó con un contenido de humedad (65 %), por lo cual se procedió a secar mediante la utilización del Secador de Banda (Wenger, Modelo No 73002-786, Serie 8302-8630, U.S.A.).

Se pesó 10 kg de muestra la cual fue acondicionada en el secador a 70 ºC con un flujo de aire continuo durante un periodo de 3 horas, hasta que el producto presentó un contenido de humedad del 20 %.

Se tomaron muestras cada 20 minutos durante el periodo de secado, para el análisis de la cinética de secado.

2.2.4.4 Acondicionamiento de las muestras

Previo al proceso de extrusión, seis muestras fueron acondicionadas con diferente contenido de humedad ilustradas en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Contenido de Humedad de Acondicionamiento.

Muestras	Humedad (%)
A1	20
A2	25
A3	30
B1	20
B2	25
B3	30

Se pesó 4 kg de gritz de garbanzo por cada muestra, y se adicionó suficiente cantidad de agua para obtener las humedades establecidas para el proceso de extrusión.

Se homogenizó la muestra usando una mezcladora (Cripto Peerlees, modelo EC30, Serie 160785) hasta obtener una mezcla húmeda homogénea.

Las muestras fueron empacadas en fundas de polietileno y almacenadas en la cámara de refrigeración a una temperatura de 4 ºC durante un periodo de acondicionamiento de 24 horas para que el contenido de humedad sea homogéneo en la superficie y en el centro del gritz de garbanzo.

2.3 OBTENCIÓN DE HARINA PRE-COCIDA DE GARBANZO POR EXTRUSIÓN

Figura 2.9 Proceso de Extrusión y Obtención del Producto

Previo a la aplicación del proceso de extrusión se realizaron pruebas preliminares de extrusión, mediante las cuales se determinaron los parámetros importantes como: el rango de temperatura, el tipo de tornillo, el tamaño de boquilla, y la velocidad del tornillo, en función de las propiedades funcionales y el grado de gelatinización de almidones que se deseaba obtener en el producto final.

Se decidió trabajar con dos perfiles de temperatura:

- T1 (65 ºC-100 ºC-135 ºC)
- T2 (80 ºC-115 ºC-150 ºC)

Se eligió el tornillo número 2, ya que brindó fuerzas relativamente bajas de corte y transición de energía; con el mismo concepto se eligió la boquilla número 3 debido a

que no se requiere alta presión en el dado del extrusor y un producto expandido.

El proceso de extrusión se realizó en un extrusor (BRABENDER DISBURG, N1280504, Tipo 825602)

En la Tabla 2.3 se presenta los valores de las variables aplicadas durante el proceso de extrusión.

Tabla 2.2 Variables del Proceso de Extrusión.

Muestra	Temperatura	Humedad Muestras (%)	Número De Tornillo	Boquilla
A1	65ºC-100ºC-135ºC	20	2	3
A2	65ºC-100ºC-135ºC	25	2	3
A3	65ºC-100ºC-135ºC	30	2	3
B1	80 ºC-115 ºC-150 ºC	20	2	3
B2	80 ºC-115 ºC-150 ºC	25	2	3
B3	80 ºC-115 ºC-150 ºC	30	2	3

Después de realizado el proceso de extrusión, el producto fue acondicionado en la Estufa (Selecta) a 60 ºC, durante una hora.

Se determinó el contenido de humedad de las muestras de acuerdo con el método AOAC 925.10.2 007.

2.3.1 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

Después del proceso de extrusión se realizaron pruebas funcionales como: Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH) según el método descrito por Anderson y col. (1 969).

Se determinó la capacidad de absorción de agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón, a medida que se incrementó la temperatura y el esfuerzo mecánico en las diferentes pruebas extruidas. El método es descrito en el Anexo II.

Se realizó una evaluación estadística de los resultados mediante un análisis de varianza ANOVA ONE WAY, se determinó diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos para la determinación de los perfiles de temperatura y humedad para lo cual utilizó el programa STATGRAPHICS plus versión 5.1.para Windows.

2.3.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE GELATINIZACIÓN (DSC)

Se utilizó el método Ruales y Nair, (1 994). Properties of starch and dietary fiber in raw and processed quinoa (Chenopodium quinoa, Willd) seeds. Plant foods for Human Nutritions, 45, 223-246.

El almidón se sometió a una transferencia de calor en presencia de agua gelatinizándose en mayor o menor grado, dependiendo del tiempo de calentamiento y a la temperatura al cual es sometido.

La energía (calor) requerida para completar el proceso de gelatinización se evaluó por calorimetría diferencial de barrido (DCS), el cual brindó como resultado el grado de gelatinización del almidón.

Los parámetros usados en el análisis de las muestras fueron velocidad de calentamiento de 10 ºC/min, rango de temperatura de entre 30 ºC – 120 ºC y la relación almidón agua fue 1:3.

El grado de gelatinización se lo calculó mediante la aplicación de la siguiente fórmula.

% Grado de gelatinización= 100 – (ΔH Muestras/ ΔH Inicial)* 100

El método es descrito en el Anexo II

Se realizó una evaluación estadística de los resultados mediante un análisis de varianza ANOVA ONE WAY, se determinó diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos del grado de gelatinización entre los diferentes tratamientos para lo cual utilizó el programa STATGRAPHICS plus versión 5.1.para Windows.

2.3.3 DETERMINACIÓN DE INHIBIDORES DE TRIPSINA

Se determinó el grado de inhibición de la anti-tripsina de acuerdo al método Soybean Processing For Food Uses INTSOY, (1 994), el cual se basa en el uso de un sustrato sintético Benzoil-DL-arginina-p-nitroalanina hydrochloridro (BAPA).

Los inhibidores de tripsina se determinaron mediante el grado de hidrolización del sustrato BAPA y se cuantificó mediante la medición de la absorbancia que presentaron las diferentes muestras. El método es descrito en el Anexo IV.

2.4 DESARROLLO DEL PRODUCTO A PARTIR DE HARINA PRE-COCIDA

El pellets obtenido del proceso de extrusión, fue secado hasta llegar a un contenido

de humedad del 10 %. El producto es desintegrado para la obtención de harina pre-cocida.

A partir de la harina pre-cocida de garbanzo se preparó una formulación, la misma que contiene harina pre-cocida y especias deshidratadas como: cilantro, perejil, ajo y cebolla, obteniendo un producto base para la elaboración de falafel.

2.5 ESTUDIO DE ESTABILIDAD DEL PRODUCTO

Se realizó un análisis micro-biológico de la harina pre-cocida después de dos y seis meses de procesada, empacada en fundas de polipropileno y almacenadas a una humedad relativa del 65 % y una temperatura de 20 ºC.

Para el análisis microbiológico se aplicaron los siguientes métodos.

- Contaje total Aerobios.- Se analizó según el método descrito en FDA-CFSANBAM Capítulo 3, 2 001
- Coliformes.- Se analizó según el método descrito en FDA-CFSAN-BAM, Capítulo 4, 2 002.
- Hongos.- Se analizó según el método descrito en FDA-CFSAN-BAM, Capítulo 18, 2 001.
- Levaduras.- Se analizó según el método descrito en FDA-CFSAN-BAM, Capítulo 18, 2 001

El análisis realizado se lo comparó con la norma INEN 1-529 para harinas pre-cocidas.

2.6 ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

Se realizó un análisis de pre factibilidad del proyecto llevado a nivel industrial con

una producción de 40 toneladas al mes.

Se aplicó un modelo de análisis económico aprobado por la Corporación Financiera Nacional (CFN), el cual analizó la inversión en función de costos fijos, costos variables, costos totales y los ingreso para calcular el punto de equilibrio, se aplicó indicadores financieros como: La Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 PRODUCCIÓN DE HARINA PRE-COCIDA Y SU PRODUCTO

A partir de semillas secas de garbanzo se obtuvo harina pre-cocida para la elaboración de falafel.

Se determinó el bio-tratamiento y sus variables así como los parámetros del proceso de extrusión para la eliminación de factores anti-nutricionales y la cocción del producto.

Al aplicar bio-tratamientos como la incubación bajo condiciones controladas de temperatura y humedad se logró la activación de la enzima endógena fitasa contenida en la semilla de garbanzo, la misma que redujo en un alto porcentaje el contenido de fitatos.

Mediante la aplicación del proceso de extrusión se disminuyó la actividad de factores anti-nutricionales termolábiles de la misma manera se obtuvieron excelentes propiedades funcionales y un adecuado grado de gelatinización de almidones en la harina pre-cocida.

Para finalmente obtener un producto con un alto valor nutricional el cual es elaborado a partir de la harina pre-cocida de garbanzo con una mezcla de especerías para la elaboración de croquetas de falafel.

3.2 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO TERMINADO

3.2.1 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA MATERIA PRIMA

Del análisis proximal realizado se obtuvo el valor nutricional del garbanzo el cual se detalla en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Composición Nutricional del Gritz de Garbanzo*

Analito	Unidades	Resultado
Humedad	%	11,09 ± 0,12
Cenizas	%	3,01 ± 0,17
Proteína	%	20,5 ± 0,25
Grasa	%	5,94 ± 0,11
Fibra Cruda	%	2,63 ± 0,15
Carbohidratos Totales	%	59,46 ± 0,23
Valor Calórico	Kcal/100	373

*Media ± DS; n=3

Se determinó que las semillas de garbanzo son una importante fuente de alimento rico en proteínas, hidratos de carbono y fibra siendo un alimento muy balanceado lo que coincide con lo descrito por Gómez (2 000).

El aporte calórico es superior a la de los principales cereales y leguminosas de consumo diario como por ejemplo maíz, trigo, arroz, tapioca, guisantes, arveja y habas (Bremes y Bremes, 1 993).

Sin embargo según Armienta (1 999) el garbanzo posee atributos indeseables como largos periodos de cocción, inhibidores enzimáticos, polifenoles y fitatos que deben

ser reducidos y/o eliminados antes de su consumo ya que no permiten una adecuada asimilación de los nutrientes.

3.2.2 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL PRODUCTO TERMINADO

Del análisis proximal realizado se obtuvo el valor nutricional de la harina pre-cocida de garbanzo detallado en la tabla 3.2.

Desde el punto de vista nutricional se determinó que la harina pre-cocida de garbanzo es un alimento que presenta un alto valor energético, ya que al compararla con otro tipo de harinas, su valor es igual y/o superior a la harina de trigo, arveja, haba, maíz, plátano y avena suplementadas con un 25 % de harina desengrasada de soya (Lupera y Villacis, 2 003).

El valor nutricional de la harina pre-cocida de garbanzo no se ve afectado por los tratamientos y procesos aplicados ya que sus principales componentes como proteína, carbohidratos y lípidos no presentan variación, sin embargo el contenido de fibra disminuye aproximadamente en un 46.4 % (p=0,05) del contenido inicial atribuido a la pérdida de la testa de la semilla en el proceso de descascarillado.

Tabla 3.2 Composición Nutricional de la Harina Pre-cocida de Garbanzo*.

Analito	Unidades	Resultado
Humedad	%	9,87 ± 0.18
Cenizas	%	2,99 ± 0,12
Proteína	%	22,85 ± 0,20
Grasa	%	6,03 ± 0,27
Fibra Cruda	%	1,41 ± 0,16
Carbohidratos Totales	%	56,85 ± 0,28
Valor Calórico	Kcal/100g	373,07

*Media ± DS; n=3

3.3 PROCESOS PREVIOS A LA EXTRUSIÓN

3.3.1 OBTENCIÓN DEL GRITZ DE GARBANZO

Después del proceso de desintegración, se obtuvo una mezcla con una composición de 96 % de gritz y harina; y un 4 % de cascarilla. La mezcla resultante (gritz y harina) fue tamizada obteniendo diferentes tamaños de partícula presentados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Porcentaje de Composición Según el Tamaño de Partícula después del Proceso de Tamizado

Tamaño de Partícula	Porcentaje (%)
1,5 mm	26
3 mm	44
5 mm	30

El tamaño de partícula más adecuado para el tratamiento de incubación y el proceso de extrusión se encuentran en un rango de 3 mm a 5 mm, debido a que brindó una mayor superficie de contacto durante el periodo de incubación facilitando la transferencia de humedad y calor, de esta manera se obtuvo condiciones adecuadas para la activación de la enzima (fitasa).

De igual manera se determinó que para el proceso de extrusión este rango de tamaño de partícula brindó una adecuada alimentación así como el paso uniforme del gritz de garbanzo a través del barril del extrusor.

Se obtuvo un rendimiento del 71 % para el tamaño de partícula comprendido de entre 3 mm a 5 mm, el 25 % para el tamaño de partícula de 1,5 mm o menor y un 4 % para la cascarilla del total de semillas procesadas.

3.3.2 BIO-TRATAMIENTO (INCUBACIÓN)

Se determinó el bio-tratamiento con el mayor índice de degradación del contenido de fitatos con respecto al tiempo, así como las condiciones óptimas para el proceso.

3.3.2.1 Incubación de granos enteros de garbanzo

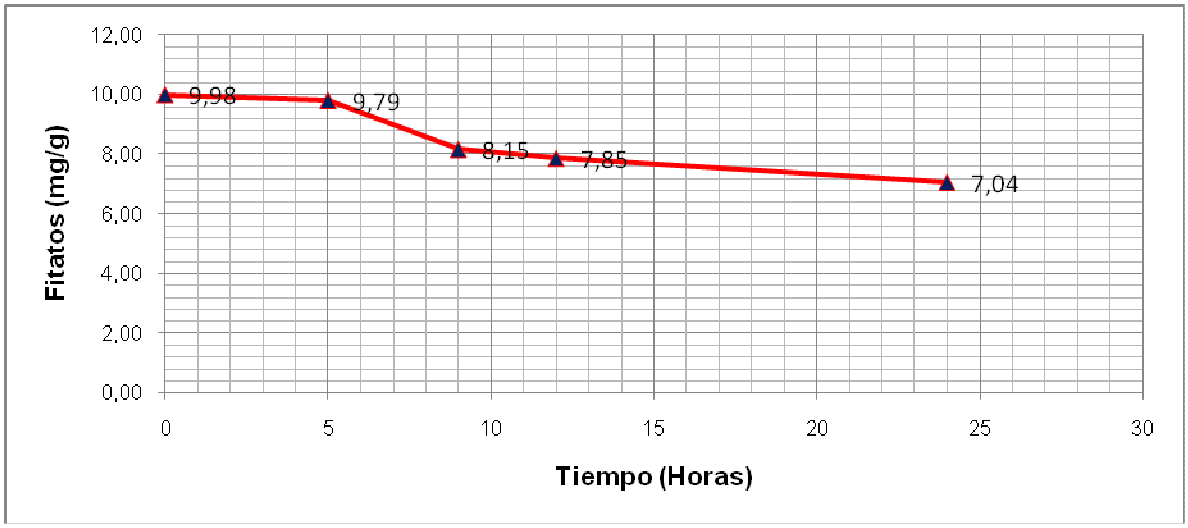


Figura 3.1 Variación del Contenido de Fitatos Durante el Tratamiento de Incubación Grano entero en Función al Tiempo de Tratamiento.

En la figura 3.1 se representa la cinética de degradación del contenido de fitatos del tratamiento de incubación de granos enteros de garbanzo. Durante el primer tratamiento de incubación de granos enteros de garbanzo se determinó que la variación de la cinética de contenido de fitatos estadísticamente es significativa ($p<0,05$; $n=3$) con respecto al periodo del tratamiento.

La cinética de degradación del contenido de fitatos varía un 29,47 % después de las 24 horas de incubación bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, este rendimiento obtenido difiere de los parámetros establecidos según

Cisneros (1 995), ya que mediante la aplicación del tratamiento de incubación el contenido de fitatos es reducido aproximadamente un 62 % razón por la cual el tratamiento no es aplicable.

Además se determinó que el producto después de las 10 horas de tratamiento presenta exudación de una substancia gomosa.

3.3.2.2 Incubación de gritz de garbanzo

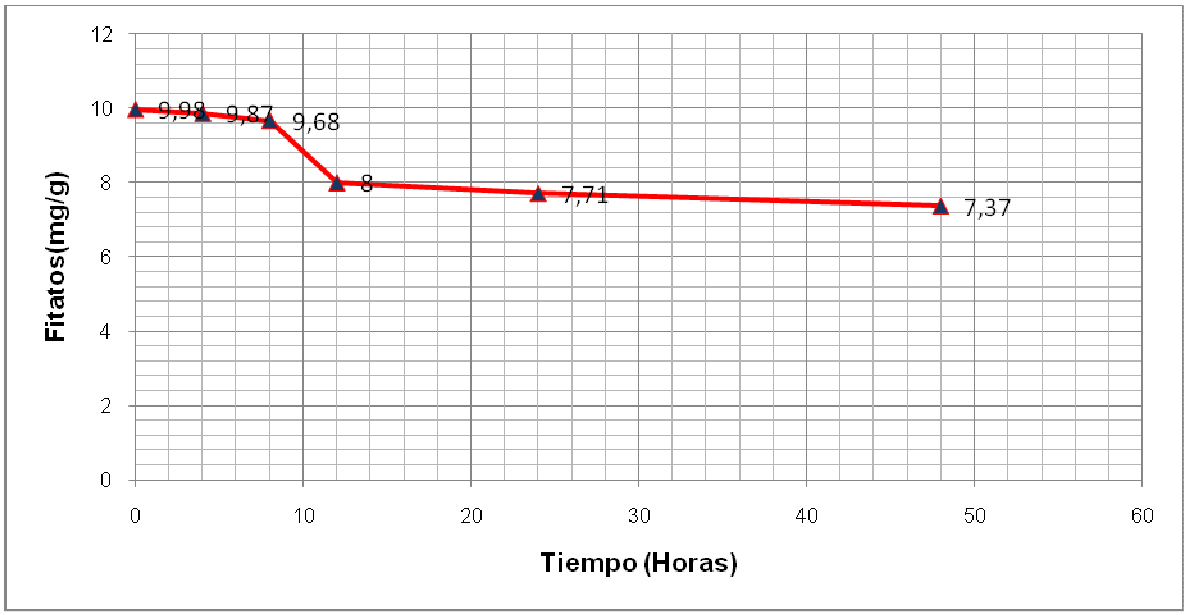


Figura 3.2 Variación del Contenido de Fitatos Durante el Tratamiento de Incubación del Gritz de Garbanzo.

En la figura 3.2 se representa la cinética de degradación del contenido de fitatos del tratamiento de incubación del gritz de garbanzo. Durante el segundo tratamiento se determinó que la variación de la cinética del contenido de fitatos estadísticamente es significativa ($p<0,05$; $n=3$) con respecto al periodo de tiempo del tratamiento.

La cinética de degradación del contenido de fitatos varía 26,15 % durante las 48 horas de tratamiento bajo condiciones controladas de humedad y temperatura.

De la misma manera que el anterior tratamiento este rendimiento obtenido no cumple con los parámetros establecidas según Cisneros (1 995).

Además se determinó que el producto después de las 48 horas de tratamiento presenta desarrollo de microorganismos (hongos y levaduras).

3.3.2.3 Incubación de gritz de garbanzo a un pH entre 4-5.

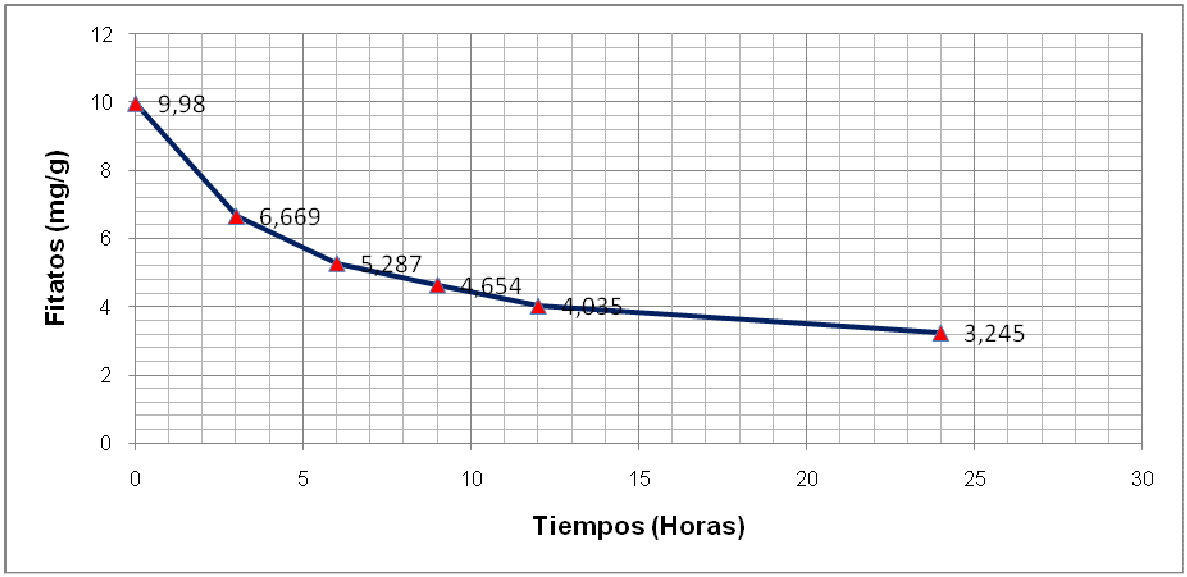


Figura 3.3 Variación del Contenido de Fitatos durante el Tratamiento de Incubación pH4-5.

En la figura 3.3 se representa la cinética de degradación del contenido de fitatos del tratamiento de incubación del gritz de garbanzo a un pH entre 4-5. Se determinó que la variación de la cinética del contenido de fitatos estadísticamente es significativa ($p<0,05$; $n=3$) con respecto al periodo de tratamiento.

La cinética de degradación del contenido de fitatos presenta una rápida reducción del 59.57 % durante un periodo de 12 horas posteriormente se reduce un 7,92 % debido a que la curva se vuelve asintótica hasta cumplir las 24 horas de incubación.

Se determinó que los resultados obtenidos durante el periodo de las 12 horas de incubación son aproximadamente iguales a los resultados obtenidos por Cisneros (1 995).

3.3.2.4 Incubación de gritz de garbanzo a un pH entre 6-7

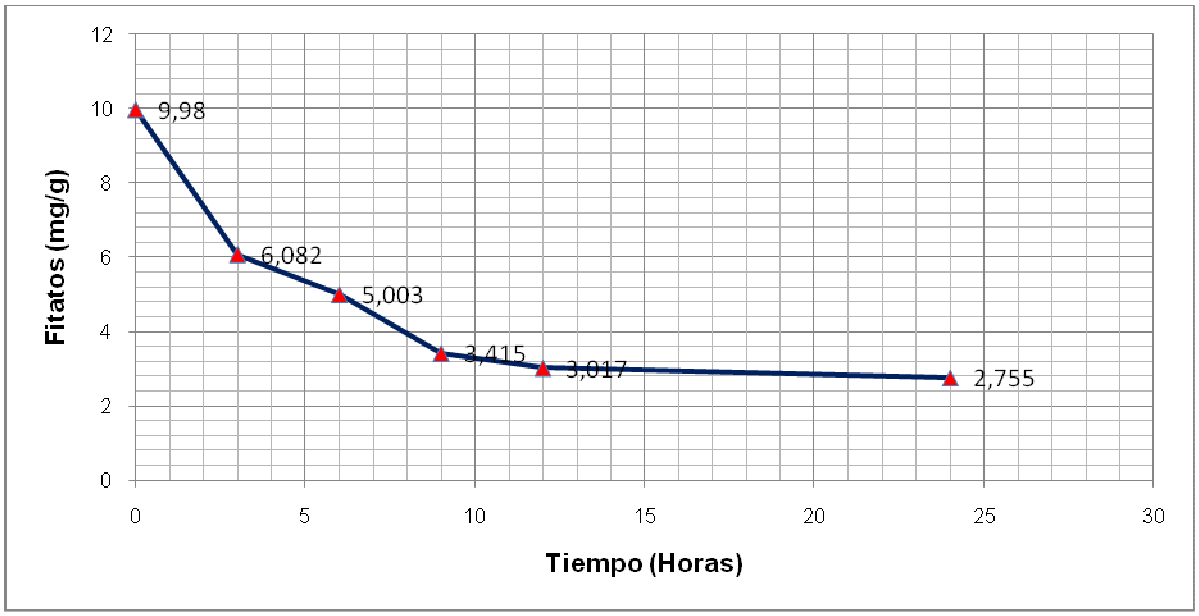


Figura 3.4 Variación del Contenido de Fitatos Durante el Tratamiento de Incubación pH6-7.

En la figura 3.4 se representa la cinética de degradación del contenido de fitatos del tratamiento de incubación del gritz de garbanzo a un pH entre 6-7. La variación de la cinética para el periodo de 0 a 12 horas estadísticamente es significativa ($p<0,05$; $n=3$), de la misma manera para el periodo entre 12 y 24 horas se determinó que estadísticamente no hubo variación significativa ($p>0,05$; $n=3$).

La variación de la cinética de degradación del contenido de fitatos en el presente tratamiento indica que en el periodo comprendido entre 0 y 12 horas presenta una reducción del 69 % de fitatos, posteriormente la curva se vuelve asintótica obteniéndose una reducción del 2,6 % hasta cumplir las 24 horas de incubación.

Se determinó que los resultados obtenidos durante el periodo de las 12 horas de incubación son superiores a los resultados obtenidos por Cisneros (1 995).

3.3.2.5 Determinación del tratamiento de incubación

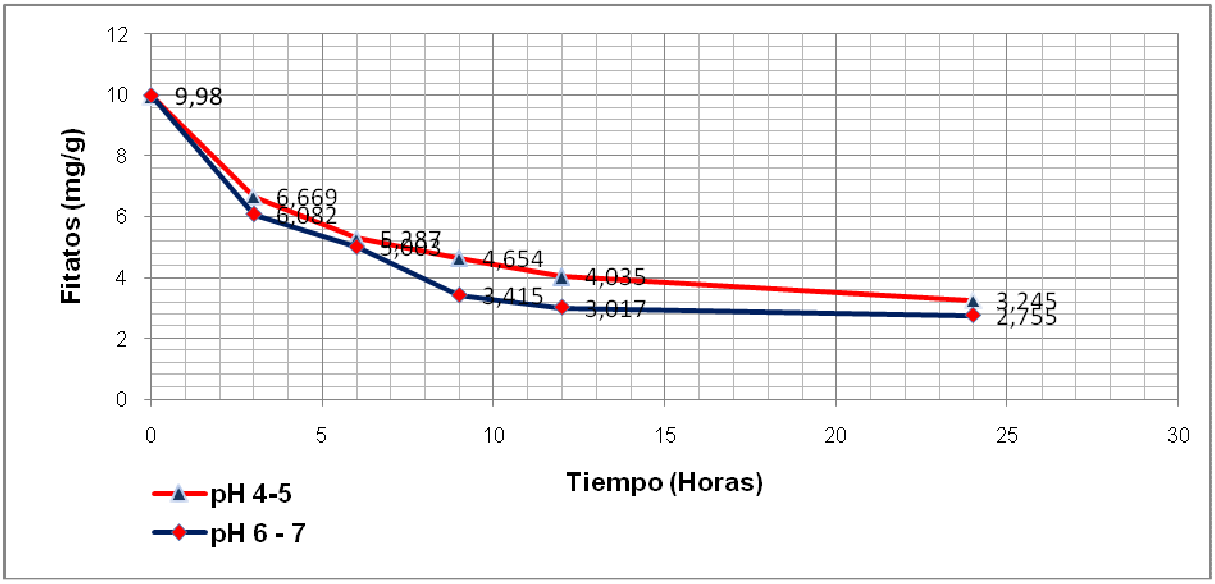


Figura 3.5 Diferencia del Contenido de Fitatos entre el Tratamiento de Incubación a Diferente pH**.**

En la figura 3.5 se observa la diferencia de la cinética de degradación del contenido de fitatos entre los dos tratamientos de incubación a diferente pH.

Para los dos tratamientos después de las 9 horas de incubación el producto presentó una coloración rosada en el gritz de garbanzo atribuido la reacción de Mayllard. Para

el tratamiento a un pH entre 6-7 después de las nueve horas de incubación se produjo una caída del pH de 6,8 a 5,3 y la presencia de mal olor atribuido al desarrollo de microorganismos y al proceso de fermentación, razón por la cual se decidió establecer un periodo de tratamiento de 9 horas.

Para el tratamiento a un pH entre 4-5 se obtuvo una degradación del contenido de fitatos del 53,37 %, de igual manera para el tratamiento a un pH entre 6-7 se obtuvo una degradación del 65,78 %. Se determinó que entre los dos tratamientos en un periodo de nueve horas estadísticamente existe diferencia significativa ($p<0,05$; $n=3$), ya que el tratamiento a un pH entre 6-7 presentó un 12,41 % más de degradación del contenido de fitatos.

El contenido de fitatos obtenido durante el periodo de incubación es igual y/o menor al contenido que presentan los germinados de garbanzo, soya, maíz, trigo y arroz durante un periodo de 5 días (Chichester, 1 982).

3.3.3 OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA PREVIO AL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Después del proceso de incubación se obtuvo gritz de garbanzo con un alto contenido de humedad aproximadamente del 65 %.

3.3.3.1 Secado

Se determinó la velocidad y el tiempo de secado para el producto con un contenido de humedad del 65 %.

Durante los primeros 20 minutos del proceso de secado, no se obtuvo una disminución significativa del contenido de humedad atribuido al periodo de inducción

donde se produce la eliminación de la humedad superficial del producto de acuerdo a Barbosa (2 000).

Posterior al periodo de inducción se pasa al periodo de velocidad constante, para el cual se determinó el contenido de humedad en función al tiempo, como se muestra en la figura 3.6

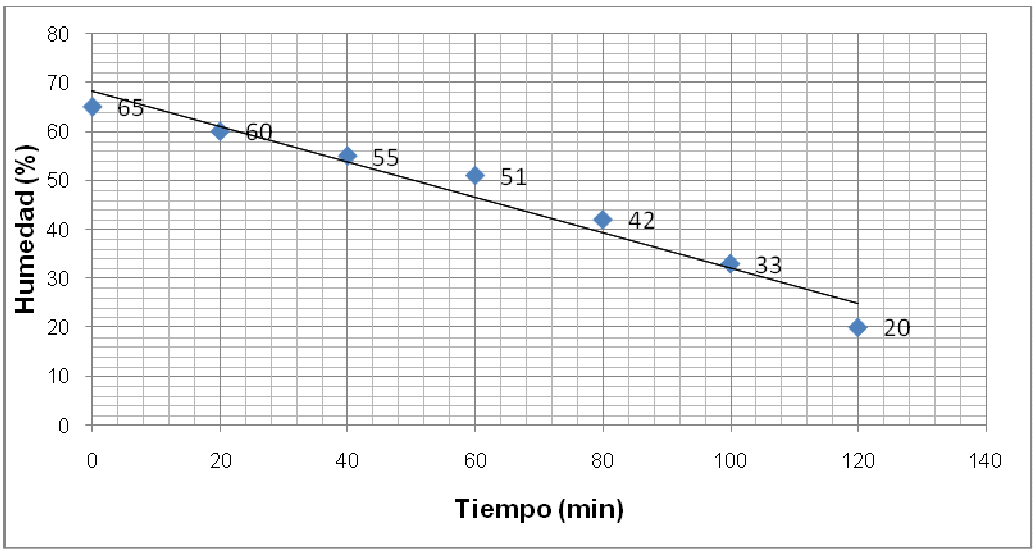


Figura 3.6 Curva de Secado del Producto.

El contenido de humedad en función del periodo de secado obedece a una correlación lineal.

Los resultados se ajustan a la siguiente ecuación con un R^2=95,77.

$$Y= -0,3607X + 68,214$$

Después del periodo de secado se obtuvo un producto con un contenido de humedad del 20 %, con una velocidad de secado 0,36 kg agua evaporada/sm² en un periodo 140 min.

3.4 OBTENCIÓN DE HARINA PRE-COCIDA DE GARBANZO POR EXTRUSIÓN

Las muestras fueron humectadas para el proceso de extrusión a diferentes contenido de humedad (20 % - 25 % - 30 %).

3.4.1 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Se obtuvo diferentes valores para los parámetros de extrusión de cada muestra procesada las cuales son representadas en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Variables del Proceso de Extrusión.

Perfil de Temperatura	Humedad Muestras (%)	Torque Nm	Velocidad de Descarga g/min	Velocidad del Tornillo(RPM)
65ºC-100ºC-135ºC	20	70 ± 7, 8	65,8	40
65ºC-100ºC-135ºC	25	30 ± 4,6	83,6	90
65ºC-100ºC-135ºC	30	15 ± 5,2	88,6	100
80 ºC-115 ºC-150 ºC	20	53 ± 6,7	140,8	100
80 ºC-115 ºC-150 ºC	25	25 ± 3.8	118	100
80 ºC-115 ºC-150 ºC	30	10 ±4,5	120	100

Media ± DS; n=3

El rango de temperatura y el contenido de humedad del producto afectan a la energía mecánica del proceso según O´Connor (1 987) este concepto se puede evidenciar en la tabla 3.4. Se estableció que a medida que la temperatura y el contenido de humedad de las muestras se incrementaban el torque disminuía su valor para los dos perfiles de temperatura.

El contenido de humedad de las muestras, el tamaño de boquilla y la velocidad del tornillo influyen sobre tiempo de residencia del producto O´Connor (1 987). Se determinó que para las muestras extruidas, el principal factor que determina el tiempo de residencia es atribuido al contenido de humedad y el perfil de temperatura ya que se utilizó el mismo tipo de boquilla y la velocidad del tornillo fue aproximadamente igual para todas las muestras a excepción de la primera, obteniéndose un mayor tiempo de residencia para las muestras con mayor contenido de humedad.

El efecto de las variables de extrusión se relaciona directamente con las propiedades funcionales y las características físicas del producto según lo descrito por O´Connor (1 987).

3.4.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL PRODUCTO EXTRUIDO PARA DOS PERFILES DE TEMPERATURA

3.4.2.1 Índice de absorción de agua para el primer perfil de temperatura

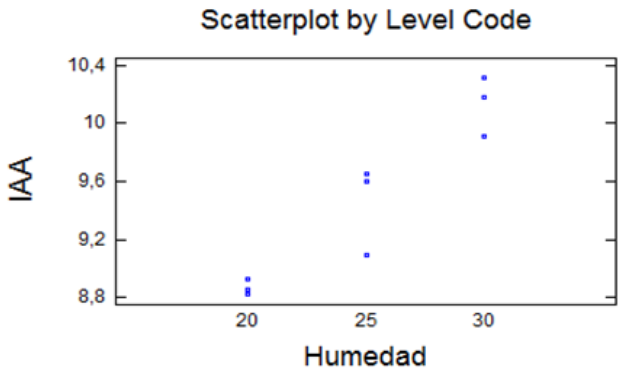


Figura 3.7 Índice de Absorción de Agua para el Primer Perfil de Temperatura.

En la figura 3.7 se representan el Índice de Absorción de Agua (IAA) para las muestras procesadas por extrusión a diferentes contenidos de humedad, para el primer perfil de temperatura.

Se determinó que estadísticamente existe diferencias significativas ($p<0,05$; $n=3$) entre las muestras analizadas.

Según Pazmiño (2 005) el mayor IAA ocurre cuando el material a extruirse presenta un alto contenido de humedad y un perfil bajo de temperatura debido a que se produce una modificación de los almidones (Gelatinización). De acuerdo al anterior concepto se obtuvo un alto IAA para la muestra con un contenido de humedad del 30 % con respecto a las muestras de menor humedad.

3.4.2.2 Índice de absorción de agua para el segundo perfil de temperatura

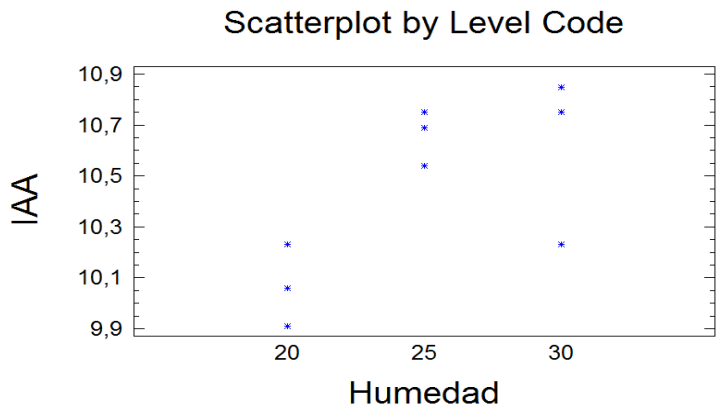


Figura 3.8 Índice de Absorción de Agua para el Segundo Perfil de Temperatura.

En la figura 3.8 se representan el Índice de Absorción de Agua (IAA) para las muestras extruidas a diferentes contenidos de humedad para el segundo perfil de temperatura.

Se determinó que estadísticamente existe diferencia significativa ($p<0,05$; $n=3$) entre la muestra del 20 % de humedad con respecto a las muestras del 25 % y 30 % de humedad. En el segundo perfil de temperatura el IAA es mayor para las muestras del 25 % y 30 % de humedad coincidiendo con lo descrito por Pazmiño (2 005).

El IAA de la harina pre-cocida de garbanzo es muy superior a la harina cruda ya que se obtuvo un (10,6 ± 0,13 g gel/ g de muestra) con relación a un (2,15 ± 0,15 g gel / g de muestra) lo que coincide con lo descrito por Moreno et al (2 002).

El IAA más alto se obtuvo en el segundo perfil de temperatura con un contenido de humedad de entre 25 %-30 %.

3.4.2.3 Índice de solubilidad en agua para el primer perfil de temperatura

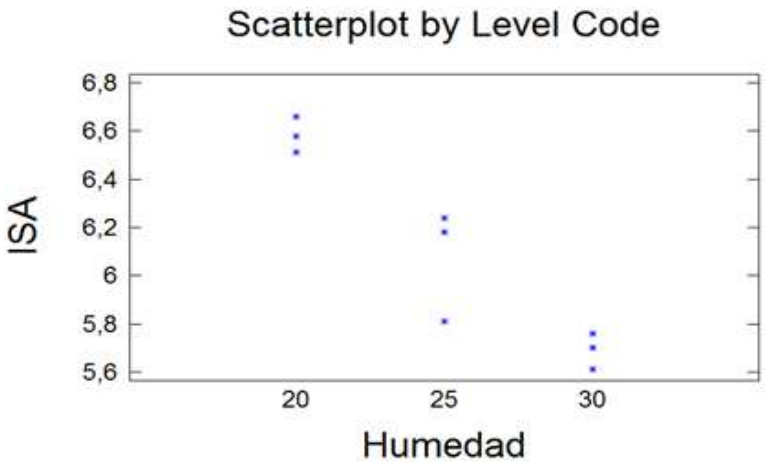


Figura 3.9 Índice de Solubilidad en Agua Primer Perfil de Temperatura

En la figura 3.9 se representa el índice de solubilidad (ISA) de las muestras extruidas con diferentes contenidos de humedad para el primer perfil de temperatura.

Se determinó que estadísticamente existe diferencia significativa ($p<0,05$; $n=3$) entre la todas las muestras analizadas.

El índice de solubilidad está asociado con la presencia de moléculas de almidón soluble, lo cual se relaciona con la dextrinización según Colonna *et al* (1 983).

Se determinó que el ISA para el primer perfil de temperatura depende directamente del contenido de humedad de las muestras ya que el valor decrece a medida que aumenta la humedad de las muestras lo que coincide con lo descrito por O´Connor (1 987).

3.4.2.4 Índice de solubilidad en agua para el segundo perfil de temperatura

Tabla 3.5 Índice de Solubilidad en Agua para el Segundo Perfil de Temperatura*

Humedad	ISA (%)
20	5,56 ± 0,054
25	5,62 ± 0,052
30	5,47 ± 0,054

*Media ± DS; n=3
ISA= Índice de Solubilidad en Agua.

En la tabla 3.5 se representa los valores del índice de solubilidad (ISA) de las muestras extruidas con diferentes contenido de humedad para el segundo perfil de temperatura. Se determinó que estadísticamente no existe diferencia significativa ($p>0,05$; $n=3$) entre la todas las muestras analizadas.

El contenido de humedad de las muestras no es determinante en el ISA para este perfil de temperatura, además se obtuvo el menor valor del ISA con respecto al primer perfil de temperatura y al de la harina cruda que posee un ISA del 21 %.

3.4.2.5 Poder de hinchamiento para el primer perfil de temperatura

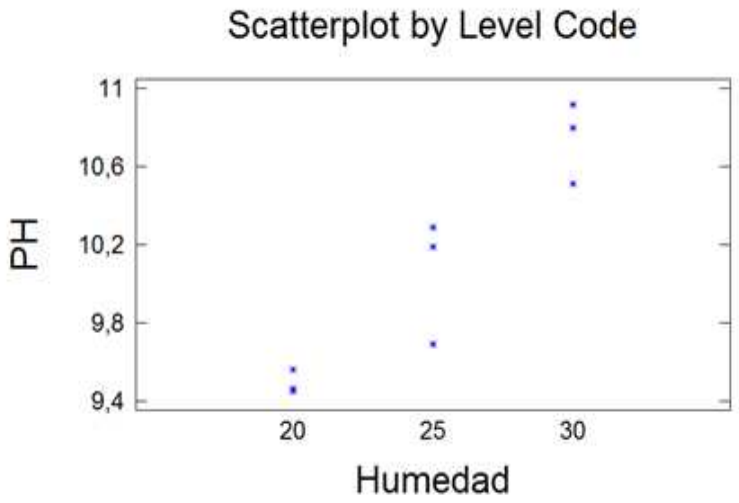


Figura 3.10 Poder de Hinchamiento Primer Perfil de Temperatura

En la figura 3.10 se representa el poder de hinchamiento del producto (PH) extruido en función del contenido de humedad de las muestras.

Se determinó que estadísticamente existe diferencia significativa ($p<0,05$; $n=3$) entre la todas las muestras analizadas. El PH incrementa su valor a medida que se incrementa el contenido de humedad de las muestras debido a la gelatinización de almidones según Moreno et al (2 002).

3.4.2.6 Poder de hinchamiento segundo perfil de temperatura

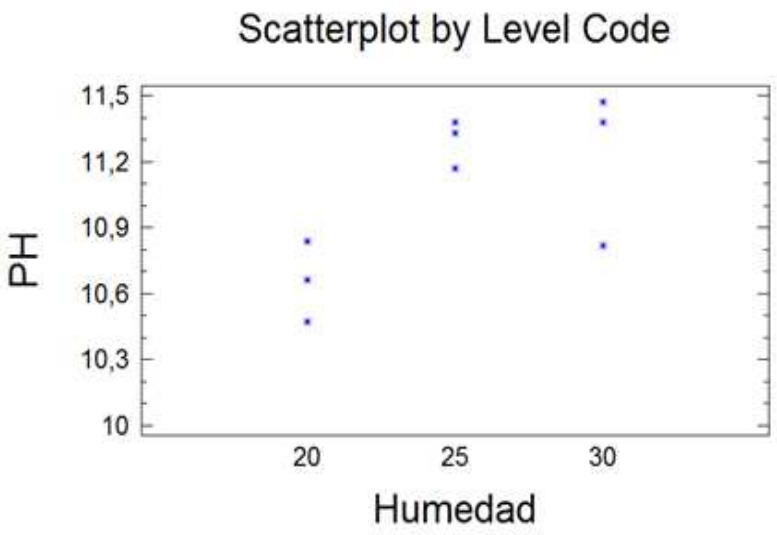


Figura 3.11 Poder de Hinchamiento Segundo Perfil de Temperatura

En la figura 3.10 se representan el Poder de Hinchamiento (PH) para las muestras extruidas a diferentes contenidos de humedad para el segundo perfil de temperatura. Estadísticamente se determinó que entre la muestra del 20 % con respecto a las muestras del 25 % y 30 % de humedad existe variación significativa ($p<0,05$; $n=3$).

Obteniendo un mayor poder de hinchamiento para las muestras con mayor contenido de humedad así como el mayor porcentaje sobre las muestras analizadas del primer perfil.

3.4.3 GRADO DE GELATINIZACIÓN DE ALMIDONES

Tabla 3.6 Temperatura, Humedad y Grado de Gelatinización de Almidones*.

Muestras	Rango de Temperatura C°	Humedad (%)	Entalpía J/g muestra extruida	Gelatinización (%)
T1A1	65-100-135	20	1,58	64,22±0,34
T1A2	65-100-135	25	1,74	75,25±0,23
T1A3	65-100-135	30	1,09	78,62±0,45
T2B1	80-115-150	20	0,28	60,22±0,32
T2B2	80-115-150	25	0,95	93,65±0,43
T2B3	80-115-150	30	0,19	95,76±0,42

*Media ± DS; n=3

En la tabla 3.6 se representa el grado de gelatinización de los almidones con relación al contenido de humedad y los perfiles de temperatura.

Se determinó para los dos perfiles de temperatura el contenido de humedad de las muestras influye directamente en el grado de gelatinización de almidones.

Se obtuvo un mayor porcentaje de gelatinización de almidones con la aplicación del segundo perfil de temperatura de (80-115-150) ºC y un contenido de humedad de entre 25 % al 30 % ya que entre las dos muestras no existe diferencia significativa (p□0,05; n=3) en el grado de gelatinización apenas presenta una diferencia del 2,11 %.

3.4.4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO

Se determinó las variables del proceso en función de las propiedades físicas y funcionales del producto final para la elaboración de croquetas falafel, ya que se requiere de un producto pre-cocido con un alto índice de absorción de agua, un alto

poder de hinchamiento, un bajo índice de solubilidad en agua y un alto índice de gelatinización de almidones.

Por lo cual se decidió trabajar con el segundo perfil de temperatura y con un contenido de humedad de entre el 25 % al 30 %, para la obtención de la harina pre-cocida.

3.4.5 DETERMINACIÓN DE INHIBIDORES DE TRIPSINA

Se determinó el contenido de Inhibidores para las muestras con el mayor índice de gelatinización.

El efecto del calor sobre los inhibidores de la tripsina se evidencia al alterar la integridad de la estructura química sostenida por las uniones disulfuro, que se destruyen bajo su acción (Luna, 2 006). Por lo tanto, estos inhibidores pueden ser inactivados por diferentes procesos térmicos tales como la extrusión (Bertrand *et al*., 1 982)

Mediante la aplicación del proceso de extrusión se obtuvo una reducción del contenido de inhibidores de tripsina en un 80 % lo que coincide con lo expuesto por Bremens (1 993) para el proceso de extrusión.

3.5 DESARROLLO DEL PRODUCTO A PARTIR DE HARINA PRE-COCIDA

El presente estudio proyecta destinar al mercado internacional una harina pre-cocida para la elaboración de croquetas falafel con un alto valor nutricional.

Basados en recetas de la preparación tradicional de falafel se determinó la siguiente formulación del producto representado en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Porcentaje de Composición de la Receta

Componentes	Contenido (%)
Harina	96
Especias	4
Sal	2

3.6 ESTUDIO DE ESTABILIDAD DEL PRODUCTO

Mediante análisis microbiológico se determinó el contenido de aerobios, coliformes, hongos y levaduras a los 2 y 6 meses de almacenamiento, datos representados en la tabla 3.8.

La harina pre-cocida de garbanzo fue empacada en fundas de polipropileno y almacenadas a una humedad relativa del 65 % y una temperatura de 20 ºC.

Tabla 3.8 Análisis Microbiológico de la Harina Pre-cocida

Analito	Unidades	Tiempo 2 meses	Tiempo 6 meses	INEN 1-529
Contaje total de Aerobios	UFC/g	$<1x10^1$	$<1x10^1$	10^6
Coliformes	NMP/g	<3.0	<10	10
Hongos	UFC/g	$<1x10^1$	$<1x10^1$	10^2
Levaduras	UFC/g	$<1x10^1$	$<1x10^1$	10^2

En la Tabla 3.8 se observa que el producto no presenta desarrollo de microorganismos ubicándose muy por debajo del contenido máximo de microorganismo establecido por la norma INEN 1-529 para harinas pre-cocidas.

Determinando un tiempo de vida útil de la harina pre-cocida mayor a 6 meses.

3.7 ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

En el presente estudio se obtuvo un análisis estimado de los principales factores técnicos y económicos que intervienen en la implementación del proyecto.

3.7.1 PERFIL DEL PRODUCTO

La harina pre-cocida de garbanzo como base para la elaboración de croquetas falafel es un producto con un alto valor nutricional, especialmente por su aporte de carbohidratos, proteína, fibra y minerales.

Mediante la aplicación de un bio-tratamiento y el proceso de extrusión se ha obtenido un producto pre-cocido 100 % natural, el mismo que no contiene compuestos ni aditivos químicos, presenta un bajo contenido de factores anti-nutricionales, mejorando la bio-disponibilidad de los nutrientes, constituyendo una alternativa sana y natural para la alimentación diaria.
El producto es presentado en empaques de polietileno con un peso de 250 g base seca el mismo que es complementado con mix de finas hierbas para la elaboración de croquetas de falafel.

3.7.2 DESTINO DE LA PRODUCCIÓN

La totalidad de la producción será destinada principalmente al mercado hindú y países de medio oriente, donde la harina de garbanzo constituye un producto de consumo habitual en la alimentación de la población. Cabe destacar el importante

crecimiento económico en los últimos años, convirtiéndolos en potenciales mercados internacionales.

De esta manera se crea una nueva alternativa de crecimiento para la industria nacional ampliando la oferta de productos al mercado internacional.

3.7.3 TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

3.7.3.1 Localización

Se definió la ubicación de la planta evaluando las siguientes variables: facilidad para la obtención de materia prima, vías de acceso, cercanía a un puerto marítimo y a las zonas con potencial de producción de garbanzo, en función de los costos y servicios básicos.

Analizadas las variables se decidió ubicar la planta en la provincia del Azuay, debido a que esta es una zona potencial para el cultivo de garbanzo según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias “INIAP”.

3.7.3.2 Capacidad de Producción de la Planta

La planta procesadora de harina pre-cocida de garbanzo funcionará 5 días a la semana, 240 días al año. Para la implementación del presente proyecto se lo analizó con un tamaño de mediana empresa la misma que empieza sus funciones con el 31,67 % de su capacidad para posteriormente proyectarse al 75 % en el segundo año y finalmente al 100 % de su capacidad en el tercer año.

Se procesará 2 271 toneladas diarias de granos secos de garbanzo del cual se estima un rendimiento del 88 % de harina pre-cocida (8 000 empaques de 250 g); 8,19 % de harina cruda (186 fundas de 1 kg) y el 4 % de cascarilla (91 kg).

El Proyecto tendrá una vida útil de 5 años, con una fase pre-operativa de un año para la instalación de la planta.

3.7.4 INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.7.4.1 Proceso de Elaboración del Producto

El proceso tecnológico para la elaboración de la harina pre-cocida base para la elaboración del falafel se lo describe en la figura 3.12.

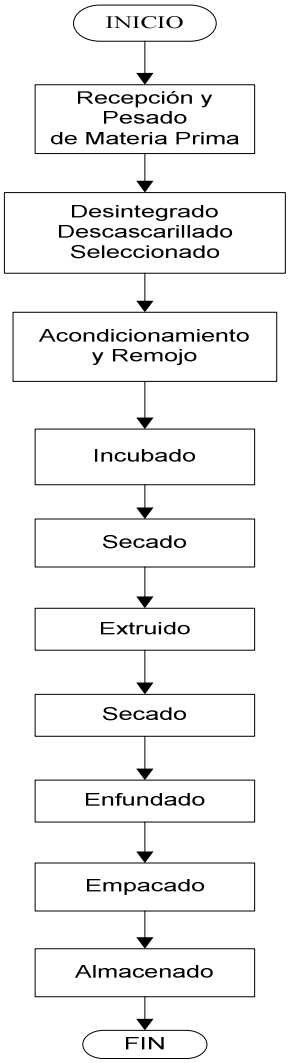


Figura 3.12 Flujo del Proceso de Obtención del la Harina Pre-Cocida Base para la Elaboración de Falafel

3.7.4.2 Balance de Masa

El balance de Masa del proceso se lo presenta en la figura 3.13

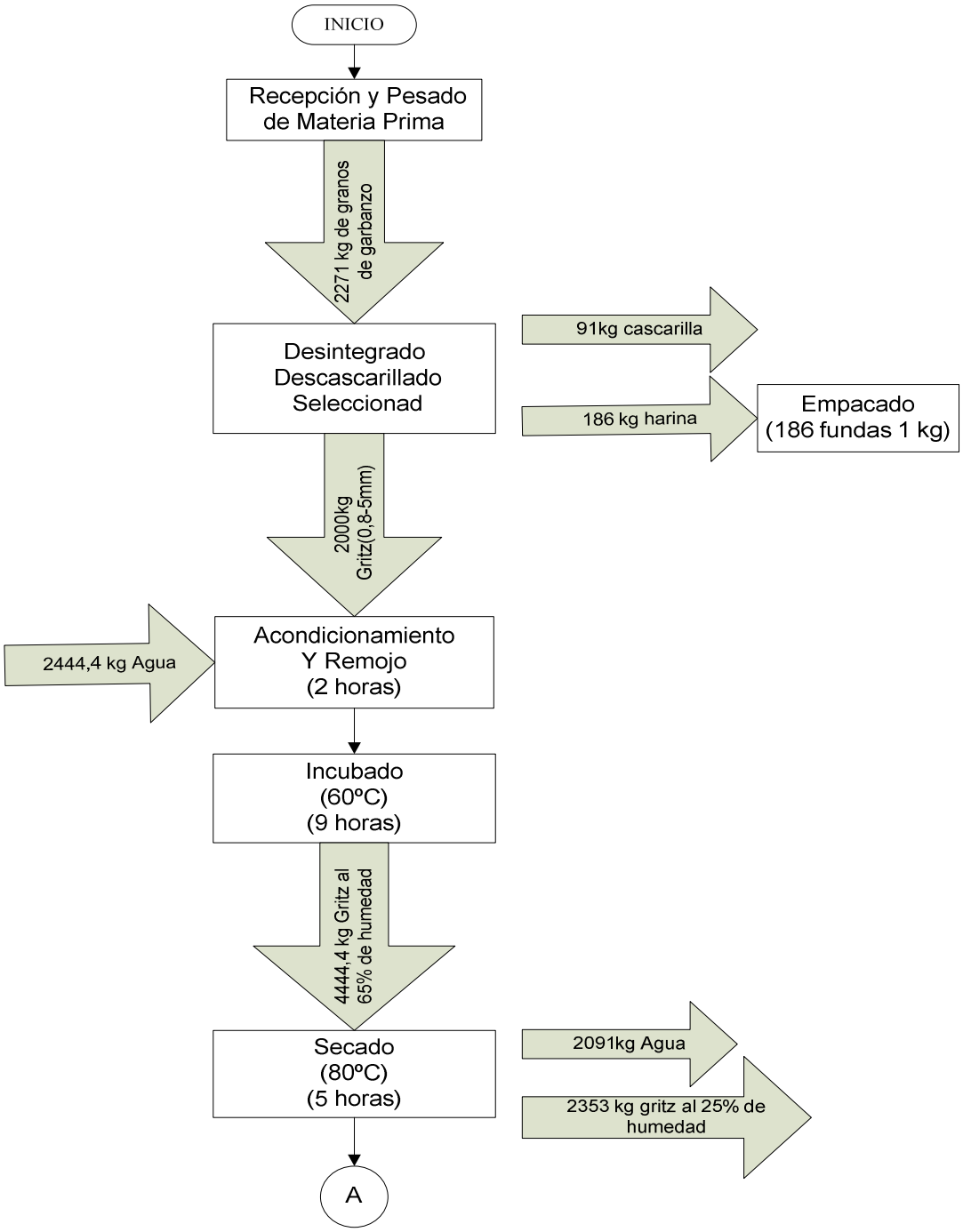


Figura 3.13 Balance de Masa del Proceso.

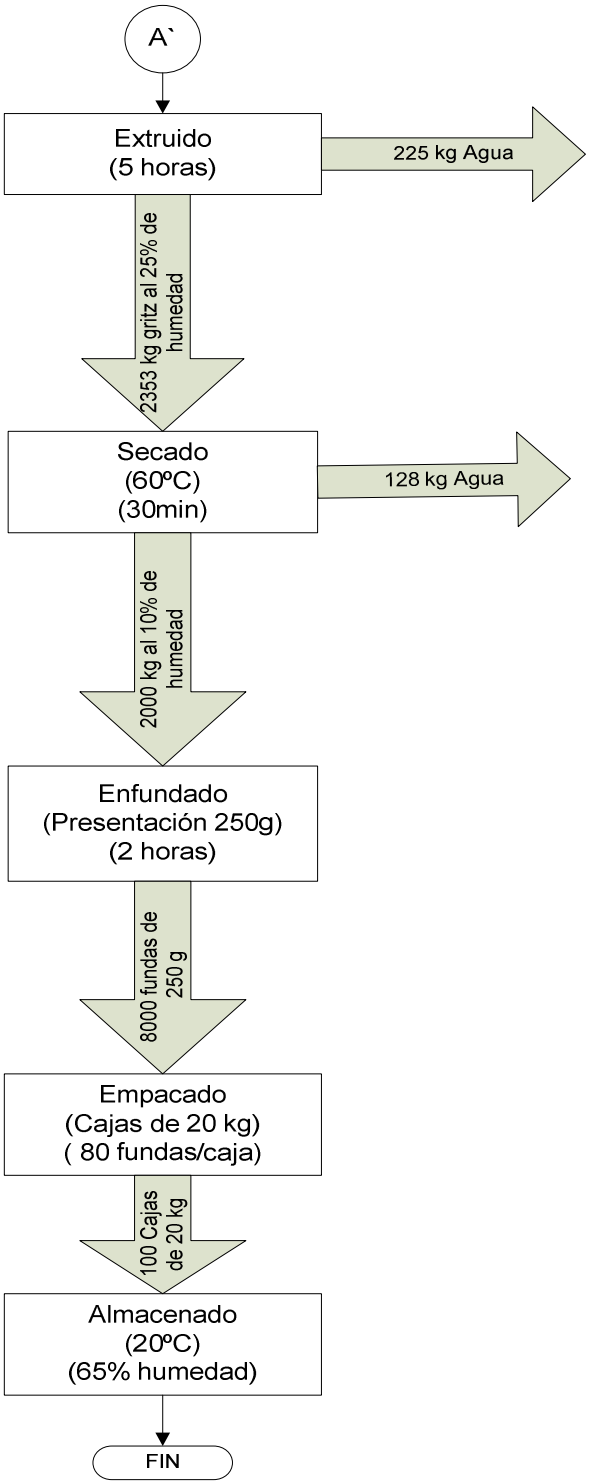


Figura 3.13 Balance de Masa del Proceso Continuación.

3.7.4.3 Selección de Maquinaria y Equipos

La selección de maquinaria y equipo se realizó en función de la capacidad diaria de producción de la planta la misma que se detalla en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Maquinaria y Equipo Utilizado en el Sistema de Proceso.

OPERACIÓN	MAQUINARIA/EQUIPO	CAPACIDAD	CANTIDAD
Desintegrado Descascarillado Seleccionado	Molino Desintegrador NOGUEIRA DPM - 4	1 000-1 500 kg/h	1
Acondicionamiento Remojo e Incubado	Marmita de acero inoxidable AISI 304, camisa tipo Dimpled Jacket	1 000 l	4
Secado	Imtech DryGenic dryer	1 000 kg/h	1
Extruido	Extrusor SLG85-Ⅲ	500 kg/h	1
Enfundado	Enfundadora SAMEKH	500 – 1 000 kg/h	1

Tabla 3.10. Maquinaria y Equipo Auxiliar para el Procesamiento.

MAQUINARIA/EQUIPO	CAPACIDAD	CANTIDAD
Balanza Toledo	200 kg	1
Tanque Acero Inoxidable	1m³	2
Coche transportador		4
Sensor de temperatura marca Ellab		1
Caldero	25 BHP	1
Extractores Tornillo sin Fin Acero Inoxidable		2

3.7.4.4 Balance de Energía

Se realizó un balance de energía para el proceso de incubación.

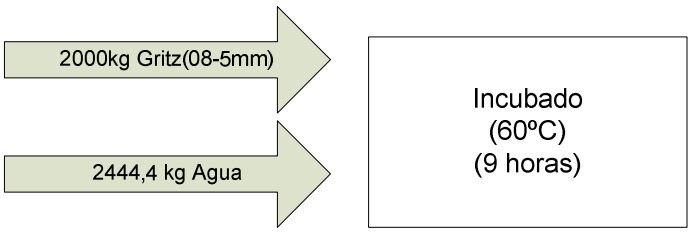
La energía utilizada se traduce en el calor necesario para llegar a una temperatura de incubación igual a 60 ºC.

De Donde el calor es igual

$$Q = m*cp*\Delta T$$

Q = energía necesaria [kJ]
m = masa [kg]
cp = calor específico [kJ/ kg ºK]
ΔT = delta de temperatura [ºK]

Se determinó la cantidad de calor necesaria para que la mezcla (2 444,4 kg de agua y 2 000 kg de gritz) llegue de 15 ºC a 60 ºC.



De donde:

$Q_{GARBANZO} = m_{GARBANZO} * Cp_{GARBANZO} * \Delta T$
$Q_{GARBANZO}$ = (2 000 kg) * (2 568 kJ /kg ºK)* (45 ºK)
$Q_{GARBANZO}$ = **231 120 kJ**
$Q_{GARBANZO}$ = **219 206,15 BTU**

$Q_{AGUA} = m_{AGUA} * Cp_{AGUA} * \Delta T$

Q_{AGUA} = (2 444,4 kg) * (4,18 kJ / kg ºK) * (45 ºC)

Q_{AGUA} = **459 791,64 kJ**

Q_{AGUA} = **436 090,14 Btu**

$Q_{TOTAL} = Q_{Garbanzo} + Q_{Agua}$

Q_{TOTAL}= 691 704,55 kJ

Q_{TOTAL} = 655 296,29 BTU

Q_{TOTAL}= 19,5 BHP

Por lo tanto se determinó que la energía necesaria en el proceso de incubación para elevar de 15 ºC a 60 ºC se requiere de 655 296,29 BTU por hora con un 80 % adicional debido a las pérdidas de calor durante las 9 horas del periodo de incubación obteniendo así:

Q_{TOTAL}=**655 296,29 BTU**

$Q_{PÉRDIDAS}$= 80 % Q_{TOTAL}

$Q_{PÉRDIDAS}$= **524 237,032 BTU**

$$Q_{REQUERIDO} = Q_{TOTAL} + Q_{PÉRDIDAS}$$

$Q_{REQUERIDO}$ = (655 296,29+524 237,032) BTU

$Q_{REQUERIDO}$ = **1245 068,19 kJ**

$Q_{REQUERIDO}$= **1179 533,32 BTU**

3.7.4.5 Requerimientos de Combustible

El requerimiento de combustible (diesel) se determinó en función de la energía diaria utilizada en el proceso de incubación mediante la generación de vapor.

Se obtuvo:

$$\text{Diesel requeridos} = \frac{1\,244\,473{,}71\ kJ}{52\ 326\ KJ\ /kg}$$

Diesel requeridos = 23,78 kg

$$\text{Diesel diario} = \frac{23{,}78\ \text{kg}}{0{,}83\ \text{kg}\ /\ \text{l}}$$

Diesel diario = 28,65 l

Diesel diario = 7,6 gal + 10 % Pérdidas

Diesel diario = 8,36 gal

3.7.4.6 Requerimiento de Agua

En la tabla 3.11 se detalla los requerimientos de agua para el proceso de incubación y limpieza de la planta.

Tabla 3.11. Requerimientos de Agua Diarios, Mensuales y Anuales.

OPERACIÓN	REQUERIMIENTO DIARIO (m^3)	REQUERIMIENTO MENSUAL (m^3)	REQUERIMIENTO ANUAL (m^3)
Incubación	2,44	53,77	586,6
Limpieza de la planta	1	22	240
TOTAL	3,44	75,77	826,6

3.7.4.7 Requerimientos de Energía Eléctrica

Se determinó el consumo de energía eléctrica, partiendo de la estimación del tiempo de funcionamiento de la maquinaria y equipo detallado en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Requerimientos de Energía Eléctrica Diaria, Mensual y Anual

MAQUINARIA Y EQUIPO	POTENCIA (Kw)	TIEMPO FUNCIONAMIENTO (HORAS/DÍA)	Kw h/ DÍA	Kw h/ MES	Kw h/ AÑO
Molino Desintegrador (Nogueira)	11,1	2	22,2	444	5 328
Imtech DryGenic Dryer	68,75	5	343,75	6 875	82 500
Extrusor SLG85-Ⅲ	137,12	4	548,48	10 969,6	131 635,2
Macro-dosificador	1,5	2	3	60	720
Sensor de temperatura	0,25	12	3	60	720
Caldero	0,55	12	6,6	132	1 584
Consumo General	3	8	24	480	5 760
TOTAL			951,03	19 020,6	228 247,2

3.7.5 ESTUDIO ECONÓMICO

Mediante el estudio técnico-económico de la elaboración de la harina pre-cocida de garbanzo base para la elaboración de croquetas de falafel, se determinó los principales parámetros económicos, la viabilidad de la aplicación del proyecto a escala industrial, mediante el análisis de los principales indicadores financieros como el TIR, el VAN, el Punto de Equilibrio y la competitividad del producto en el mercado.

3.7.5.1 Inversión, Costos, Gastos y Ventas Netas

Tabla 3.13 Inversión Total Monto del Capital Propio y Financiamiento.

	Valor (Dólares)	%
Inversión fija	469 692	85,85
Capital de operaciones	77 399	14,15
INVERSIÓN TOTAL	547 091	100,00
CAPITAL PROPIO	218 837	40,00
FINANCIAMIENTO	328 255	60,00

Tabla 3.14 Inversión Fija

		Valor (Dólares)	%
Terrenos y construcciones		105 350	22,43
Maquinaria y equipo		311 532	66,33
Otros activos		30 444	6,48
SUMAN		447 326	95,24
Imprevistos de la inversión fija	% 5,0	22 366	4,76
TOTAL		469 692	100,00

En la tabla 3.13 se detalla el porcentaje de inversión en función del capital propio que es el 40 % y un financiamiento del 60 %.

En la tabla 3.14 se detalla los porcentajes de los montos obtenidos de la inversión fija. El detalle de los costo de la construcción y terreno se detallan en el anexo V para la maquinaria y el equipo en el anexo VI y para otros activos en el anexo VII.

Tabla 3.15 Capital de Operación

EGRESOS		
DENOMINACIÓN	Tiempo (meses)	Dólares
Materiales Directos	1	51 180
Mano de Obra Directa	1	2 490
Carga Fabril	1	10 706
Gastos de administración	1	3 023
Gastos de venta	1	10 000
TOTAL		77 399

El capital de operación es el 14,15 % de la inversión fija del cual se debe disponer en un periodo de 1 mes para el inicio de operación de la empresa. El capital de operación consta de Materiales directos detallados en el anexo VIII, Mano de obra directa detallada en el anexo IX, Carga fabril, gastos de administración y ventas.

Tabla 3.16 Ventas Netas.

PRODUCTO (S)	Cantidad (Kg)	Valor Unitario (Dólares)	Valor Total (Dólares)
Harina Pre-cocida	480 000	3,09	1 485 197
Harina Cruda	44 640	2,00	89 280
TOTAL			1 574 477

En la tabla 3.16 se detalla la cantidad de las ventas netas del periodo y el precio de un kilo de harina pre-cocida base para la elaboración de croquetas de falafel. El precio se determinó obteniendo el costo del producto el cual es igual a 1,77 USD adicionado un margen de utilidad del 75 % del costo del producto, obteniendo así un precio de 3,1 USD.

De la misma manera se determinó el precio para la harina cruda obtenida como un subproducto del proceso.

Tabla 3.17 Costos de Producción.

	Dólares	%
Materiales directos	614 160	75,315
Mano de obra directa	29 877	3,664
Carga fabril		
a) Mano de obra indirecta	14 580	1,788
b) Materiales indirectos	74 846	9,178
c) Depreciación	40 905	5,016
e) Suministros	24 642	3,022
d) Reparación y mantenimiento	7 284	0,893
f) Seguros	4 169	0,511
g) Imprevistos	4 993	0,612
TOTAL	815 456	100,000

De la tabla 3.17 se puede determinar que los materiales directos abarcan el 78,45 % de los costos de producción debido al precio del garbanzo importado.

Tabla 3.18 Gastos Financieros

CONCEPTO	Tasa	Dólares
Intereses del préstamo	9,3	30 528
TOTAL		30 528

La tasa de interés del financiamiento es acorde al valor dado por la Corporación Financiera de Nacional “CFN” para montos superiores a 1 000 000 USD e inferiores a 5 000 000 USD.

Tabla 3.19 Costo del Producto

	Dólares
Costo de producción	815 456
Costos de ventas	1 615
Gastos de administración y generales	1 086
Gastos de financiamiento	30 528
TOTAL	848 684

3.7.5.2 Punto de Equilibrio

Tabla 3.20 Punto de Equilibrio

	Costos Fijos (Dólares)	Costos Variables Totales (Dólares)
Materiales Directos		614 160
Mano de Obra Directa		29 877
Carga Fabril		
Mano de obra indirecta	14 580	
Materiales indirectos	74 846	
Depreciación	40 905	
Suministros	24 642	
Reparaciones y mantenimiento	7 284	
Seguros	4 169	
Imprevistos	4 993	
Gastos de ventas	55 435	
Gastos administración, generales	37 281	
Gastos financieros	30 528	
TOTAL	294 662	644 037
Punto de Equilibrio (%)	31,67	

En la tabla 3.20 se muestra el punto de equilibrio del proyecto en el cual se determinó que para cubrir el monto de la inversión realizada se debe llegar al 31,67 % de la capacidad productiva de la planta.

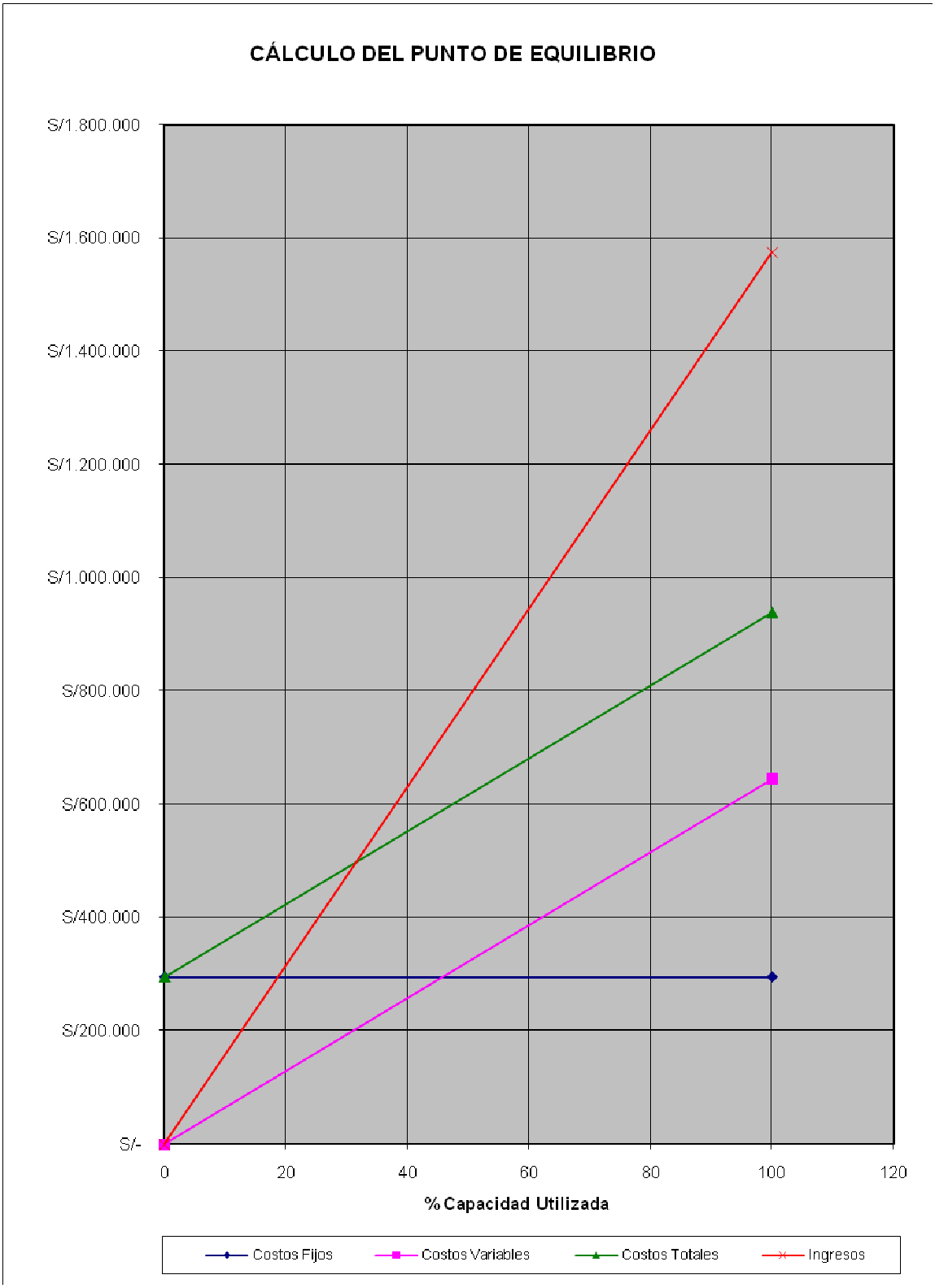


Figura 3.14 Punto de Equilibrio.

3.7.5.3 Estado de Pérdidas y Ganancias

Tabla 3.21 Estado de Pérdidas y Ganancias.

		Valor (Dólares)	%
Ventas netas		1 574 477	100,00
Costo de producción		815 456	51,79
Utilidad bruta en ventas		759 021	48,21
Gastos de ventas		55 435	3,52
Utilidad neta en ventas		703 587	44,69
Gastos de administración y generales		37 281	2,37
Utilidad neta en operaciones		666 306	42,32
Gastos de financiamiento		30 528	1,94
Reparto de utilidades a trabajadores	% 15,0	95 367	6,06
Utilidad neta del período antes del impuesto sobre las utilidades		540 411	34,32
RENTABILIDAD ANTES DEL IMPUESTO A LA RENTA			
			%
Sobre el capital propio			246,95
Sobre la inversión total			98,78
PUNTO DE EQUILIBRIO			31,67

En la tabla 3.21 se detalla el estado de pérdidas y ganancias donde se determinó que sobre el capital propio hay una rentabilidad del 246,95 % y un 98,78 % sobre la inversión total cuando la capacidad productiva de la planta llega al 100 %.

3.7.5.4 Flujo de Caja TIR y VAN

En la Tabla 3.22 se determinó que la inversión se recupera en un periodo de un año cuando la empresa empieza al 31,67 % de la capacidad productiva.

El TIR obtenido es del 78 % evidentemente superior al interés de oportunidad razón por la cual el proyecto es factible.

El VAN es mayor que cero lo que quiere decir que al final del periodo no existió perdidas.

Tabla 3.22 Flujo de Caja.

CONCEPTO POR AÑO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
CAPACIDA (%)	**0**	**30,37**	**75**	**100**	**100**	**100**
INGRESOS TOTALES	$ 0,00	$ 478 249,61	$ 1 180 875,00	$ 1 574 500,00	$ 1 574 500,00	$ 1 574 500,00
COSTOS TOTALES	$ 217 263,50	$ 478 249,61	$ 777 692,00	$ 938 702,00	$ 938 702,00	$ 938 702,00
F.C. antes de impuestos	**-$ 217 263,50**	**$ 0,00**	**$ 403 183,00**	**$ 635 798,00**	**$ 635 798,00**	**$ 635 798,00**
%15 Trabajadores		$ 0,00	$ 350 593,91	$ 552 867,83	$ 552 867,83	$ 552 867,83
35% Impuesto a la Renta	**-217 263,50**	**$ 0,00**	**$ 259 699,19**	**$ 409 531,72**	**$ 409 531,72**	**$ 409 531,72**
TIR	**78 %**					
VAN	**$ 991 171,31**					
TASA	**12 %**					

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Para la degradación del contenido de ácido fítico en el garbanzo se definió y aplicó un bio-tratamiento de incubación a un pH entre 6-7 y 60 ºC, debido a que presentó un alto porcentaje de degradación con respecto a los demás bio-tratamientos aplicados.

La aplicación del proceso de extrusión como tratamiento térmico para la reducción de la actividad de inhibidores de tripsina, reportó un rendimiento del 80 % de inactivación.

Se determinó que del segundo perfil de temperatura (80 ºC-100 ºC-150 ºC) y el contenido de humedad de las muestras a extruirce (25 %-30 %), se obtuvo un producto pre-cocido con un alto índice de gelatinización de almidones del 96% y propiedades funcionales acordes al producto final.

Se desarrolló un producto pre-cocido base, para la elaboración de croquetas de falafel con un alto valor nutricional.

Se realizó un estudio de pre-factibilidad para determinar la viabilidad de la aplicación del proyecto a escala industrial. Se analizó la ingeniaría del proyecto e indicadores económicos como el punto de equilibrio, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Obteniendo del estudio de pre-factibilidad un punto de equilibrio

del 31,67 %, un VAN del 991 171,31 USD y un TIR del 78 % resultados que indican que el proyecto es viable y factible para su ejecución.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas de aceptabilidad del producto con participación de la población objetiva (árabe e hindú).

Se recomienda analizar la digestibilidad proteica del producto para obtener la relación de eficiencia proteínica y relación proteína neta de garbanzo, así como la digestibilidad de los almidones ya que es conocido que el proceso de extrusión aumenta la digestibilidad de proteínas y almidones en harinas extruidas.

Se recomienda analizar y dar valor agregado a la testa del garbanzo ya que en ella se ubica el mayor contenido de calcio y polifenoles de la semilla.

Se recomienda optimizar el proceso de obtención del gritz de garbanzo ya que los rendimientos obtenidos pueden ser superados mediante la aplicación de otro tipo de tecnología.

Se recomienda optimizar el proceso de obtención del gritz de garbanzo ya que los rendimientos obtenidos pueden ser superados mediante la aplicación de otro tipo de tecnología.

Se recomienda la investigación del uso y aplicación de fitasa exógena para acortar el tiempo de incubación.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson R., Connway H, Pfreifer V., 1 969, “Gelatinization of corn grits by role and extrusion cooking”, 1era Edición, Editorial Cereal Sci, pp. 4-12.

Barbosa G., Vega-Mercado H., 2 000, “Deshidratación de Alimentos”, 1era Edición, Edición Acribia, Zaragoza, España, pp. 190-192.

Chichester C., 1 982, “Phytates in legumes and cereals”, Editorial Academic Press, New York, USA, pp. 1-75.

Cisneros I., 1 995, “Efectos de diversos procesos sobre el contenido de fitatos en la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa willd*)”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp. 36, 41- 48.

Clemente, A., 1 997, “Hidrolizados de proteína de garbanzo”, Proyecto de Titulación previo a la obtención del título de doctorado en alimentos, Instituto de la Grasa, Sevilla, España, pp. 34-108.

Colonna P., Tayeb J., Mercier C., 1 983, “Extrusion cooking of starch and starchy products”, Harper J. and Mercier C, “Extrusion Cooking”, Editorial American Association of Cereal Chemists, St. Paul, USA, pp. 281-308

Coyago E., 2 003, “Estudio de las características Físico-químicas Funcionales y Reológicas de las masa de Banano Seda, Plátano Dominico y Barraganete”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador pp. 20-23; 53-54.

García S., Pastrana C., Fekete A., 2 002, “Cultivo de garbanzo”, Salta, Argentina, pp. 57-60.

Ghirardi, A., 1 974, “Polar lipids of defatted chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour and protein isolates”, Sánchez-Vioque R., Clemente A., Vioque J., Bautista J., Millán F., 1 998, “Food Chemestry”, Sevilla, España, pp 357- 361

Gómez R., Reyes C., Romero C., 2 000, “Composición química y calidad nutritiva de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) fresco y endurecido después de la fermentación en estado sólido (FES)”, Food science and technology, 6 (3), Bioresource technology, 16.

Harper J.; Mercier C., 1 989, “Extrusion Cooking”, Linko P., Editorial American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA, pp. 1-17, 235-247, 399, 465.

Keshun L, 1 999, “Soybeans Chemistry Technology and Utilization”, Meryland, USA, pp. 104-110.

Lineback D., 1 982, “Food Carbohydrates cereals and legumes”, Editorial The Avi Publishing Company Inc., Westport, Connecticut, USA, pp. 494-504.

Luna A., 2 006, “Valor Nutricional de la Soya”, Investigación y Ciencia, ISSA: 1665-4412, (36), 34.

Lupera G., Villacis M., 2 003, “Análisis Técnico Económico de suplementación calórico de alimentos farináceos con harina de soya desengrasada”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp. 70, 87, 88, 90, 118.

Marvin L., 1 976, “Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, Segunda Edición”, American Public Health Association, Washington DC, USA, pp. 600-602.

Moreno C., Milan J., Rouzaud O., Garzón J., 2 002, “Descascarillado, Suavización, Extrusión alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo”, ISSN: 1405-3195, (12), 89.

O´Connor C., 1 987, “Extrusion Technology for the Food Industry”,ELSEVIER APPLIED SCIENCE, 89 (78), pp.75.

Pazmiño K., 2 005, “Elaboración De Harina Pre-Cocida De Plátano Y Banano Por Tres Métodos Y Evaluación De Las Propiedades Funcionales, Sensoriales Y Nutricionales De Las Harinas Pre-Cocidas”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp. 80-106; 148-182, 190, 215.

Polit P., Dávila J., Ruales J., Acuña O., 1 992, “Memorias del Seminario Taller Sobre Extrusión de Alimentos”, Edición 1era, Quito, Ecuador, pp. 23-46; 125-133.

Pilosof A., Bartholomai G., 2 000, “Caracterización funcional y estructural de proteínas”, Editorial Eudeba, Argentina, Buenos Aires, pp. 17-18.

Richardson M., 1 991,”The influence of pea seed trypsin inhibitors on the in Inter Science” Journal of the Science of Food and Agriculture, 68 (32) 97.

Ruales J., Dominique D., Carpio C., 1 996, “Almidón Propiedades Físico – Químicas, Funcionales y Nutricionales”, EPN, Quito, Ecuador, pp. 1- 23, 77, 107- 110.

Ruales J., Carpio C., Santacruz S., 2 000, “Manual de métodos de caracterización de carbohidratos”, EPN, Quito, Ecuador, pp. 53-54.

Ruales, J. And Nair, B. 1 994, “Properties of starch and dietary fiber in raw and processed quinoa (Chenopodium quinoa, Willd) seeds”, Plant Foods for Human Nutrition, pp. 223-246.

Saxena M. Larry D. Robertson k., 1 996, “Adaptation of chickpea in the West Asia and North Africa region, Springer Netherlands, Useful genetic diversity in germplasm collections of food and forage legumes from West Asia and North Africa”, Alepo, Sirya pp.447-470.

Singh B.; Satyanarayanta T., 2 007, “Phytase production by a thermophilic mould *Sporotrichum Thermophile,*in solid state fermentation and its potential applications”, Bioresource Technology Science Direct, 25 (107), 58.

Armienta C., Milan J., Mora R., 1 999, "Fermentación en estado sólido (FES) y descascarillado / suavización / extrusión (DSE): Alternativas tecnológicas para la utilización de garbanzo (Cicer arietinum L)” http://www.pnctacoca-cola.com.mx/pages/pncta_investigaciones_99b.asp#res, Enero (2 009)

Baumler J., 2 000, “**The History of Falafel”** http://www.bellaonline.com/articles/art46383.asp**, (Enero, 2 009)**

Brenes A. y Brenes J., 1 993,” Tratamiento Tecnológico de los Granos De Leguminosas: Influencia Sobre su Valor Nutritivo” http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_11.pdf , (Diciembre, 2 008)

Enzymedia, 2 007 “ Advance Enzimes” http://www.enzymeindia.com/enzymes/Phytase, (Julio,2 008)

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas, 2 005 “El Garbanzo *(Cicer Arietinum L)* http://fenalce.net/pagina.php?p_a=56, (Enero, 2 009).

Infoagro, 2002 **“El Cultivo del Garbanzo”** http://www.infoagro.com/herbaceos/legumbres/garbanzo.htm**, (Diciembre, 2008)**

Marginet J, 2 002," El Garbanzo y sus Perspectivas" http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/alimentos/001_Alimentos_ElGarbanzo_JoseLuisMarginetCampos.php3, (Enero, 2 009).

Practically Edible, 2 007, "Chickpea Flour" http://www.practicallyedible.com/edible.nsf/encyclopaedia!openframeset&frame=Right&Src=/edible.nsf/pages/chickpeaflour!opendocument, (Enero, 2 009)

Rodríguez P., San Martín M., González G., 2 001" Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada" http://www.fis.cinvestav.mx/~smcsyv/supyvac/13/sv136101.pdf, (Octubre, 2 008)

Tacon, A., 1 995, "Factores anti-nutricionales endógenos presentes en los productos alimenticios vegetales" *http://www.fao.org/DOCREP/003/T0700S/T0700S06.htm*, (Diciembre, 2 008).

ANEXO I

METODOS DE DETERMINACIÓN DE FITATOS POR INTERCAMBIO ANIÓNICO

(AOAC Official Method 986.11. 2 007).

Reactivos y Materiales

Materiales

a) Columnas: 0.7 x 15 cm. con llave.
b) Resina de intercambio aniónico DOWEX1 (* AGI-X4) (100-200 mesh).
c) Micro-Kjeldahl de 100 ml. * o tubos de digestión de 25 x 200mm.
d) Bloque de digestión Micro-Kjeldahl.
e) Espectrofotómetro (640 nm.)

Soluciones

a) HCl 2.4 % Añadir 54 ml. de HCl y diluir a 1 lt.
b) Solución de NaCl 0.1 y 0.7 M.
c) Solución estándar de fosfato (80 ug /ml) se pesa 0,350g fosfato de potasio en 500 ml. de agua y 10 ml. de H_2 SO_4 10 N y se afora hasta 1L con agua destilada.
d) Solución de molibdato: 2.5 % de $(NH_4)_3(MoO_4)$ en 0,5 (H_2 SO_4). Disolver 12.5 g $(NH_4)_3(MoO_4)$ en 200 ml de agua. Esta solución se transfiere a un matraz de 500 ml. añadir 50 ml. de H_2 SO_4 y aforar.
e) Regente *Acido* Sulfúrico (*Acido* 1 amino, 2 naftol, 4 sulfónico). Disolver 0.16 g de ácido sulfónico, 192 g Na_2 SO_3 y 9.6 g $NaHSO_3$ en 90 ml de agua, calentar

si es necesario, aforar a 100 ml. y almacenar en botella oscura en refrigeración. “Preparación semanal”.

f) Na_2 EDTA-NaOH regente. En un matraz de 250 ml poner 10.23 g de Na_2 EDTA-NaOH (0.11 M.) y 7.5 g de NaOH (0.75 M) y aforar.

Soluciones

Ajustar el espectrofotómetro a 640 nm., y equilibrarlo por más de quince minutos. Pipetear 1,3 y 5 ml de solución estándar y en un matraz de 50ml añadir lentamente 20 ml de agua, mezclar, luego 2 ml de solución de molibdato, mezclar bien. Esperar 15 minutos y leer en el espectrofotómetro a 640 nm

Curva típica:

Solución estándar (80 µg P/ml)

mL. Std.	µP	A	Conc/A (K)
1	80	0.1805	443,21
3	240	0.516	465,125
5	400	0.852	469,49
“K media”			459,27

Método:

Pesaje de Muestras:

Se pesaron 2,000 g de muestras y colocaron en un erlenmeyer de 125 ml, s adicionó 40 ml de HCl (2.4 %), se tapo y agitó por tres horas (Agitador magnético, KAMAG REC6).

Extracción:

Extraer el fitato usando HCl diluido. El extracto es mezclado con EDTA/NaOH en solución y colocado en columna. El fitato es eluído con NaCl 0.7 M y digerido en húmedo con mezcla de HNO_3 y H_2SO_4 . Para reducir al fósforo, el cual se mide colorimétricamente. El contenido de fitato es la muestra original se mide como equivalente en hexafosfato.

Preparación de columnas:

Se añadieron 3 ml de agua en columna vacía para luego verter una suspensión acuosa de 0.5 g de resina en la columna. Después de que el lecho de resina se ha formado se lavo la columna con 15 ml de NaCl (0.7M) y con 15 ml de agua.

Filtrado:

Se removió la muestra del agitador, se dejó decantar durante una hora, para luego filtrar la muestra, (Filtros milipore FSLW 02500 tipo FS Tamaño 0.8 micras). La muestra extraída es estable hasta 1 semana en refrigeración.

Preparación del blanco:

Se preparó el blanco mezclando 1 ml de HCl (2.4 %) con 1 ml de la solución de EDTA, se lleva a 25 ml y se vertió la mezcla en la columna.

Separación por intercambio aniónico:

Se tomo 1 ml del filtrado, se añadió 1 ml de Na_2EDTA y se aforo a 25 ml, se mezclo y valoró. Se transfirió a la columna, se descargo el eluído, se eluyó con 15 ml de agua, y se descarga. Se eluyó con 15 ml de NaCl 0.1M, y nuevamente se descargo. Se eluyó con 15 ml de NaCl 0.7 M. Se colectó esta fracción en un tubo de digestión. Antes de añadir una nueva muestra a la columna se hizo un lavado de la columna con 15 ml de agua. (Cambiar la resina en una semana o cada tres muestras).

Digestión Acida:

Se añadieron 0.5 ml de H_2SO_4 y 3ml de HNO_3 en el tubo. Se añadieron tres núcleos de ebullición. Se hizo la Digestión (micro Kjeltec, Tecator, Digestion System 6, 1 007 Digester) a calor medio *(t=250 ºC) hasta que cese la ebullición activa (35 minutos) y la nube de vapor espeso amarillo desaparezca del cuello del tubo, se dejaron cinco minutos más y se apago el quemador.

En el frasco frío se añadió 10 ml de agua, se agito, y se calentó a baja temperatura *(150 ºC) para disolver la sal. Se continua calentando a baja temperatura *(150 ºC) durante 10 minutos más. Se saco la solución, se enfrío y valoró.

Cuantificación por espectrofotometría:

Se transfirió la solución a un matraz de 50 ml. Se añadió 2 ml de solución de molibdato, se mezcla bien; se añadió 1 ml de ácido sulfónico, se mezcla bien y se afora. Se mezcló, se dejó en reposo quince minutos y se leyó a 640 nm (Espectrofotómetro UV-visible, Shimadzu, UV-160 A). Se calculó fitatos en el alimento, de acuerdo a la formula:

Cálculos:

$$\text{Fitato (mg/g muestra)} = (K \times A \times 20) / (0.282 \times 1000))$$

Donde:

A = absorbancia

K = Std P(µg)/ A/n(stdas)

Fitato = 28.2 % de P

ANEXO II

ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA), ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA), PODER DE HINCHAMIENTO (PH).

Referencia: Anderson, R., Conway, H. F., Pheiser, V.F. anf Griffin, E.L. (1 969).

Gelatinisation of corns grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today, 14, 4-12.

Materiales y Equipo:

- Cajas petri
- Tubos de centrífuga (50 ml) de vidrio o plástico
- Agitadores magnéticos
- Probeta de 50 ml
- Plancha de agitación
- Baño de temperatura controlada a 30 ºC
- Centrífuga
- Tubos de centrífuga graduados
- Papel filtro de poro delgado
- Embudos
- Vasos de precipitación
- Pipeta de 10 ml
- Desecador

Metodo:

1. Tarar las cajas petri a 90 ºC por 4 horas o a 75 ºC por una noche.
2. Pesar 2.5 g de muestra en un tubo de centrífuga que contiene un agitador magnético. Realizar el análisis por duplicado.
3. Mientras se pesa las muestras, calentar 30 ml de agua destilada, a 30 ºC, y también tener el baño a temperatura controlada de 30 ºC.
4. Agregar 30 ml. de agua a cada tubo, y agitar bien en el equipo de agitación. En lo posible debe evitarse utilizar una varilla de vidrio.
5. Incubar en el baño con agitación durante 30 minutos.
6. Secar bien los tubos y ponerlos en la centrífuga.
7. Centrifugar a 5000 r.p.m. durante 20 minutos.
8. Después de centrifugar se deben tener separados el gel y el sobrenadante. Si no es así, centrifugar por 10 minutos mas a 6000 r. p. m.
9. Decantar el sobrenadante en tubo de centrífuga graduado y medir el volumen. No descartar el gel del tubo.
10. Filtrar sobrenadante.
11. Descartar lo que queda en el papel filtro.
12. Tomar 10 ml. de filtrado y secar por 4 horas a 90 ºC en las cajas petri.
13. Pesar el gel que quedo en el tubo.
14. En el caso de que no se haya separado el sobrenadante, pesar todo lo que queda en el tubo.

Realizar una tabla donde se registraran los siguientes valores:

- Nombre de la muestra.
- Peso del tubo con agitador.
- Peso de la muestra.
- Volumen del sobrenadante.
- Peso del tubo con el gel y agitador.
- Peso de la caja petri tarada.

- Peso de la caja petri con la muestra seca.

Calculos:

Índice de absorción de agua (IAA):

IAA = Peso del gel (g) / Peso de la muestra (g)

Índice de solubilidad en agua (ISA):

ISA = ((Peso de solubles (g)) / (Peso de la muestra (g))*100

Poder de Hinchamiento (PH)

PH= (Peso de Gel) / (Peso de la muestra – Peso de solubles)

ANEXO III
GRADO DE GELATINIZACIÓN

Referencia: Ruales, J. And Nair, B. (1 994). Properties of starch and dietary fiber in raw and processed quinoa (Chenopodium quinoa, Willd) seeds. Plant Foods for Human Nutrition, 45, 223-246.

Materiales y Equipo:

- Equipo de barrido colorimétrico diferencial
- Celdas de aluminio de cierre hermético

Metodo:

1. Preparar suspensiones de almidón de la muestra a determinar el grado de gelatinización, con una relación agua: almidón de 3:1. La suspensión deberá ser preparada directamente en la celda, minutos antes de realizar el análisis en el equipo.
2. Trabajar con pesos de muestra entre 10 y 15 mg.
3. Usar como celda de referencia una celda vacía.
4. El intervalo de temperatura de trabajo deberá estar comprendido entre 15 y 165 ºC, con una razón de calentamiento de 15 ºC/min.
5. Determinar la entalpía de gelatinización de la muestra ($\Delta H1$), la misma que corresponde al área bajo la curva del termograma obtenido.
6. Preparar suspensiones de almidón nativo correspondiente al mismo tipo de la muestra que desea conocer el grado de gelatinización y proceder a determinar la entalpía de gelatinización ($\Delta H2$) de acuerdo a los numerales 1 al 4.

7. Calcular el porcentaje de grado de gelatinización.

Calculos:

Porcentaje de grado de gelatinización = $100 - \frac{\Delta H1}{\Delta H2} \times 100$.

ANEXO IV

DETERMINACIÓN DE INHIBIDORES DE TRIPSINA

Los inhibidores de tripsina es el anti-nutricional más conocido de entre los demás contenidos en los granos de soya. Además es el de más difícil eliminación por tratamiento térmico razón por la cual es un indicador de la efectividad en los tratamientos térmicos en la soya y sus productos.

Determinación

El método estándar AACC para la determinación de inhibidores de tripsina contenido en la soya y sus productos (AACC 71-10) se basa en el uso de un sustrato benzoil-DL-arginina-p-nitroalanina hidrocloridro (BAPA). Se ha demostrado el método el cual es basado en el grado de inhibición de la tripsina sobre la hidrolización del sustrato BAPA.

Reactivos y Materiales

- Soluciones de NaOH: 0,01 N y 1 N.
- Soluciones de HCl: 0,001 N y 1 N.
- Solución de ácido acético: 30 % de ácido acético, contenido en 30 ml en 70 ml de agua destilada.
- Tris Buffer: 1,21 g de Tris (hidroximetil) aminometano y 0,58 g de $CaCl_2$-$2H_2O$, son disueltos en 180ml de agua destilada. El pH es ajustado a 8,2 con N HCL y aforado con agua destilada. La solución es precalentada a 37 ºC (estable 8 horas).
- Sustrato BAPA: 0,080 g de BAPA son disueltos en 2 ml de dimetil solfoxido y diluido con 200 ml del Tris buffer precalentado a 37 ºC (Estable 4 horas).

- Solución de Tripsina: 0,0020 g de tripsina son pesados y diluidos con 100 ml con 0,001N de HCl.
- Muestra de harina de Soya desengrasada (200 mesh).

Preparación del extracto.

Un gramo finamente molida es extraída con 50ml de 0,01N NaOH por tres horas a temperatura ambiente, agitado constante y lentamente con agitadores magnéticos. El pH de la solución resultante es ajustado a 8,4 con 1N de NaOH o 1N de HCl. La suspensión es diluida con agua destilada hasta el punto donde 2ml de las muestras produce una inhibición del 40 % o 60 % de la tripsina usada como el estándar del análisis.

Determinación

1. Para cada muestra se requiere de 4 tubos de prueba, 2ml del extracto eluído son adicionados. Un quinto tubo es preparado con Tripsina adicionando 2 ml de agua destilada.
2. Para el tercero de los cuatro tubos contiene el extracto con 2 ml de agua destilada, 2 ml de la solución de tripsina son adicionadas, las mismas que son mezcladas en un baño termostático a 37 ºC por 10 minutos. Los tres tubos son las muestras analizadas.
3. 5ml de BAPA precalentado a 37 ºC es rápidamente adicionado en cada tubo, son mezclados e inmediatamente regresados al baño termostático.
4. La reacción es terminada exactamente en 10 minutos, inmediatamente de añade 1 ml de acido acético e inmediatamente mezclados.
5. El contenido de cada tubo es filtrado (Whatman No 3) y la absorbancia de cada muestra es medida a 410 nm con relación al blanco de la muestra.

6. El blanco de la muestra es preparado de igual manera a excepción que la tripsina es adicionada después de la reacción a finalizado por la adición de el acido acético.

Cálculo

$$IT\ mg/g = \frac{(Abs_{est.} - Abs_{muestras})\ (factor\ de\ dilución)}{(0{,}019 \times peso\ de\ la\ muestra\ g)(1000 \times cantidad\ de\ la\ muestra\ ml)}$$

ANEXO V

COSTO TERRENO Y CONSTRUCCIÓN

TERRENO	Cantidad (m^2)	Valor Unitario (Dólares)	Valor Total (Dólares)
Terreno	500,00	40,00	20 000,00
CONSTRUCCIONES			
Fábrica	200,00	220,00	44 000,00
Oficinas y laboratorio	30,00	220,00	6 600,00
Exteriores y cerramiento	500,00	15,00	7 500,00
Bodegas	150,00	140,00	21 000,00
Vestidores y Baños	30,00	200,00	6 000,00
Guardianía	1,00	250,00	250,00
TOTAL			S/ 105 350

ANEXO VI

MAQUINARIA Y EQUIPO

DENOMINACIÓN		Valor Ex-Aduana (Dólares)
Equipo de Producción		244 200
Equipo Auxiliar		30 832
Gastos de Instalación y Montaje		20 000
Camión o vehículos de trabajo		16 500
	TOTAL	311 532

ANEXO VII

OTROS ACTIVOS

DENOMINACIÓN	Dólares
Equipos y muebles de oficina	3 000
Constitución de la sociedad	2 000
Material y suministros	1 000
Equipos de computación	3 600
Imprevistos 5% de Total de ANEXO 1 + ANEXO 2	20 844
TOTAL	30 444

ANEXO VIII

MATERIALES DIRECTOS

DENOMINACION	Cantidad (Kg)	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
GARBANZO	545 040	1,00	545 040,00
CONDIMENTOS	19 200	3,00	57 600,00
SAL	9 600	1,20	11 520,00
TOTAL			614 160,00

ANEXO IX

MANO DE OBRA DIRECTA

DENOMINACION		N°	Sueldo Mensual (dólares)	Total Anual (dólares)
Calificada		1	400,00	4 800
Semi-calificados		2	300,00	7 200
No calificados		4	218,00	10 464
				-
	SUMAN			22 464
	-			
	%			
Cargas sociales	33,0			7 413
	TOTAL			29 877

ANEXO X

COSTO DE VENTAS

GASTOS DE PERSONAL		N°	Sueldo Mensual (Dólares)		Total Anual (Dólares
VENDEDOR		1		1 100	13 200
	SUMAN				13 200
	-	%			
Cargas sociales		35,0			4 620
	SUMAN				17 820
GASTOS DE PROMOCIÓN					
Publicidad		12	S/	3 000	36 000
	SUMAN				53 820
	-	%			
Imprevistos		3,0			1 615
	TOTAL				55 435

ANEXO XI

GASTOS DE ADMINISTRACIÓN Y GENERALES

PERSONAL		N°	Sueldo Mensual (dólares)	Total Anual (dólares)
Gerente General		1	1 600	19 200
Contador		1	600	7 200
SUMAN				26 400
Cargas sociales	% 33,0			8 712
SUMAN				35 112
Depreciación de muebles y equipo de oficina (10 años)				300
Amortización de constitución de la sociedad (10 años)				200
Depreciación Equipos laboratorio (10 años)				83
Gastos de oficina (suministros)				500
Imprevistos	% 3,0			1 086
TOTAL				37 281