



**ESTUDIO DEL EFECTO DEL ESCALDADO EN ALGUNAS PROPIEDADES DE
LA HARINA DE GUANDUL (*Cajanus cajan L. Millps*)**

**JUAN JOSE BENITEZ CORDOBA
JOHN ALEJANDRO BUSTAMANTE GRIJALBA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI**

2011

**ESTUDIO DEL EFECTO DEL ESCALDADO EN ALGUNAS PROPIEDADES DE
LA HARINA DE GUANDUL (*Cajanus cajan L. Millps*)**

**Trabajo de grado presentado como requisito
para optar al título de Ingeniero de Alimentos**

**JUAN JOSE BENITEZ CORDOBA
JOHN ALEJANDRO BUSTAMANTE GRIJALBA**

Director

Prof. Alejandro Fernández Quintero, PhD.

Codirector

Prof. Cecilia Madriñán, M. Sc.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI**

2011

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres y familia involucrados en la formación profesional y apoyo a lo largo de nuestra carrera.

Al Doctor Carlos Arturo Erazo y Ana de Dios Elizalde, Nutricionista, por su apoyo y recomendaciones; igualmente a nuestro Director Alejandro Fernández Quintero y Codirectora Cecilia Madriñan por su acompañamiento y buena guía.

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias primeramente a Dios quien nos ha permitido finalizar nuestro Proyecto de Grado y culminar con éxito esta parte importante de nuestras vidas. Agradecemos a nuestros padres y familia su gran sacrificio por darnos la oportunidad de empezar a construir un gran futuro basado en la disciplina y el amor por el estudio.

A la Universidad del Valle por darnos una formación Profesional de primera calidad tanto a nivel académico como personal.

A los profesores Alejandro Fernández Quintero y Cecilia Madriñan por ser nuestras guías y permitir que trabajáramos conjuntamente.

Agradecemos profundamente al Doctor Carlos Arturo Erazo y a su señora esposa Ana de Dios Elizalde, Nutricionista, ambos docentes de la Universidad del Cauca por su apoyo incondicional y asesoría en la elaboración de nuestro Proyecto de Grado.

A Jennifer Orobio y Mabel Zabala gracias por su asesoría estadística la cual nos permitió sacar este proyecto adelante con resultados y conclusiones claras.

A las directivas del Instituto *“Nuestra Señora de la Asunción”* e *“Institución Educativa Eustaquio Palacios”* por su compromiso con la educación y hacer de nosotros personas con valores y cualidades necesarias para ser profesionales íntegros.

A nuestros amigos y compañeros de estudio que nos acompañaron en estos años, compartiendo juntos nuestros triunfos y dándonos animo en las dificultades que se nos presentaron.

A todos y cada uno de ustedes muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	5
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS.....	10
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 OBETIVO GENERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
4. MARCO TEORICO.....	21
4.1 Cocción.....	25
4.2 Capacidad Espesante.....	28
4.3 Secado	29
4.3 Molienda	34
4.4 Tamizado.....	35
5. ANTECEDENTES	36
6. METODOLOGIA.....	41
6.1 Recursos y Materiales Disponibles	41
6. 2 Escaldado.....	42
6.3 Secado	43
6.4 Molienda y Tamizado	43
6.5 Estudio de Capacidad Espesante	44
6.6 Actividad de la antitripsina.....	44

6.7 Contenido de proteína y análisis proximal.....	44
6.8 Análisis estadístico.....	44
6.8.1 Factores y Niveles.....	46
6.9 Tratamientos.....	46
6.10 Control Local	47
7. RESULTADOS	49
7.1 Pruebas Preliminares	50
7.1.1 Prueba de Ureasa	50
7.1.1.1 Análisis Descriptivo.....	51
7.1.1.2 Análisis de Varianza	53
7.1.1.3 Determinación del Tamaño de Muestra.....	55
7.1.2 Prueba de viscosidad	55
7.2 Resultados de la corrida experimental.....	56
7.2.1 Prueba de Ureasa	56
7.2.2 Contenido de Proteína total	60
7.2.3 Viscosidad	64
7.2.3.1 Temperatura de Gelatinización (Trg)	65
7.2.3.2 Viscosidad Máxima (Vmax).....	66
7.2.3.3 Viscosidad inicial a los 90 °C	70
7.2.4 Análisis de la curva de secado.....	72
7.2.5 Valor nutricional de la harina de guandul fresca y escaldado 15 min.	78
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81

ANEXOS.....	85
1. Equipos Usados.....	85
1.1 Molino Forrajero	85
1.2 Molino Cyclone.....	85
1.3 Tamiz Ro-Tap.....	86
1.4 Escaldador	86
1.5 Viscoamilografo Brabender	86
1.6 pH metro	87
2. Secado.....	88
3. Validación de supuestos del modelo experimental factorial.	90
4. Prueba de Ureasa Norma NTC 771. tortas de soya. Determinación de la ureasa.....	91
5. Estadísticos de prueba usados y códigos en R.....	92
5.1 Prueba de Tukey	92
5.1.1 Intervalos de confianza simultáneos de $100(1 - \alpha) \%$	93
5.1.2 Regla de decisión.....	93
5.2 Prueba Tukey para muestras desbalanceadas	93
5.3 Prueba Dunnett con respecto a la prueba ureasa	94
5.4 Ajuste modelos de regresión lineal (Shapiro Wilk y Breusch–Pagan)	95
5.5 Prueba de significancia parámetros fijos (t-student).....	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valor nutricional y antinutrientes de los granos de Guandul.....	21
Tabla 2. Propiedades reológicas de la harina.	25
Tabla 3. Recursos y materiales	42
Tabla 4. Aleatorización de las corridas experimentales.....	47
Tabla 5. Control local ejercido.	48
Tabla 6. Mediciones de la actividad de la ureasa.....	51
Tabla 7. Estadísticas básicas de la actividad de la ureasa según el tratamiento	51
Tabla 8. ANOVA de la Actividad de la Ureasa.	53
Tabla 9. Granulometría formulada en la harina.....	56
Tabla 10. Resultados de la Prueba ureasa según el tratamiento (Diferencia de pH).....	56
Tabla 11. Valores de los descriptores estadísticos de la prueba ureasa según el tratamiento.....	57
Tabla 12. Análisis de Varianza ANOVA con los resultados de la actividad de ureasa.....	59
Tabla 13. Prueba de Tukey sobre los resultados de la actividad de ureasa según el tratamiento.	59
Tabla 14. Prueba Dunnett con los resultados de actividad de ureasa según el tratamiento.	60
Tabla 15. Resultados del contenido de proteína total según el tratamiento.	60
Tabla 16. Valores de los descriptores estadísticos para el contenido de proteína total.	61
Tabla 17. Análisis de Varianza ANOVA con los resultados del contenido de proteína total.	62
Tabla 18. Prueba de Tukey sobre los resultados del contenido de proteína total según el tratamiento.....	63
Tabla 19. Prueba de Dunnett con los resultados del contenido de proteína total según el tratamiento.....	64
Tabla 20. Resultados de la curva de empastamiento.....	64
Tabla 21. Valores de los descriptores estadísticos de la curva de empastamiento.	65
Tabla 22. Temperatura de Gelatinización de diferentes almidones.....	66
Tabla 23. Análisis de Varianza ANOVA para la temperatura de Gelatinización (T_{rg}).....	66
Tabla 24. Análisis de Varianza ANOVA para la viscosidad máxima.	68
Tabla 25. Prueba de Tukey sobre los resultados de la viscosidad máxima.....	69
Tabla 26. Prueba Dunnett con los resultados de viscosidad máxima según el tratamiento.....	69
Tabla 27. Análisis de Varianza ANOVA para la viscosidad inicial a los 90°C.....	71
Tabla 28. Prueba de Tukey sobre los resultados de la viscosidad inicial a los 90°C (Vi 90°C).	72

Tabla 29. Prueba Dunnett con los resultados de viscosidad inicial a los 90°C según el tratamiento.	72
Tabla 30. Porcentaje de agua ganada para cada tipo de escaldado.	73
Tabla 31. Parámetros de la ecuación 8 que describe el secado de las muestras escaldadas en agua.	74
Tabla 32. Parámetros de la ecuación 8 que describe el secado de las muestras escaldadas en vapor.	75
Tabla 33. Validación de supuestos para los modelos de regresión de la cinética de secado.	75
Tabla 34. Análisis de Varianza ANOVA para la constante de velocidad de secado.	76
Tabla 35. Prueba de Tukey para la constante de velocidad de secado.	77
Tabla 36. Prueba t - student para probar significancia del parámetro fijo A ($6/\pi^2$) parámetro fijo....	77
Tabla 37. Valor Proximal de la harina obtenida.	78
Tabla 38. Datos experimentales de las curvas de secado para Escaldado en Agua.	88
Tabla 39. Datos experimentales de las curvas de secado para Escaldado en Vapor.	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva típica de viscosidad reportada por un Viscoamilografo Brabender.	24
Figura 2. Actividad de la ureasa de las dos variedades de Soja a diferentes tiempos de procesamiento.	27
Figura 3. Actividad del inhibidor de tripsina de las dos variedades de Soja a diferentes tiempos de procesamiento.	27
Figura 4. Esquema de un Secador de Bandejas. Fuente (Situs , 2004).	30
Figura 5. Curva típica de velocidad de secado constante: a) gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo. b) Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.	31
Figura 6. Proceso de elaboración de la harina de guandul.	41
Figura 7. Cambio de apariencia de los granos de Guandul y harina. a) Grano fresco, b) Grano escaldado en agua, c) Grano escaldado en vapor y d) Harina.	49
Figura 8. Diagrama de puntos de la actividad de la ureasa según el tratamiento.	52
Figura 9. Diagrama de cajas con los resultados de la actividad de la ureasa según el tratamiento.	58
Figura 10. Comparación de la actividad de ureasa a los diferentes tiempos de escaldado en agua y vapor.	58
Figura 11. Diagrama de cajas con los resultados del contenido de proteína total según el tratamiento.	61
Figura 12. Comparación del contenido de proteína total a los diferentes tiempos de escaldado en agua y vapor.	62
Figura 13. Diagrama de cajas con la temperatura de gelatinización (Trg) según el tratamiento. ..	65
Figura 14. Diagrama de cajas para la viscosidad máxima según el tratamiento.	67
Figura 15. Comparación de la viscosidad máxima a los diferentes tiempos de escaldado en agua y vapor.	68
Figura 16. Diagrama de cajas para la viscosidad inicial a los 90°C (Vi 90°C) según el tratamiento.	70
Figura 17. Comparación de la viscosidad inicial a los 90°C a los diferentes tiempos de escaldado en agua y vapor.	71
Figura 18. Curva de humedad libre en función del tiempo.	73
Figura 19. Velocidad de secado en función de la humedad libre.	74
Figura 20. Diagrama de cajas para la constante de velocidad de secado.	76

RESUMEN

Con el presente documento se pretende estudiar el efecto del escaldado en agua y vapor por 5, 10 y 15 minutos sobre la harina de Guandul (*Cajanus cajan*), empleando la actividad de la ureasa como indicativo de un buen proceso de calor tal y como se efectúa con los granos de soja.

Después de realizado el proceso de escaldado se secaron y molieron los granos se evaluó actividad de ureasa, proteína total y curva de empastamiento por medio del viscoamilógrafo Brabender. El escaldo en vapor por 15 minutos fue el único tratamiento con el que se logró inactivar la ureasa, viéndose afectado el contenido de proteína total y la calidad del almidón ya que en este último la viscosidad alcanzada por la pasta a una concentración de 12% p/v fue mucho menor en comparación a la muestra control y demás tratamientos.

Palabras clave: *Guandul, escaldado, ureasa, proteína total y viscosidad.*

INTRODUCCIÓN

El gandul (*Cajanus cajan*), es un frijol de alto contenido alimenticio, fácil de cosechar y muy económico, pero que es poco apreciado ya que sólo lo consumen las clases populares. Es conocido también como Guandul, frijol caballero, frijol arveja o chícharo, es un arbusto originario del África occidental muy extendido en Latinoamérica. Es un alimento rico en proteínas con alto contenido de lisina y fenilalanina y es conocido como la carne de los pobres en algunas regiones. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) la harina de Guandul puede sustituir a la de trigo para la elaboración de pastas de consumo (Leal, 2003)

El Guandul o "frijolito de todo el año", como también es conocido, es un arbusto de una altura máxima entre 2 y 2.5 metros, un ancho de 1.2 y 1.7 metros, tiene un gran número de vainas a lo largo y ancho del mismo y sus flores son de color rojo parduzco o amarillo encendido. En Colombia se cultiva principalmente en la Costa Atlántica, en pequeñas áreas a nivel casero y semicomercial. En el departamento del Cauca se encuentra con frecuencia en la zona rural, con mayor presencia en los municipios de Bolívar, Mercaderes, Patía, El Tambo, Balboa, Buenos Aires, Santander, Morales, Piendamó, Puerto Tejada y Cajibío (Vivas & Morales, 2006); sin embargo, no es muy apreciado por los cultivadores y es poco comercial. Lo que todo el mundo desconoce es el alto valor nutricional y agroindustrial del Guandul, su contenido proteico varía entre el 18 y 25 % (ICRISAT, 1998); algunas variedades alcanzan hasta un 32% (Nene, 1981), motivo que lo convierte en un producto con mucho futuro en la canasta familiar de los colombianos. Pueden usarse las semillas enteras, descortezadas o en harina, también como forraje y abono verde, es una planta que puede fijar entre 41-280 Kg. de N/ha/año, sus ramas y vástagos son utilizados como combustible (Van Der Massen, 1980). Se

adapta a diferentes condiciones edafoclimáticas y es poco exigente en fertilización, disminuyendo los costos de producción (Aponte & Salas, 1987).

El Guandul además de ser un alimento rico en proteínas cuenta con un buen porcentaje de almidón que comprende un 44,8% en semilla verde y un 53% en semillas maduras (Ferreira, Nogueira, Souza, & Batista, 2004), lo cual es favorable para un posible uso como ingrediente en diversos alimentos pues podría presentar muy buenas propiedades funcionales en la elaboración de harina.

El gobierno local y la Universidad del Cauca han establecido un convenio desde diciembre del 2004, a través del Despacho de la Primera Dama, Dependencia que lidera el proyecto Plan Alimenticio Nutricional Escolar (PANES), convenio que permitió la construcción de la planta de procesamiento de cereales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca. Esta alianza ha impulsado el cultivo del Guandul en esta región junto con otros productos como la quinua y el chachafruto alimentos ricos en vitaminas y proteínas (Higuera, 2004). Por tal razón es de interés estudiar las propiedades del Guandul en la producción de harina y derivados que permitan responder a la necesidad de la demanda de este producto en el mercado aprovechando su alto contenido proteico.

Investigaciones realizadas en México con el propósito de estimar el potencial de 24 líneas de Guandul en la producción de grano y determinar su capacidad para producir forraje nutritivo para rumiantes, indican que los mejores rendimientos estuvieron correlacionados con los mayores contenidos de proteína, observándose un mínimo de presencia de taninos (Montaner, 2006) Se sabe también que contiene un gran porcentaje de factores de flatulencia entre un 10,3 g/100g solución de azúcar para semillas verdes y un 53,5 g/100g solución de azúcar para semilla madura (Ferreira, Nogueira, Souza, & Batista, 2004), razón por la cual es necesario un pretratamiento antes del consumo. Como leguminosa, el guandul contiene inhibidores de enzimas digestivas, lo cual implica una menor

disponibilidad de los aminoácidos y un detrimento en el valor nutricional en las semillas crudas o sin procesamiento térmico apropiado. Entre ellos está el inhibidor de tripsina, un tipo de inhibidor que puede resistir a ciertos tratamientos térmicos.

En la práctica, la determinación analítica de la actividad de los inhibidores de tripsina es muy costosa por lo que se utiliza la determinación de la actividad de ureasa como patrón de comparación. La ureasa es inactivada mediante el tratamiento térmico de la misma manera que los inhibidores de tripsina. El nivel de factores antinutricionales se estima de manera indirecta mediante el test de actividad ureásica por incremento en las unidades de pH (Gaviria, 2007). En la soja “cruda”, la enzima ureasa se desnaturaliza a la misma velocidad que el inhibidor de la tripsina y en virtud de que es más sencillo determinar en el laboratorio la actividad ureásica que los inhibidores de tripsina, es que en la industria se utiliza esta prueba como una rutina rápida y sencilla y un indicador muy confiable de la presencia o no de factores antinutricionales (Gallardo, 2008).

El proceso de cocción es de vital importancia como tratamiento previo para la obtención de la harina para inhibir por ejemplo antinutrientes como el inhibidor de tripsina, presente en el Guandul, además de desdoblar proteínas facilitando el proceso de digestión y aumentando la tasa eficaz de aporte proteico (PER).

Según estudios realizados, el método de cocción no influye en el contenido de proteína y carbohidratos pero si en el contenido de ceniza y lípidos; se observan diferencias significativas en algunas propiedades fisicoquímicas tales como la hidratación, la hinchazón y en otras propiedades como la absorción de agua, la capacidad de absorción de aceite, la capacidad espumante y la estabilidad (Leal, 2003). Un estudio realizado por la Universidad de Costa Rica indica que la digestibilidad de la proteína si se ve afectada por el método de cocción empleado.

La digestibilidad de la materia seca y la proteína cruda de las dietas a base de guandul cocido en autoclave, aumento en forma significativa al incrementar el tiempo de proceso, en relación con los tratamientos en los cuales se incluyó guandul cocido a presión ambiental, encontrándose una disminución en la digestibilidad de la materia seca a medida que aumento el tiempo de cocción, pero la digestibilidad de la proteína permaneció constante para todos los tratamientos. El índice de eficiencia proteica (PER) de las dietas de guandul cocido a presión ambiental fue significativamente superior al observado en las dietas de guandul cocido en autoclave, y se observó que este permaneció constante en los tratamientos de cocción a presión ambiental y disminuyó al aumentar el tiempo de tratamiento en autoclave (Li, Campadadal, Rodríguez, & Vargas, 1982).

Con la producción de harina se pretende establecer un tratamiento adecuado que permita inactivar el antinutriente en este alimento, impulsar la producción y el cultivo en el país, convirtiendo este alimento en una alternativa de fuente de proteína con alto aporte calórico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad nutricional de la harina de Guandul puede verse afectada por la presencia de factores antinutricionales como el inhibidor de tripsina, el cual impide el adecuado funcionamiento de la tripsina, enzima esencial para modificar la proteína miosina dificultándose de esta forma su asimilación por el organismo humano y animal. Es posible en el proceso de manufactura de la harina incluir operaciones o tratamientos térmicos que inactiven este antinutriente.

Este trabajo investigará y desarrollará un proceso con condiciones operativas que contribuyan a producir una harina de Guandul nutricional, con baja actividad de antinutrientes.

2. JUSTIFICACIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), indicó que en América Latina cerca de 53 millones de personas se encuentran en estado de desnutrición, donde Colombia ocupa el segundo lugar con al menos 5,9 millones.

Esto se debe posiblemente a la crisis económica que afecta a la población en todos sus aspectos de la vida, por lo que la mayoría de los colombianos a diario mantienen una constante lucha por la sobrevivencia y por ende para las personas de escasos recursos se le es una odisea conseguir alimentos de alto nivel nutritivo, fácil preparación y precios económicos. Es por esto, que el país sufre dos problemas extremos de nutrición: la desnutrición crónica y la obesidad, según muestra el último “Mapa del Hambre”, del Programa Mundial de Alimentos.

De acuerdo con el informe, aunque la tasa de desnutrición crónica en Colombia es del 13,6%, en otras regiones, como las costeras y en los departamentos de Nariño y Cauca, este indicador es del 24%. La tendencia a los extremos se explica porque la población de escasos recursos de las regiones más apartadas, en unos casos, no tiene con que comer y en otros ingiere alimentos que representan una dieta no ideal y constituida principalmente por carbohidratos.

El Ministerio de la Protección Social y el Instituto Nacional de Salud afirman que no hay una educación general sobre hábitos alimentarios y, así existiera, la pobreza restringe la elección de lo más adecuado.

La última Encuesta Nacional de Salud y Demografía (ENDS) revela que el retardo en el crecimiento afecta al 19% de los niños de la zona rural y al 11% del área urbana. Esas diferencias regionales se deben al fenómeno de la pobreza, cuyas

consecuencias son el hambre y la malnutrición, según explica la Comisión Económica para Latinoamérica y el Caribe (CEPAL). En América Latina, el 18,5% de la población es extremadamente pobre, el 11% está subnutrida y, entre los niños menores de 5 años, el 7,9% está desnutrido; es por ello, que se presenta como una excelente alternativa las leguminosas, entre ellas el Guandul como uso de los recursos de la región, el cual es de gran interés nutricional; fuente muy importante de fibra, hierro, potasio, fósforo, tiene bajo contenido en grasas y alto nivel proteico, por lo tanto es una excelente alternativa para las personas que deseen enriquecer su menú diario, abaratar costos o dejar de consumir carne animal.

El Guandul a pesar de ser un alimento rico en proteínas presenta una alta concentración del inhibidor de tripsina de 9.9 units/mg en semilla madura, es una proteína que ocasiona inhibición del crecimiento, reducción de la digestibilidad de la proteína, requerimiento mayor de aminoácidos azufrados, crecimiento del páncreas, aumento de secreción de enzimas pancreáticas y de la actividad de la vesícula biliar y reducción de la energía metabolizable (Baudi, Quintanar, & Cejudo, 2006). Este inhibidor impide la acción de la enzima tripsina la cual rompe la molécula de miosina en dos porciones la cual contribuye con un 50-60%, como componente fundamental de los filamentos gruesos, al total de proteínas del aparato contráctil, es decir, proteínas de los músculos (Belitz, Grosh, & López, 1997). En otras palabras, impide asimilación total de las proteínas.

Dado que este alimento se consume de varias formas y se carece de procesos adecuados y estudios sobre el efecto de la temperatura en el contenido de antinutrientes en la harina, se propone estudiar el efecto de esta variable en diferentes tratamientos, evaluando la actividad de la ureasa, como patrón de la actividad de la antitripsina ya que el indicador de presencia de esta enzima presenta un menor costo en su medición. Es de interés aprovechar al máximo el

nivel proteico del grano, debido a que hay una gran posibilidad de consumo en coladas, sopas, snacks y pasta; de modo que se obtenga mayor digestibilidad de la proteína, reduciendo la carga de antinutrientes en los procesos de cocción. Además actualmente el mayor consumo se da en el programa PANES subutilizándose este alimento pues la mayoría de la población desconoce el beneficio nutricional que esta legumbre aporta en la dieta. Es importante resaltar que Venezuela usa este alimento como sustituto de la proteína animal en las poblaciones de escasos recursos por tal razón es importante apropiarnos de los alimentos pertenecientes a la región, desarrollando métodos que faciliten su consumo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto del escaldado (en agua y vapor) en la actividad de antinutrientes, proteína total y curva de empastamiento de la harina de guandul.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el efecto de dos métodos de escaldado sobre la actividad del antinutriente presente en la harina de guandul
- Determinar el efecto del escaldado sobre el contenido de proteína total en la harina de guandul.
- Estudiar las propiedades reológicas de la harina de guandul.
- Evaluar el efecto de los tratamientos de escaldado sobre la velocidad de secado de los granos con aire.

4. MARCO TEORICO

El Guandul o frijol de palo es una planta forrajera y es un arbusto perenne que crece entre 1 a 3 m de altura y madura en cinco meses o más, según el cultivar y su reacción a la longitud del día. Las hojas son agudamente lanceoladas y pilosas. Las flores, amarillas, cafés y púrpuras, se agrupan en panojas terminales. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010).

Los frutos son legumbres oblongas, de hasta 13 cm de largo y hasta 1.7 cm de ancho (aunque generalmente más pequeños), rectos o algo curvados, comprimidos, deprimidos entre las semillas, claramente puntiagudos, de color pajizo y frecuentemente con rayas moradas, generalmente cubiertos de pelillos, con 2 a 9 semillas y su valor nutricional es el siguiente:

Tabla 1. Valor nutricional y antinutrientes de los granos de Guandul.

Composición	Semilla Verde	Semilla Madura
Proteína (%)	21.0	18.8
Digestibilidad de la Proteína (%)	66.8	58.5
Inhibidor de Tripsina (unidades/mg)	2.8	9.9
Almidón (%)	44.8	53.0
Digestibilidad del Almidón	53.0	36.2
Inhibidor de Amilasa (Unidades/mg)	17.3	26.9
Azúcar Soluble	5.1	3.1
Factores de Flatulencia (g/100g sol. Azúcar)	10.3	53.5
Fibra Cruda (%)	8.2	6.6
Grasa (%)	2.3	1.9
Minerales y traza de elementos (mg/100g)		
Calcio	94.6	120.8
Magnesio	113.7	122.0
Cobre	1.4	1.3
Hierro	4.6	3.9
Zinc	2.5	2.3

Fuente. ECHO TECHNICAL NOTE. 1990 por DR. MARTIN L. PRICE

Estudios más recientes en Guatemala muestran que la composición del grano maduro por 100 g de la porción comestible es: riego 10.6 g, energía 1435 kJ (343 Kcal), proteína 21.7 g, engorde 1.5 g, hidrato de carbono 62.8 g, la fibra dietética 15.0 g, Ca 130 mg, Mg 183 mg, P 367 mg, Fe 5.2 mg, Zn 2.8 mg, vitamina UN 28 IU, tiamina 0.64 mg, riboflavina 0.19 mg, niacina 3.0 mg, vitamina B6 0.28 mg, ácido fólico 456 mg y el ácido ascórbico 0 mg. La composición del aminoácido esencial por 100 g la porción comestible es: el tryptophan 212 mg, lisina 1521 mg, methionine 243 mg, phenylalanine 1858 mg, threonine 767 mg, valine 937 mg, leucine 1549 mg e isoleucine 785 mg. Los ácidos grasos principales por 100 g la porción comestible es: el ácido del linoleic 778 mg y ácido del palmitic 307 mg. Methionine es el aminoácido limitando, seguido por el tryptophan y threonine. Anti nutricional factoriza en la semilla de gandul Nigeriana incluya actividad de inhibidor de trypsin, taninos y phytate (Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010).

Las proteínas de las semillas del Guandul están fraccionadas en albuminas (solubles en agua), globulinas (solubles en salmueras), prolaminas (solubles en alcohol), glutelinas (solubles en soluciones ácido/alcalinas), proteínas residuales y no nitrogenadas, siendo las de mayor porcentaje las globulinas. En cuanto al contenido de aminoácidos esenciales este alimento es deficitario en triptófano y metionina al igual que en aminoácidos nitrogenados, pero es rico en lisina y fenilalanina (Shah, 1991).

La mayor parte de los refinados de proteínas vegetales y de los concentrados de las mismas contienen inhibidores de la tripsina y de la quimotripsina y lectinas. Estos inhibidores dificultan la hidrólisis total de las proteínas de las leguminosas. Las lectinas, que son glicoproteínas, se fijan a las células de la mucosa intestinal e interfieren en la absorción de los aminoácidos. Las lectinas y los inhibidores de proteasas del tipo Kunitz son termolábiles, por ello las proteínas de leguminosas tratadas por el calor suelen ser más digestibles que los refinados proteicos

nativos. Otros factores antinutricionales presentes son los taninos y fitatos, los taninos son productos de condensación de los polifenoles e inhiben la acción de la tripsina (Fennema, 2000).

Es posible determinar los niveles de inhibidores de tripsina en los productos de soja crudos y elaborados, pero los análisis son complejos y costosos. Una posibilidad de analizar la presencia de este antinutriente es detectando los niveles de actividad de la ureasa. La ureasa es una enzima presente en la soja, que se desnaturaliza en las condiciones de temperatura y humedad en las que se desnaturalizan los inhibidores de tripsina y otros factores antinutricionales. Los niveles altos de actividad de la ureasa indican una elaboración deficiente, mientras que los niveles muy bajos denotan una elaboración correcta. Un aumento de la ureasa de 0.05 a 0.2 de pH por unidad, es un indicador de calor suficiente para destruir los factores antinutricionales (Programa Mundial de Alimentos, 2004). La norma NTC 771: Tortas de Soja: Determinación de la Ureasa, es una prueba cualitativa que consiste en determinar la actividad de la ureasa en una muestra de la torta de soja, medida como la diferencia de pH entre la solución de la muestra y un blanco, una diferencia menor a 0.02 indica inactivación de la enzima de acuerdo a la presente norma.

La ureasa es abundante en semillas de leguminosas pero también se encuentra en otras plantas bajas, su actividad específica en semillas de Guandul es de $6.24 \times 10^3 \text{ U mg}^{-1}$ proteína (Nilanjana, Arvind, & Punit, 2002), lo que posibilita usar esta enzima como indicador de una adecuada cocción e inactivación de los inhibidores de tripsina.

El hinchamiento del almidón puede ser medido utilizando un viscoamilógrafo de Brabender, que registra la viscosidad de manera continua al incrementar la temperatura, mantenerla después constante y disminuirla por último (Figura 1). La curva reportada por este equipo muestra los cambios de viscosidad relacionados

con el hinchamiento de los gránulos de almidón y su desintegración, al calentar una suspensión de gránulos hasta 95 °C y mantenerla después a esa temperatura. T_p es la temperatura de formación de la pasta (temperatura de gelatinización), es decir, la temperatura a la que se produce un notable incremento de la viscosidad (Fennema, 2000).

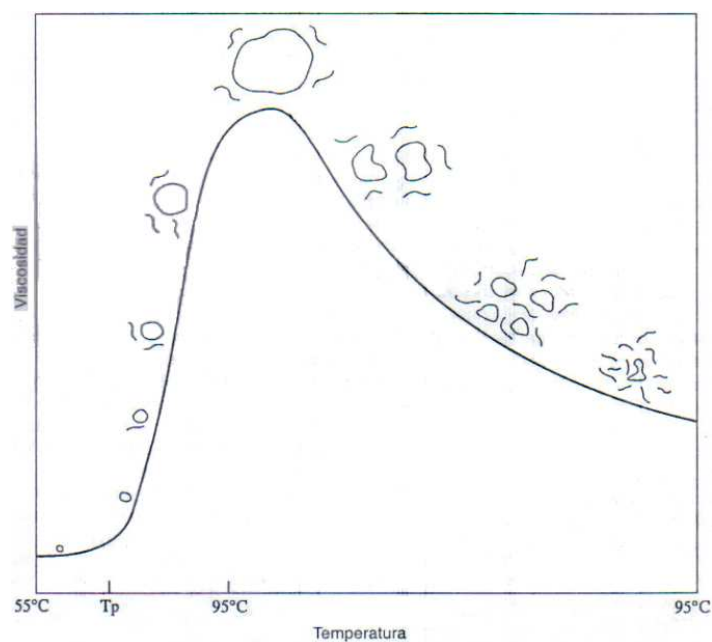


Figura 1. Curva típica de viscosidad reportada por un Viscoamilografo Brabender.

La viscosidad es una de las propiedades funcionales de las harinas de mayor importancia ya que al ser usadas en los alimentos como ingrediente confieren al producto final características agradables como buena apariencia y textura, en la tabla 1 se puede observar las propiedades de empastamiento de harina de Guandul a una concentración de 10% p/p obtenida de dos cultivares de Punjab Agricultural University, Ludhiana, India (Maninder, Kawaljit, & Narpinder, 2007).

Tabla 2. Propiedades reológicas de la harina.

Cultivares	Temperatura de empastamiento (°C)	Viscosidad Pico (cP)	Trough Viscosity (cP)	Breakdown Viscosity (cP)	Viscosidad Final (cP)	Setback viscosity (cP)
AL-15	83,4	2042	1809	233	2324	515
AL-201	83,5	1946	1732	214	2370	638
Media	83,45	1994	1770,5	223,5	2347	576,5

Adaptado (Maninder, Kawaljit, & Narpinder, 2007)

Las etapas principales que componen los tratamientos a los cuales se someterán los granos de Guandul y su posible efecto en su calidad nutricional y en las propiedades de empastamiento son:

4.1 Cocción.

Muchos alimentos requieren de un tratamiento previo como la cocción para dar mejor resultado en los procesos industriales. Dichos tratamientos proporcionan características favorables a sus propiedades reológicas y bromatológicas como lo son el contenido de proteínas, carbohidratos los cuales se ven afectados por la temperatura, y puede aumentar o disminuir dicho contenido en el alimento, además disminuye la actividad enzimática y el contenido de antinutrientes.

Se ha observado que después de un proceso de cocción los inhibidores de proteasas disminuyen en los granos de Guandul, el proceso de autoclave a una temperatura entre 100 a 140 °C por un periodo de tiempo de 15 minutos disminuye el contenido de taninos disminuyendo la actividad del inhibidor de tripsina (Shah, 1991). Otros estudios indican que la cocción disminuye el inhibidor de tripsina en diferentes alimentos, por ejemplo, una cocción rápida de 15 min de judías blancas inactiva en un 89%, autoclave a 120 °C por 20 min en habas 90 % (Belitz, Grosh, & López, 1997).

Se ha demostrado que la cocción en agua y vapor tiene un efecto significativo en

el contenido de toxinas presentes en el grano de Guandul y en la calidad de la proteína. Cocción en agua por un periodo de 60 minutos es tiempo suficiente para destruir todos los antinutrientes de la legumbre incluido el inhibidor de tripsina y en cuanto a escaldado a vapor a una presión de 15 lb y 121 °C se logra el mismo resultado pero el tratamiento es demasiado drástico con la calidad de la proteína (Li, Campadadal, Rodríguez, & Vargas, 1982).

Es sabido que los tratamientos térmicos influyen en la calidad nutricional de los alimentos, en dos tipos de harina de soja (soja común y modificada genéticamente eliminado el inhibidor de Kunitz, el mayor componente antitriptico de las semillas de soja) el efecto del auto clavado fue eficiente en la inactivación de ureasa, inhibidores de tripsina y lectinas siendo 15 minutos suficiente, reduciendo más del 90%. También se logró obtener buenos resultados con el calentamiento en el PER, NPR (Razón protéica neta) y ganacia de peso con la ingesta de las harinas usando ratas Wistar (Machado, y otros, 2008).

En las figuras 2 y 3 se puede observar el efecto del autoclavado en la actividad de la ureasa y el inhibidor de tripsina respectivamente en las dos harinas de soja. El deterioro es semejante y se logra inactivación de ambas al alcanzar los 15 minutos de iniciado el proceso térmico donde se dice que los inhibidores de tripsina se encuentran inactivos bajo niveles de 4 mg/g de proteína (Nilanjana, Arvind, & Punit, 2002).

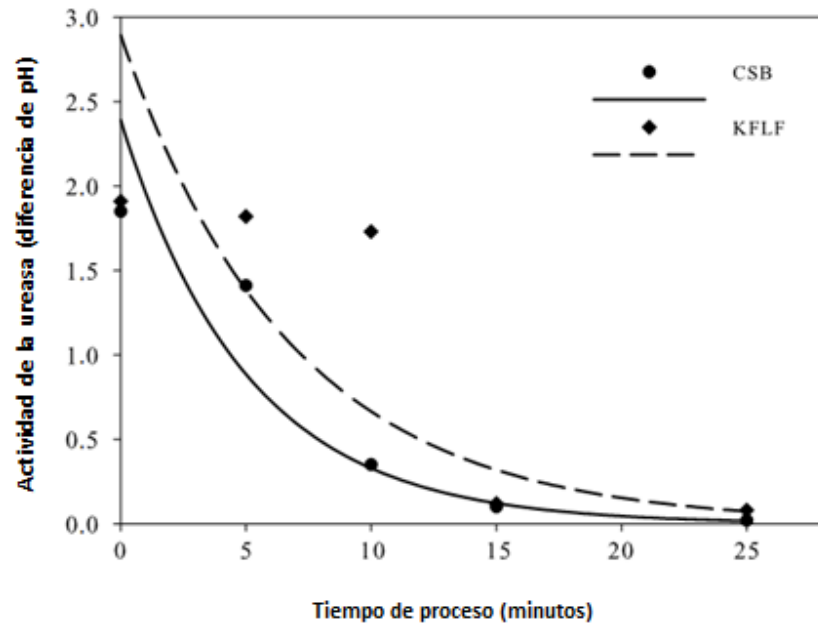


Figura 2. Actividad de la ureasa de las dos variedades de Soja a diferentes tiempos de procesamiento.

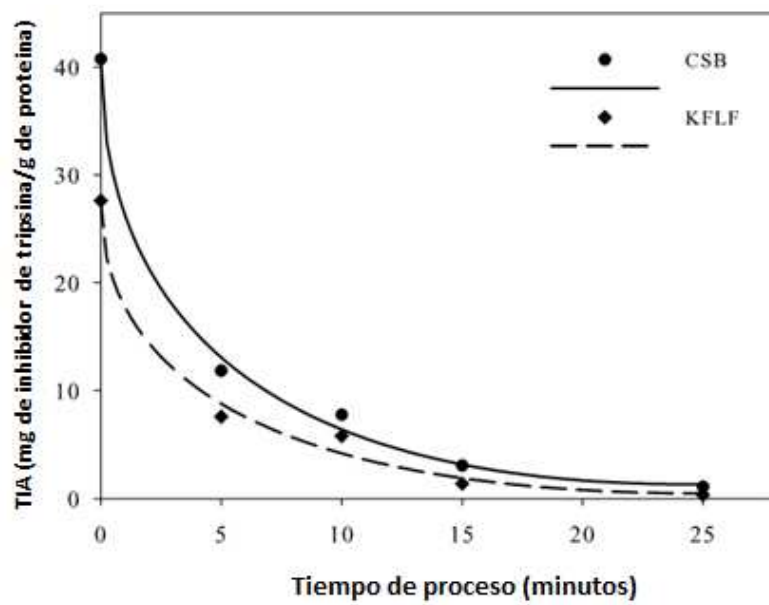


Figura 3. Actividad del inhibidor de tripsina de las dos variedades de Soja a diferentes tiempos de procesamiento.

Las proteínas cumplen una importante función en la formación de geles y su interacción con los carbohidratos, al ser sometidos estos polímeros a calentamiento su estructura cambia, en el caso de las proteínas se desnaturalizan cambiando su estructura, por ejemplo de una forma circular u helicoidal a lineal. Los gránulos de almidón también sufren cambios hinchándose y reventando facilitando la formación de geles.

Estos cambios en los gránulos de almidón y la desnaturalización proteica ocasionan efectos en la elaboración de geles lo que posiblemente modifique las curvas de empastamiento ya que las proteínas forman al igual que el almidón una estructura tridimensional que atrapa e inmoviliza el agua en la gelificación (Fennema, 2000). La harina de guandul presenta una alta temperatura de gelificación ($T_{gr}=83.45\text{ }^{\circ}\text{C}$) y una viscosidad pico de 1994 cP a una concentración de 10 % p/p (Maninder, Kawaljit, & Narpinder, 2007).

4.2 Capacidad Espesante

En las condiciones normales de procesado de los alimentos (calor y humedad; si bien es cierto que muchos sistemas alimenticios contienen una cantidad limitada de agua disponible para el almidón), los gránulos de almidón se hinchan rápidamente más allá del punto de reversibilidad. Las moléculas de agua penetran entre las cadenas, rompen los enlaces entre las mismas y establecen capas de hidratación alrededor de las moléculas así separadas. Esto plastifica las cadenas, de manera que se separan totalmente y se solvatan (Fennema, 2000).

La entrada de grandes cantidades de agua da lugar a que los gránulos se hinchen hasta alcanzar un tamaño varias veces superior al original. Si una suspensión del almidón al 5% se agita moderadamente y se calienta, los gránulos embeben agua hasta que la mayor parte es absorbida por ellos, forzándolos a hincharse, y a

presionarse unos contra otros hasta llenar el recipiente que los contiene en forma de una pasta altamente viscosa. Los gránulos así hinchados se rompen fácilmente, y son desintegrados por agitación, lo que resulta en una disminución de viscosidad. Conforme se van hinchando, las moléculas de amilosa hidratadas se difunden a través de la pasta hasta la fase externa (agua), fenómeno que es responsable de algunos aspectos del comportamiento de la pasta (Fennema, 2000).

4.3 Secado

El secado se refiere a la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias; significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. La evaporación se refiere a la eliminación de cantidades de agua bastante grandes; además, ahí el agua se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire.

El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos), se usa también como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su sabor y su valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos (Geankoplis, 1998). Esta operación es de cuidado pues altas temperaturas podrían dañar el alimento modificando propiedades reológicas y valor nutricional.

Los secadores de bandeja consisten en una cabina aislada provista interiormente de un ventilador para circular aire a través de un calentador; el aire caliente sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido horizontalmente o verticalmente (Figura 4).

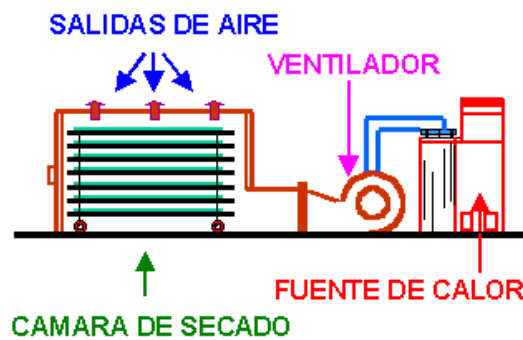


Figura 4. Esquema de un Secador de Bandejas. Fuente (Situs , 2004).

El proceso de secado de los diferentes alimentos se puede explicar y describir por medio de dos curvas, humedad libre en función del tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de humedad libre. Siguiendo lo descrito por Geankoplis la construcción de las curvas (figura 5) se realiza de acuerdo a la siguiente metodología, teniendo en cuenta que las condiciones de secado deben ser constantes.

Después de obtener los diferentes pesos totales W (Kg) en el proceso de secado a diferentes tiempos t (min), se calcula la humedad libre de la siguiente forma:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (1)$$

Donde W_s es el peso del alimento seco en Kg, la humedad libre se obtiene después de calcular el contenido de humedad en equilibrio X^* (Kg de humedad de equilibrio/Kg de sólido seco), con este valor se procede a calcular la humedad libre del producto para cada X_t .

$$X = X_t - X^* \quad (2)$$

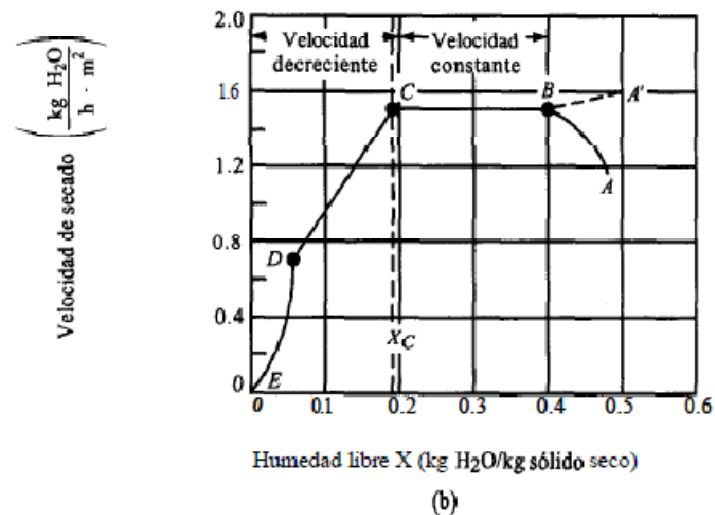
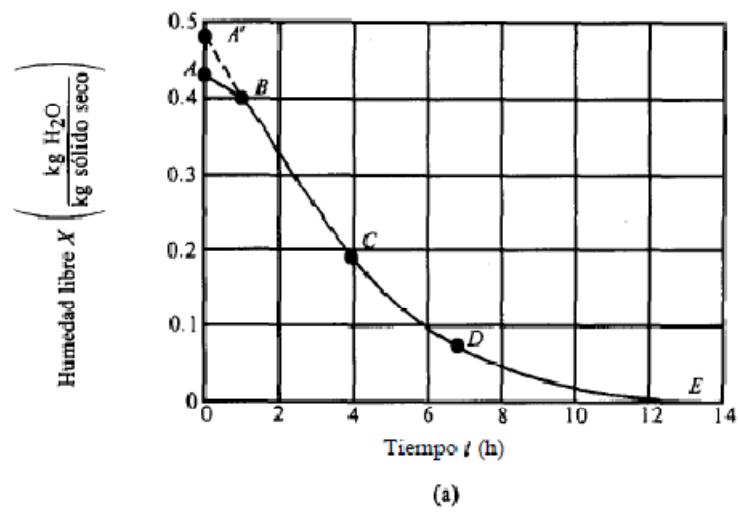


Figura 5. Curva típica de velocidad de secado constante: a) gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo. b) Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

Una vez calculados estos valores se puede graficar la figura 5a, gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo. Para obtener una curva de velocidad de secado (figura 5^b) a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona valores de dx/dt para ciertos valores de t . Se calcula entonces la velocidad R para cada punto con la expresión

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

Donde R es la velocidad de secado en kg agua/min. m^2 , L_s es kg de sólido seco usado y A es el área superficial expuesta al secado en m^2 .

Otra forma de obtener esta última gráfica y el que se usará en este trabajo es calculando la pérdida de peso ΔX para un tiempo Δt empleando la siguiente expresión:

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde R es el promedio en periodo Δt .

La cinética de secado para los granos de Guandul se puede describir empleando la solución analítica de la Ecuación 5 considerando los granos como esferas (Crank, 1975):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(rD \frac{\partial c}{\partial r} \right) \right\} \quad (5)$$

Donde C_t , C_o y C_e son las humedades en el tiempo, inicial y en equilibrio respectivamente. D la difusividad de los granos, t el tiempo y r la longitud característica la cual es el radio.

Considerando las siguientes condiciones:

$$t = 0 \quad C = C_1 \quad 0 < r < a \quad (\text{Condición inicial})$$

$$t > 0 \quad C = C_0 \quad r = a \quad (\text{Superficie})$$

La solución puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\frac{C_t - C_0}{C_e - C_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \frac{6}{\pi^2} \left(e^{-\frac{\pi^2 D_n t}{r^2}} \right) \quad (6)$$

Reescribiendo la ecuación y despejando la sumatoria obtenemos:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \frac{6}{\pi^2} \left(e^{-\frac{\pi^2 D_n t}{r^2}} \right) = 1 - \frac{C_t - C_0}{C_e - C_0}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \frac{6}{\pi^2} \left(e^{-\frac{\pi^2 D_n t}{r^2}} \right) = \frac{C_e - C_t}{C_e - C_0} \quad (7)$$

Y tomando el primer término de la sumatoria para tiempos de secado largos

$$\frac{C_e - C_t}{C_e - C_0} = \frac{6}{\pi^2} \left(e^{-\frac{\pi^2 D t}{r^2}} \right) \quad (8)$$

Esta ecuación 8 se puede comparar con el siguiente modelo empírico (Dandamrongrak, Young, & Mason, 2002).

$$M = Ae^{-kt} \quad (9)$$

En donde M es la relación de diferencias de concentraciones de agua en la ecuación 8, A es una constante asemejada a $6/\pi^2$ y K es la constante de velocidad de secado.

Realizado una transformación logarítmica se obtiene una relación lineal para encontrar los valores de A y K

$$LN(M) = LN(A) - Kt \quad (10)$$

4.3 Molienda

Los sólidos se reducen de tamaño mediante diversos métodos. La compresión o trituración se usa para reducir sólidos duros a tamaños más o menos grandes. El impacto produce tamaños gruesos, medianos o finos, desgaste o frotamiento produce materiales muy finos, el corte se usa para obtener tamaños prefijados.

Los equipos para la reducción de tamaño se pueden clasificar de acuerdo con la forma en que se aplican las fuerzas; de la siguiente manera: entre dos superficies, como en la trituración y el corte; en una superficie solida, como el impacto; y por la acción del medio circundante como en los molinos coloidales. Una clasificación mas practica consiste en dividir los equipos en trituradores, molinos finos y cortadores (Geankoplis, 1998).

4.4 Tamizado

El proceso de tamizado consiste en separar el tamaño de cada partícula de la harina obtenida después de la molienda, para posteriormente preparar una harina con una granulometría uniforme.

5. ANTECEDENTES

Estudios realizados muestran que las semillas de Guandul se utilizan como alimento en muchas comunidades de Centroamérica por su elevado contenido de lisina y fenilalanina, aminoácidos esenciales en el crecimiento y el metabolismo humano, y que resulta deficiente en cereales y otros granos. Con ellas se preparan sopas, papillas y harina. Las vainas y las semillas sin madurar se usan asimismo para la preparación de ensaladas o conservas. Otra utilización frecuente es la de pienso para el ganado. En muchos corrales, las semillas de guandul constituyen hasta el 30% de la dieta de las aves. Las vainas tiernas y las hojas constituyen un excelente forraje (Van Der Massen, 1980).

El Guandul es considerado una planta medicinal con propiedades antirreumáticas, diuréticas, hemostáticas y astringentes. Las flores y brotes jóvenes se emplean para afecciones bronquiales y pulmonares. La cocción de las hojas se aplica para lavar llagas, heridas, irritaciones de la piel, sarna y picazón. Con las semillas secas se elaboran cataplasmas, dado su efecto desinfectante y cicatrizante. Además, el Guandul hace una excelente leña y su resina se emplea en la preparación de jarabes y medicamentos. En Madagascar y en la India, los gusanos de seda alimentados con hojas de Guandul proporcionan una seda muy apreciada por los expertos (Van Der Massen, 1980).

En países tales como India, Uganda, Bahamas, Panamá y Brasil, el Guandul (*Cajanus cajan* L. Mill sp.) es una especie cultivada en pequeñas propiedades, donde se utilizan sus granos secos para consumo humano debido a su alto contenido de proteína que oscila entre 18 y 25%. Se sabe también que esta especie fija nitrógeno en el suelo por tal razón es usada como recuperadora de estos, dando como resultado en Brasil que el cultivo de arroz luego de ser rotado por Guandul durante un año aumentó 190 % respecto a la rotación arroz-arroz

(Montaner, 2006).

Algunos autores indican que en el estado de Paraná (Brasil), el guandú es una de las especies que posee mayor potencial para la alimentación de cerdos y aves en propiedades de autoconsumo. Trabajos de evaluación de especies forrajeras conducidos en el estado de Santa Catarina (Brasil) para alimentación de ganado bovino, encontraron que el guandú produjo hasta 60 toneladas de forraje verde conteniendo 15 toneladas de materia seca con tenores medios de 17% de proteína bruta. En consecuencia sus autores aconsejan el cultivo de Guandul como banco de proteína para la suplementación animal.

El quinchoncho representa para la agricultura venezolana una alternativa de rotación en la franja de cereales y en diversas zonas hortícolas del país. El grano seco de quinchoncho puede suplir parte de la demanda de los sectores marginales por fuentes proteicas de origen vegetal como complemento a la caraota y como alternativa a la soya importada. Igualmente, a partir del grano seco se puede preparar una harina que participe en mezclas de raciones de nutrición de aves hasta en un 30 por ciento. (Aponte & Salas, El cultivo del Quinchoncho en Venezuela, 1987).

El ingeniero agrícola Juan Carlos Vélez, realizó un estudio enfocado a presentar el Guandul como materia prima en la alimentación. De la investigación se concluyó que el Guandul es un alimento nutricionalmente balanceado, bajo en grasas y azúcares, y con un alto contenido de fibra. El proyecto denominado Formulación de un Paquete Tecnológico para la Utilización Industrial del Guandul se elaboró en el Cauca, con el apoyo de Colciencias, la Fundación para la Investigación y Desarrollo, FIDAR y la Universidad del Valle. Como parte de la investigación se presenta una revisión sobre sistemas de cultivo, momentos apropiados de recolección y presentación del alimento como semiprocesado y procesado, reporta que después de 10 minutos de escaldado a presión atmosférica la prueba de

guayacol da negativa (Vélez, 1996).

Estudios efectuados por Leal indicaron que “El quinchoncho (Guandul) es una leguminosa que ha tenido poca explotación industrial y comercial, por lo cual su siembra se realiza básicamente en huertos familiares, en zonas aisladas y sin cuidados antiplagas, sistemas de riego o sustancias para el crecimiento. La poca relevancia que se le ha dado a este grano, impide que se desarrolle su cultivo, que se aproveche mejor su riqueza proteínica y su uso no convencional”. Según Leal, el quinchoncho es más sano que otras leguminosas como las caraotas o el frijol, que resultan pesados y altos en colesterol. En cambio el quinchoncho “es tan liviano que no le haría daño ni a una mujer embarazada” (Jaramillo, Castillo, Valles, & Hernández, 1985).

Higuera, (2004) reporta que el quinchoncho es una leguminosa con alto grado proteínico, en carbohidratos y baja en grasa. “Posee 20% de proteínas, más que la carne de res, que sólo tiene 13%”, afirma el ingeniero agrícola Higuera, quien continúa diciendo que en contenido de calcio e hierro, el grano también duplica a la carne de vaca. La fibra del quinchoncho puede ser un buen sustituto de la carne, al prepararse con vegetales y especias es un buen acompañante de empanadas, arepas, albóndigas y hamburguesas. Además, con la leche de quinchoncho se elabora un aderezo parecido a la mayonesa.

Miquilena, (2004) realizó un ensayo en la zona árida de la planicie de Maracaibo, con el objeto de determinar la composición proximal, perfil de aminoácidos y el contenido de minerales en harinas de grano de Quinchoncho (*Cajanus Cajan (L.) Mill sp.*), *vigna radiata (L.) Wilczek* (frijol chino) y dos variedades de *vigna unguiculata (L.) Walp* (frijol ojo negro y ojo blanco). Las harinas de grano de las leguminosas tropicales utilizadas en este estudio mostraron, altos niveles de proteínas y bajos valores de grasa. Se observaron altos contenidos del potasio para la harina del grano de quinchoncho, frijol ojo negro, frijol ojo blanco y frijol

chino. Los valores del calcio encontrados en todas las leguminosas fueron más bajos que los reportados por otros investigadores. Las harinas de semillas de quinchoncho, frijol ojo negro, frijol ojo blanco y frijol chino podrían ser utilizados en la elaboración de alimentos para animales y humanos.

Un estudio llevado a cabo por expertos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España (CSIC) y de la Universidad Simón Bolívar de Venezuela pone de manifiesto que agregando harina de gandul puede incrementarse el valor nutricional de la pasta, realzando los niveles de vitamina B1, B2 y E y aporta mas proteína, fibra y minerales, mejorando también el tiempo de cocción y el sabor. Los autores de este estudio sobre harina de gandul subrayan el potencial económico de la medida, por cuanto se incrementaría y mucho la producción de la legumbre en países o áreas en vías de desarrollo tales como India, África, región caribeña y Latinoamérica (Montaner, 2006).

Torres (2006), explica cómo congregó a un panel de 19 expertos en pasta, quienes votaron distintas modalidades de harina con vistas al color, textura, aroma y sabor de la pasta resultante. «La pasta enriquecida con harina de gandul obtuvo la mejor puntuación en todos los frentes». Por otro lado, el estudio destaca un comunicado reciente de la FAO en el que se anuncia un declive en la producción de pasta con harina de trigo del 2-3% en todo el mundo y se anima a la industria alimenticia a explorar nuevas harinas más globalizables (Montaner, 2006).

Las cuentas de mercado no dejan lugar a dudas sobre la prevalencia de la soja. Estudios nutritivos y de salud apoyan igualmente las virtudes de esta última como complemento dietético. Sin embargo, investigadores americanos han querido contrastar las virtudes de la soja a las del gandul en un estudio llevado a cabo con ratas de laboratorio. Un total de tres estudios compararon la tasa eficaz de aporte proteico (PER) de la soja y la compararon con la del gandul. El 75% del aporte proteico de las ratas estudiadas provenía de harinas de pescado y leche, mientras

que el 25% provenía bien de soja o de gandul. El PER del gandul resultó en los tres estudios superior al de la soja, dado a una mejor digestibilidad (Montaner, 2006).

Un estudio realizado por Ingenieros Agrónomos Costarricenses indica que la digestibilidad de la materia seca y la proteína cruda se ve afectada por el método de cocción empleado, mostrando que al someter el grano en autoclave e incrementar el tiempo de proceso aumenta de forma significativa la digestibilidad, mientras que al someter el grano a cocción a presión ambiental, la digestibilidad de materia seca disminuye mientras que la digestibilidad de la proteína permanece constante. El índice de eficiencia proteínica fue significativamente superior en los granos cocidos a presión ambiental que el observado en los granos cocidos en autoclave (Li, Campadadal, Rodríguez, & Vargas, 1982).

Díaz (2006), constata algo similar en una experimentación llevada a cabo con cerdos. Aparentemente, altos niveles de harina de gandul en la dieta de los cerdos hizo decrecer la participación del intestino grueso en la digestión de nutrientes, por lo que no se halla recomendable usar harina de granos de gandul sin ningún tratamiento previo en las dietas, debido a la presencia de factores deletéreos que debieran ser antes neutralizados (Montaner, 2006).

Los granos de guandul contiene antinutrientes como taninos y fenoles lo cual restringe la eficiencia proteica de este alimento, Edilene C. Ferreira reporta en su estudio que la actividad de estos disminuye secando los granos a 50 °C por medio de una corriente aire seco, sin embargo estos con el tiempo tienden a aumentar en el almacenamiento (Edilene, C, 2004). También sea observado que la operación de autoclave disminuye el contenido de estos antinutrientes incrementando la digestibilidad disminuyendo la actividad del inhibidor de tripsina (Shah, 1991).

6. METODOLOGIA

Este proyecto se lleva a cabo en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería de Alimentos.

Para la obtención de la harina de Guandul con mínima presencia del inhibidor de tripsina, se realizará la siguiente metodología:

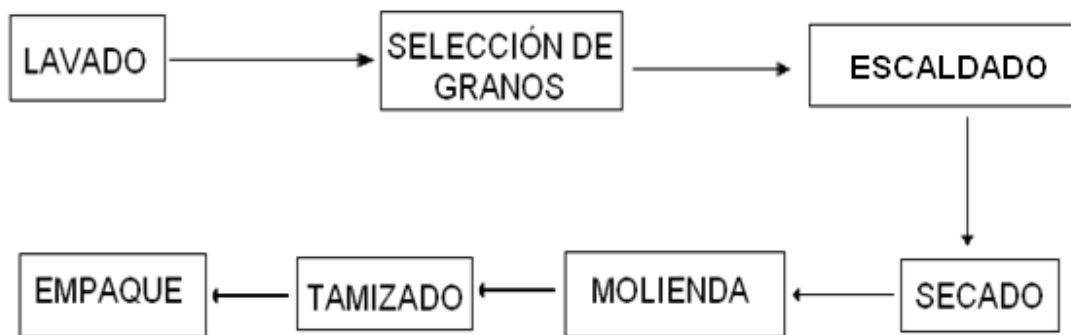


Figura 6. Proceso de elaboración de la harina de guandul.

6.1 Recursos y Materiales Disponibles

Los insumos, equipos y reactivos que se emplean para la ejecución de las sesiones experimentales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Recursos y materiales

Método	Insumos	Equipos	
Escaldado en Agua	2 Vasos de 1000 ml	Estufa eléctrica.	
	1 Colador	Termómetro digital	
	1 olla de 4 litros con tapa	Balanza de kilogramo	
Escaldado a vapor	1 Vasos de 1000 ml	Escaldador Balanza de Kilogramo	
Secado	2 bandejas con malla	Secador Aminco	
	2 termómetros	Balanza de Kilogramo	
Molienda	Bolsas de polietileno.	Molino forrajero	
		Balanza de Kilogramo	
Tamizado y preparación de la harina	2 Vasos de 1000 ml.	Tamiz Ro Tab	
	Juego de tamices de la serie de Taylor (No. 20, 30, 40, 50, 70, 100 y 140)	Balanza de Kilogramo	
Prueba de Viscosidad	Balón de 500 ml con tapa.	Viscoamlografo Brabender	
		Balanza infrarroja	
	Insumos	Reactivos	Equipos
Prueba de ureasa	2 vasos de 100ml	Solución tampón 0.05M de fosfato de potasio	Baño maría regulable
	Tubos de ensayo con tapa	Solución tampón urea fosfato de potasio	Agitador para tubos de ensayo
	Base para tubo de ensayo	Solución de HCl para neutralizar pH	pH metro
	2 Pipetas	Solución de NaOH para neutralizar pH	Balanza analítica
Determinación del contenido de proteína total	2 Erlenmeyer	0.5 g. Catalizador Kelpack	Digestor de proteínas
	2 tubos Kjeldahl	2 ml. Acido sulfúrico (H ₂ SO ₄) concentrado	
	Papel parafinado	10 ml. Solución básica (NaOH+Na ₂ SO ₂)	
		6 ml. Acido bórico	Microkjeldahl
	3 Pipetas	3 gotas Indicador mixto Acido clorhídrico (HCl) 0.0369 N	

6. 2 Escaldado

Para el estudio del efecto del tipo de tratamiento térmico y tiempo de cocción, se tiene en cuenta dos métodos; se utiliza el método de cocción tradicional a presión

atmosférica (96 °C) en una proporción 4:1 (agua: grano), donde el grano se adiciona al momento de ebullición de agua, y autoclave a una presión de 10 psia (130 °C) para evaluar el efecto de la presión en el proceso de cocción; se trabaja con tiempos de 5, 10 y 15 minutos.

6.3 Secado

Se trabajó en un secador de bandejas operado con aire a 60 °C y humedad relativa del 25%, el cual estaba acoplado con la unidad de acondicionamiento de aire AMINCO ubicado en el laboratorio de *Propiedades Físicas y Fenómenos de Transferencia en Alimentos* de la Escuela de Ingeniería de Alimento. El aire circulaba perpendicular a las bandejas y el producto se llevó a hasta un contenido de humedad seguro (10-13%). El peso de las badejas con el producto se registro periódicamente con el fin de obtener el contenido de agua del guandul en función del tiempo y de esta manera se analizó la cinética de secado del grano escaldado.

Se debe tener en cuenta llenar completamente la bandeja de secado con los granos de guandul, conservando la altura del producto en esta y su distribución en cada repetición del proceso para obtener condiciones similares de proceso y por consiguiente curvas de secado para condiciones de secado constante.

6.4 Molienda y Tamizado

El frijól seco se reduce de tamaño utilizando un molino forrajero que opera a 3600 rpm, utilizando cribas con orificios de 0.8 mm de abertura. Seguidamente, se separa el tamaño de la partícula de la harina obtenida utilizando un juego de tamices No. 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140 y fondo; de la Serie de Taylor, para formular una harina con la granulometría adecuada para la obtención de la mejor pasta. Seguidamente se analizó para determinar su composición.

6.5 Estudio de Capacidad Espesante

Se evalúa mediante un estudio de formación de pasta utilizando el viscoamílografo Brabender. Se prepara una suspensión acuosa al 12 % (peso/volumen). La suspensión es calentada a una velocidad de 1.5 °C/min. hasta 90 °C; esta temperatura se sostiene por 30 minutos. De la información reportada en el equipo se obtiene la temperatura inicial de formación o de gelificación T_{gr} , la viscosidad máxima de la pasta acuosa V_i y la viscosidad al terminar el periodo de empastamiento a 90 °C $V_{máx}$.

6.6 Actividad de la antitripsina

Para la actividad de la antitripsina, se evalúa la presencia de la ureasa en un tiempo t_0 , para ser comparado con la presencia en el tiempo de cada método de cocción, hasta determinar el tiempo en que esta enzima sea casi nula, tomando como referencia la norma ICONTEC NTC 771, tortas de soya. Determinación de la ureasa.

6.7 Contenido de proteína y análisis proximal.

El análisis proximal se realiza de acuerdo a las normas AOAC de 1997, con un factor de 6.25 para proteína empleando un micro kjeldahl y equipo soxhlet para grasa.

6.8 Análisis estadístico

La unidad experimental a evaluar son 900 gramos de grano por tratamiento a los que va ser sometido de acuerdo a la metodología anteriormente mencionada.

Se trabaja con un Diseño Factorial de dos factores con interacción; la expresión general de un modelo de dos factores con interacción es:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + (\tau\alpha)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

$$i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, r$$

Y_{ijk} = Variable respuesta del i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B en la k-ésima réplica

μ = Promedio global de la variable respuesta

τ_i = Efecto aditivo del i-ésimo nivel del factor A sobre la variable respuesta.

α_j = Efecto aditivo del j-ésimo nivel del factor B sobre la variable respuesta.

$(\tau\alpha)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B sobre la variable respuesta.

e_{ijk} = Error aleatorio no controlable.

En un diseño con estructura factorial se prueban las siguientes hipótesis, donde la hipótesis nula indica que los efectos de los niveles del factor A o B respectivamente son iguales, y la hipótesis alternativa indica que al menos uno de los niveles en cada uno de los factores A o B respectivamente difiere de los demás:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t = \tau \quad \text{vs} \quad H_1: \text{Al menos una de estas igualdades no se cumple}$$

Se utilizará la prueba de Tukey como prueba Post-anova y prueba de Dunnett para comparar con la muestra control., además de las pruebas de de t-student, Shapiro

Willk y Breusch–Pagan para el ajuste de las curvas de secado al modelo de difusividad expuesto por Crank. En los anexos se define la importancia de cada prueba, validación de supuestos y el respectivo código en R usado.

6.8.1 Factores y Niveles

En este experimento se tienen dos factores de análisis: 1) Tiempo de cocción y 2) Tipo de escaldado, este último se refiere al equipo de cocción empleado. Los niveles correspondientes a cada uno de los factores son:



En el factor tipo de escaldado, el escaldado en agua representa un equipo de cocción que emplea una temperatura de cocción de 96°C, que es cuando el agua está en ebullición, mientras que el escaldado a vapor emplea una temperatura de 130°C.

6.9 Tratamientos

Dado que se tienen 3 niveles para el tiempo de cocción y 2 para el tipo de escaldado, entonces se tendrían entonces $2 \times 3 = 6$ tratamientos, cada uno con dos réplicas. Por tanto el número de unidades experimentales es de 12. La secuencia de corrida del experimento se observa en la tabla 4 donde se aleatorizó usando el programa R 2.11.1

Tabla 4. Aleatorización de las corridas experimentales.

Secuencia de las corridas	Tratamiento	
1	En agua	15 minutos
2	En agua	10 minutos
3	A vapor	15 minutos
4	En agua	10 minutos
5	En agua	5 minutos
6	A vapor	10 minutos
7	A vapor	15 minutos
8	A vapor	5 minutos
9	A vapor	10 minutos
10	En agua	15 minutos
11	En agua	5 minutos
12	A vapor	5 minutos

6.10 Control Local

A fin de tener el mayor control del experimento se identificaron aquellos factores perturbadores, controlables y no controlables, con el propósito de valorar su efecto en los resultados y plantear alguna estrategia que permita inhibirlo, éstos se definen en la tabla 5.

Tabla 5. Control local ejercido.

Prueba de Cocción	Factores perturbadores	¿Es controlable?		Control Local Ejercido
		Si	No	
Escaldado en agua	Humedad relativa	X		El grano es almacenado en la planta piloto en un cuarto aislado donde la humedad relativa permanece constante.
	Proporción agua-grano	X		La evaporación del agua es mínima ya que los tiempos de cocción son relativamente cortos, además la tapa evita que se pierda mucha cantidad de agua en el proceso.
	Temperatura	X		La unidad experimental se adiciona al agua una vez esta esté en ebullición, este punto es una temperatura constante pues el agua al estar cambiando de estado conserva su temperatura.
Escaldado a vapor	Humedad relativa	X		El grano es almacenado en la planta piloto en un cuarto aislado donde la humedad relativa permanece constante.
	Presión de vapor	X		Por medio de la válvula manual se mantiene la presión del vapor de agua la cual no varía una vez se tenga listo el equipo.
	Temperatura	X		Una vez se tenga controlada la presión del proceso la temperatura permanece constante.
Secado	Humedad relativa		X	No es posible controlar este factor ya que el laboratorio no cuenta con instalaciones óptimas.
	Temperatura	X		Se mide la temperatura por medio de dos termómetros a la entrada y salida del equipo.
	Humedad del aire para secado	X		Se controla calibrando el equipo y corroborando tomando la temperatura de bulbo seco y húmedo a la entrada y salida del equipo donde por medio de la tabla psicrométrica se calcula la humedad del aire.
Molienda	Humedad relativa	X		Se controla aislando las muestras en bolsas de polietileno.
	Temperatura	X		La temperatura en el proceso permanece constante ya que no hay fuentes de calor que hagan variar este parámetro.
	Tamaño de las partículas de la harina	X		Se controla por medio de una criba que se instala al equipo para obtener tamaños de partícula en rangos adecuados.
Tamizado y preparación de la harina	Humedad relativa	X		Se controla aislando las muestras en bolsas de polietileno.
	Temperatura	X		La temperatura en el proceso permanece constante ya que no hay fuentes de calor que hagan variar este parámetro.
	Tamaño de las partículas de la harina	X		Se controla usando diferentes cribas en el proceso, tomando como referencia el peso de un tamiz seleccionado al azar midiendo su peso después de 10 minutos del proceso y después de otros 5 minutos hasta que la diferencia de peso sea menor a 0.02%.
Prueba de ureasa	Humedad relativa	X		Al preparar la unidad experimental se guarda en un desecador el cual mantiene la humedad de la muestra constante.
	Medición de pH	X		Uso de los mismos equipos y reactivos.
	Temperatura	X		La temperatura ambiente en el laboratorio no sobrepasa los 40°C, por tal razón las propiedades de la harina no cambian en cortos periodos de tiempo.

7. RESULTADOS

Los granos de Guandul fueron escaldados en agua y vapor a diferentes tiempos para posteriormente obtener harina, el escaldado en agua fue el tratamiento que produjo un mayor cambio hinchándose y realzando su color a café más oscuro y mayor luminosidad (figura 7b), el escaldado en vapor no produjo mayores cambios (figura 7c) y la harina es de color beige y de poca luminosidad (figura 7d).



Figura 7. Cambio de apariencia de los granos de Guandul y harina. a) Grano fresco, b) Grano escaldado en agua, c) Grano escaldado en vapor y d) Harina.

La prueba de ureasa medida a la harina obtenida después de cada tratamiento indicó que después de aplicado el tratamiento térmico y al aumentar el tiempo de exposición del grano al escaldado en agua y con vapor, la actividad de la enzima disminuía obteniendo inactivación completa en la escaldado a vapor por 15 minutos, lo que muestra que la prueba de ureasa es un buen indicador en la harina de Guandul ya que según Li *et al* 1982, después de precocido el Guandul a

vapor con una presión de 15 lb y una temperatura de 121 °C por 15 minutos los inhibidores de tripsina y otros factores antinutricionales se inactivaban, otro estudio realizado con granos de soja por Machado *et al* 2008, los cuales dicen que a un escaldado con vapor a 1.7 atm y 121 °C se logra la inactivación de la ureasa y los inhibidores de tripsina después de 15 minutos tal como se aprecia en las figuras 2 y 3.

También se pudo observar que los tratamientos de escaldado influyen en las propiedades de empastamiento, teniendo mayor efecto el tratamiento térmico con vapor a 15 minutos; la alta temperatura de operación y el tiempo de exposición con vapor modifica la estructura interna del grano de acuerdo a lo observado con la inactivación de la ureasa y la disminución de la viscosidad aplicando este tratamiento, debido a desnaturalización de la proteína y modificación del almidón presente en los granos de guandul.

7.1 Pruebas Preliminares

Las unidades experimentales fueron aleatorizadas para aplicar su respectivo tratamiento. En la Tabla 4 se puede observar la secuencia en la que se llevó a cabo el experimento, con el fin de garantizar la aleatorización. Puede verse que a la primera unidad experimental (170 gr de harina Guandul) debe aplicársele el escaldado en agua a un tiempo de cocción de 15 minutos. A la última unidad experimental se le aplicará el escaldado a vapor a un tiempo de cocción de 5 minutos.

7.1.1 Prueba de Ureasa

Las mediciones sobre la actividad de la ureasa (diferencia de pH), obtenidas en las pruebas preliminares se presentan en la tabla 6 Se puede observar que el escaldado con vapor presenta mayor influencia en la actividad de ureasa y al

aumentar el tiempo de cocción en los dos tipos de escaldado la actividad de la enzima disminuye.

Tabla 6. Mediciones de la actividad de la ureasa.

		Tiempo de cocción (minutos)		
		5	10	15
Tipo de escaldado	En Agua	1.943	1.619	1.005
		1.907	1.606	0.986
	A vapor	2.165	0.414	0.011
		2.191	0.444	0.008

7.1.1.1 Análisis Descriptivo

Se puede notar en la tabla 7 que el menor nivel de pH para la actividad de la ureasa se obtiene empleando el escaldado a vapor a 15 minutos (0.008). De igual forma, en promedio el nivel de pH con este tratamiento fue de 0.0095, mientras que con el escaldado en agua al mismo tiempo de cocción se obtuvo en promedio un nivel de pH de 0.996. La mayor diferencia de pH se obtuvo utilizando el escaldado a vapor a un tiempo de cocción de 5 minutos, este fue de 2.191, seguido por el nivel de pH obtenido con el escaldado en agua a 5 minutos (1.943).

Tabla 7. Estadísticas básicas de la actividad de la ureasa según el tratamiento

Tipo de escaldado	Tiempo de cocción	Media	Mínimo	Máximo
En agua	5 minutos	1.925	1.907	1.943
En agua	10 minutos	1.613	1.606	1.619
En agua	15 minutos	0.996	0.986	1.005
A vapor	5 minutos	2.178	2.165	2.191
A vapor	10 minutos	0.429	0.414	0.444
A vapor	15 minutos	0.0095	0.008	0.011

Con el escaldado en agua se observa que la actividad de la ureasa disminuye a medida que se aumenta el tiempo de proceso, siendo la diferencia mínima de pH de 0.986. De igual forma se observa este comportamiento con el escaldado a vapor, sin embargo con este tipo de escaldado la diferencia de pH es mucho menor, excepto con el escaldado por 5 minutos donde la diferencia de pH fue menor en agua.

Cabe mencionar que cuando se emplea un tiempo de escaldado de 5 minutos no se observa gráficamente diferencias muy marcadas entre las observaciones para el escaldado en agua y las observaciones para el escaldado a vapor, lo cual si es notable al comparar las réplicas entre los tipos de escaldado, dado un tiempo de proceso de 10, así como para un tiempo de 15 minutos.

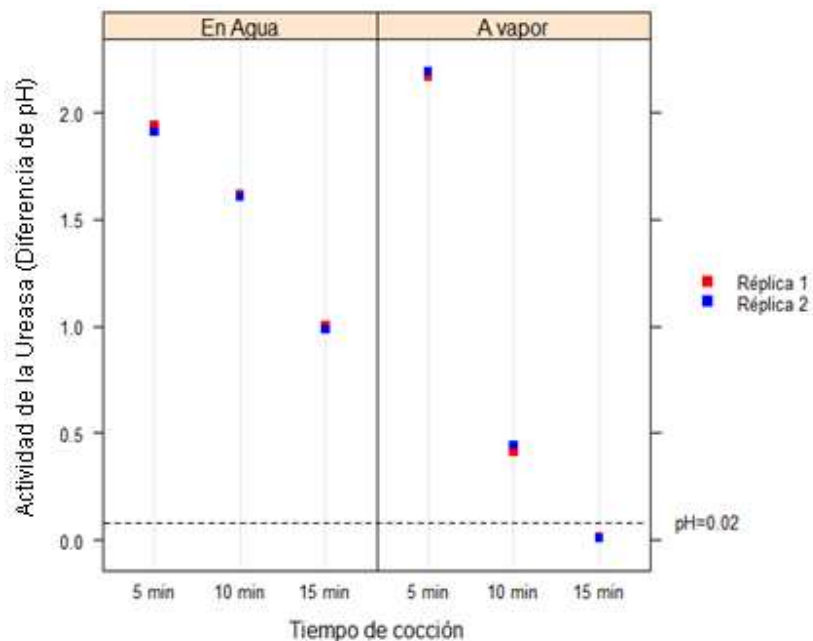


Figura 8. Diagrama de puntos de la actividad de la ureasa según el tratamiento

En la figura 8 se muestra el diagrama de puntos para el tipo de escaldado empleado según el tiempo de cocción, notándose una mayor dispersión entre las

observaciones obtenidas con el escaldado a vapor, en comparación con las mediciones para el escaldado en agua, esto se debe posiblemente al tiempo de proceso y su influencia en la desnaturalización de la enzima.

Puede destacarse la homogeneidad que se presenta entre las réplicas de cada uno de los tratamientos. De igual forma puede notarse que tan sólo aplicando el escaldado a vapor a 15 minutos de cocción se logró un diferencia de pH inferior a 0.02 lográndose inactivar con este tratamiento la actividad de la ureasa, tiempo y tratamiento semejante en el que según Li *et al* 1982 el inhibidor de tripsina y otros componentes antinutricionales del grano se eliminan.

7.1.1.2 Análisis de Varianza

Los resultados del análisis de varianza se presentan en la tabla 8 la cual se muestra a continuación.

Tabla 8. ANOVA de la Actividad de la Ureasa.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Pr(>F)
Tipo de escaldado	1	1.2243	1.2243	4307.2	8.416e-10*
Tiempo de escaldado	2	4.9739	2.48695	8749.2	4.027e-11*
Interacción entre Tipo de escaldado y Tiempo de escaldado	2	1.2126	0.60628	2132.9	2.771e-09*
Error Experimental	6	0.0017	0.00028		
Total	11	7.4125			

(*) Significancia al 5%.

En la tabla 8 puede notarse que el Cuadrado Medio del Error es 0.00028, el cual corresponde a la varianza estimada que permitirá determinar el tamaño de muestra posteriormente (en adelante se denotará a este por CME). Cabe anotar que la Pr(>F) es significativa a un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Con el ANOVA se puede probar entonces la interacción de los factores tiempo de cocción y tipo de escaldado, con las siguientes hipótesis:

H_0 : No hay interacción entre el Tipo de escaldado y el Tiempo de cocción

H_1 : Hay interacción entre el Tipo de escaldado y el Tiempo de cocción

Región crítica:

$$F_0 > F_{(0.05,2,6)} = 5.143$$

El valor F_0 se encuentra en el ANOVA:

$$F_0 = \frac{CM(DM)}{CME} = 2132.9$$

Como $F_0 = 2132.9$ cae en la región crítica: $F_0 > 5.143$, con una confianza del 95% existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de no interacción.

$$F_0 = 2132.9 > F_{(0.05,2,6)} = 5.143 \Rightarrow \text{Se rechaza } H_0$$

En cuanto a los resultados de la prueba de hipótesis se evidencia claramente que entre ambos factores: tipo de escaldado y tiempo de cocción, existe una interacción y esto de una u otra forma se pudo reflejar en los resultados descriptivos.

Es muy posible que el tipo de Escaldado que se emplea para la obtención de la harina de Guandul este interactuando con el tiempo de escaldado, por lo que se mencionó anteriormente de que la ureasa al ser una proteína se desnatura bajo las condiciones de temperatura y tipo de escaldado al cual fue expuesta en cada tratamiento, lo cual al probar la hipótesis se evalúa dicho efecto.

7.1.1.3 Determinación del Tamaño de Muestra

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza (tabla 8) se realizó un análisis de sensibilidad de la prueba F para el factor Tipo de escaldado, Tiempo de cocción y la interacción para determinar el tamaño de muestra. La potencia alcanzada al tomar $r=2,3,4,5$ y 6 réplicas es del 100% en cada caso. Sin embargo, bastará con tomar 2 réplicas por tratamiento si se tiene un Cuadrado Medio del Error de 0.00028, para un nivel de significancia $\alpha=0.05$, lo cual implica un tamaño del experimento de 12 observaciones. Esto significa que la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando realmente esta es falsa, tanto en el caso del efecto de la interacción como en el de los factores simples, fue del 100% para los resultados obtenidos en la prueba piloto para la prueba de ureasa.

Basados en este resultado se realizó 2 réplicas por tratamiento para un total de 12 corridas, donde se realiza por cada tratamiento el análisis ureásico, curva de empastamiento, proteína total y cinéticas de secado de los granos.

7.1.2 Prueba de viscosidad

Para estandarizar la metodología para la curva de empastamiento se analizó la granulometría de tres harinas comerciales con el objetivo realizar una adecuada formulación para la harina de guandul, obteniéndose resultados negativos empleando las tres formulaciones.

Posteriormente se realizó otra formulación y se analizaron diferentes concentraciones p/v (8, 10 y 12%) logrando buenos resultados a la mayor concentración con la siguiente formulación:

Tabla 9. Granulometría formulada en la harina.

Tamiz	Porcentaje (%)
50	2
70	10
140	20
Fondo	68

7.2 Resultados de la corrida experimental

7.2.1 Prueba de Ureasa

La tabla 10 muestra los resultados obtenidos para la prueba de ureasa, siendo tiempo = 0 min, la muestra control (Harina cruda).

Tabla 10. Resultados de la Prueba ureasa según el tratamiento (Diferencia de pH).

Tiempo escaldado (min)	Escaldado Agua	Escaldado Vapor
0	2.262	2.262
0	2.317	2.317
5	1.939	2.195
5	1.893	2.215
10	1.451	0.656
10	1.385	0.979
15	0.505	0.0135
15	0.438	-0.026

En la tabla 11 se presentan algunos estadísticos preliminares. Se puede apreciar que los resultados promedios de la prueba ureasa disminuyen a medida que aumentan los minutos de escaldado llegando incluso a ser de -0.006 de Δ pH, un valor inferior a 0.02 necesario para desactivar la enzima ureasa; tiempo semejante al reportado por Machado *et al* 2008, y para granos de soja, el cual establece que dichos granos deben ser sometidos a un tratamiento de escaldado con vapor durante 15 min a 1.7 atm y 121°C para desactivar la actividad de la ureasa y los

inhibidores de tripsina, misma conclusión a la que llegó Li *et al* 1982 operando el escaldado a vapor a una presión de 15lb y 121 °C con granos de guandul donde se dice que después de 15 minutos de proceso los inhibidores de tripsina y otros factores antinutricionales se inactivan. Comparando los resultados obtenidos y los reportados en la literatura (Figura 2 y 3) se podría decir que la prueba de ureasa es un buen indicador de la inactivación de los inhibidores de tripsina en el guandul. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en las pruebas preliminares, afirmando el efecto que tienen los tratamientos térmicos aplicados sobre la actividad de esta enzima.

Tabla 11. Valores de los descriptores estadísticos de la prueba ureasa según el tratamiento.

	Escaldado Agua				Escaldado Vapor			
Tiempo escaldado (min)	0	5	10	15	0	5	10	15
Media(Δ pH)	2.290	1.916	1.418	0.472	2.290	2.205	0.818	-0.006
Desv. Est	0,0389	0,0325	0,0467	0,0474	0,0389	0,0141	0,2284	0,0279

Para analizar los efectos de los métodos y tiempos de escaldado sobre los resultados de la prueba ureasa se ha graficado un boxplot (diagrama de cajas) de esta variable, la cual es presentada en la figura 9. Como se puede apreciar la diferencia entre las medias de los métodos de escaldado es mínima, en cambio las diferencias de los tiempos de escaldado en los valores promedios de la prueba de ureasa son apreciables para los diferentes tiempos de escaldado. Se puede observar el efecto de los tratamientos térmicos al aumentar el tiempo, pasando de una actividad superior de 2.0 Δ pH a un tiempo cero a una inferior de 0.5 Δ pH al alcanzar los 15 minutos de operación (figura 9).

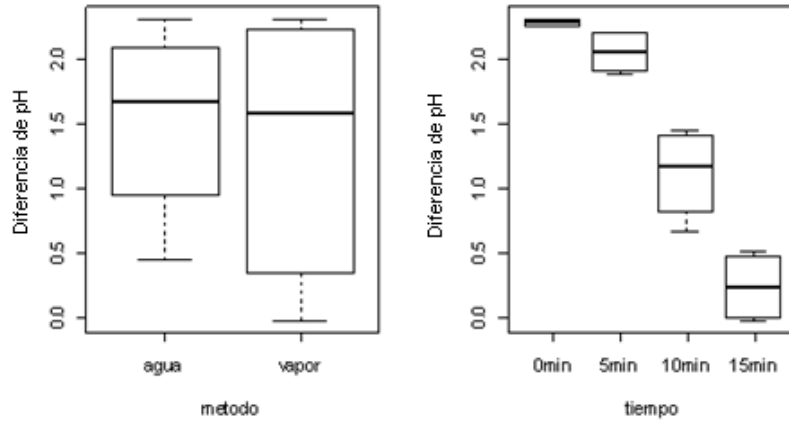


Figura 9. Diagrama de cajas con los resultados de la actividad de la ureasa según el tratamiento.

Es importante resaltar también el efecto de cada tipo de escaldado sobre la actividad de la ureasa al aumentar el tiempo de proceso, existe mayor efecto en el escaldado en agua hasta los primeros 5 minutos y después de los 10 minutos es mucho mejor el escaldo con vapor llegando a inactivación de la enzima hasta los 15 minutos (figura 10).

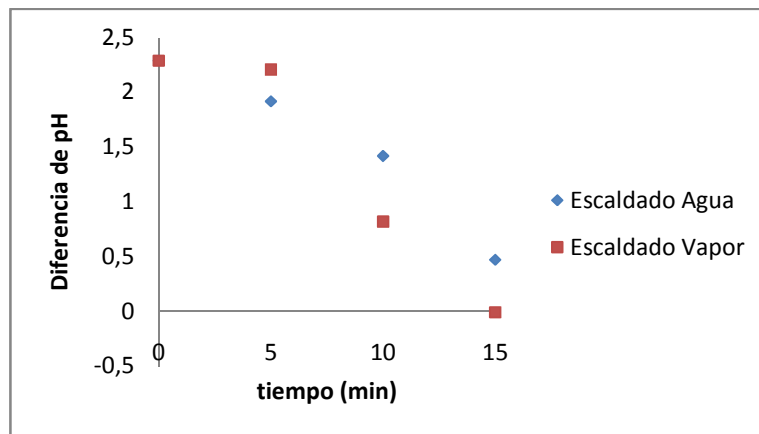


Figura 10. Comparación de la actividad de ureasa a los diferentes tiempos de escaldado en agua y vapor.

Con respecto al análisis de varianza cuyos resultados se presentan en la tabla 12 se encontró que el efecto de la interacción es significativo lo cual sugiere que los

métodos de escaldado y el tiempo de proceso influyen sobre la actividad de esta enzima.

Tabla 12. Análisis de Varianza ANOVA con los resultados de la actividad de ureasa

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr(>F)
Tipo de escaldado	1	0,2076	0,2076	21,251	0,003654*
Tiempo de escaldado	2	6,6845	3,3422	342,062	6,57E-07*
Interacción entre Tipo de escaldado y Tiempo de escaldado	2	0,4647	0,2324	23,781	0,001406*
Error Experimental	6	0,0586	0,0098		

Significancias: *** 0.05

Ahora realizando comparaciones múltiples por medio de la prueba de Tukey para saber entre que tratamientos hay diferencias significativas se encontró de acuerdo a lo presentado en la tabla 13 que casi todas las comparaciones son significativas, excepto entre los tratamientos Agua 15 min - Vapor 10 min y Vapor 5 min-Agua 5 min. Se evidencia la alta influencia del escaldado en la desactivación de la enzima, a medida que aumenta el tiempo de cocción la enzima tiende a desactivarse significativamente por desnaturalización proteica.

Tabla 13. Prueba de Tukey sobre los resultados de la actividad de ureasa según el tratamiento.

Factores comparados	$ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Intervalo de confianza	P ajustado
vapor:10min- agua:10min	-0,6005	-0.9938984, -0.20710158	0,0068588*
agua:15min- agua:10min	-0,9465	-1.3398984, -0.55310158	0,0005912*
vapor:15min- agua:10min	-1,42425	-1.8176484, -1.03085158	0,0000573*
agua:5min- agua:10min	0,498	0.1046016, 0.89139842	0,017296*
vapor:5min- agua:10min	0,787	0.3936016, 1.18039842	0,0016411*
agua:15min- vapor:10min	-0,346	-0.7393984, 0.04739842	0,0839387
vapor:15min- vapor:10min	-0,82375	-1.2171484, -0.43035158	0,0012785*
agua:5min- vapor:10min	1,0985	0.7051016, 1.49189842	0,000255*
vapor:5min- vapor:10min	1,3875	0.9941016, 1.78089842	0,0000668*
vapor:15min- agua:15min	-0,47775	-0.8711484, -0.08435158	0,021043*
agua:5min- agua:15min	1,4445	1.0511016, 1.83789842	0,0000526*
vapor:5min- agua:15min	1,7335	1.3401016, 2.12689842	0,0000164*
agua:5min- vapor:15min	1,92225	1.5288516, 2.31564842	0,0000082*
vapor:5min- vapor:15min	2,21125	1.8178516, 2.60464842	0,0000037*
vapor:5min- agua:5min	0,289	-0.1043984, 0.68239842	0,1596487

*** Es significativo al 5%

La prueba de Tukey realizada nos muestra que el tiempo de operación ya sea aplicando escaldado en agua o en vapor tiene alta influencia en la actividad de la enzima ya que siempre se evidenció diferencia significativa en cada nivel (tiempo 5,10 y 15 minutos) por tratamiento térmico aplicado.

Por medio del estadístico de prueba de Dunnett (tabla 14) todos los resultados de la prueba ureasa fueron significativamente menores al valor obtenido en la harina cruda, es decir, cada tratamiento de escaldado influye sobre la enzima desnaturizando la proteína en el grano de Guandul.

Tabla 14. Prueba Dunnett con los resultados de actividad de ureasa según el tratamiento.

Comparación	Estimación diferencia de medias	Estadístico	p-valor ajustado
agua10min - har.cruda	-0.872	-23.798	0.0051*
agua15min - har.cruda	-1.818	-49.040	0.0010*
agua5min - har.cruda	-0.374	-13.364	0.0160*
vapor10min - har.cruda	-1.472	-9.071	0.0341*
vapor15min - har.cruda	-2.296	-90.596	0.0002*
vapor5min - har.cruda	-0.085	-4.503	0.0702*

** Es significativo al 5%

7.2.2 Contenido de Proteína total

Los valores encontrados de proteína total en la harina de guandul se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Resultados del contenido de proteína total según el tratamiento.

Tiempo escaldado (min)	Proteína Total para el escaldado en agua (%)	Proteína Total para el escaldado en vapor (%)
0	25.760	25.760
0	23.336	23.336
5	25.636	20.749
5	23.976	19.133
10	25.574	23.828
10	26.384	24.006
15	24.775	19.752
15	24.036	21.419

De acuerdo a lo observado en las tablas 15 y 16 el contenido de proteína total permanece prácticamente constante en el escaldado en agua, observándose mayor variación en el escaldado a vapor, siendo poca la diferencia en comparación con la muestra control (t= 0 min), tendiendo a conservarse el contenido de proteína total al aplicar el tratamiento térmico.

Tabla 16. Valores de los descriptores estadísticos para el contenido de proteína total.

Tiempo escaldado (min)	Escaldado Agua				Escaldado Vapor			
	0	5	10	15	0	5	10	15
Media (%)	24.548	24.806	25.979	24.406	24.548	19.941	23.917	20.586
Desv. Est	1.714	1.174	0.573	0.523	1.714	1.143	0.126	1.179

En la figura 11 se puede apreciar que el contenido de proteína promedio en las harinas en agua y vapor difiere, siendo más dispersos los valores en vapor. En cuanto a los tiempos de escaldado se ven similitudes entre valores promedios entre 5 y 15 minutos. Esto se debe posiblemente a que el contenido de proteína total se conserva a pesar del tratamiento térmico aplicado, según lo reportado por Li *et al* 1982.

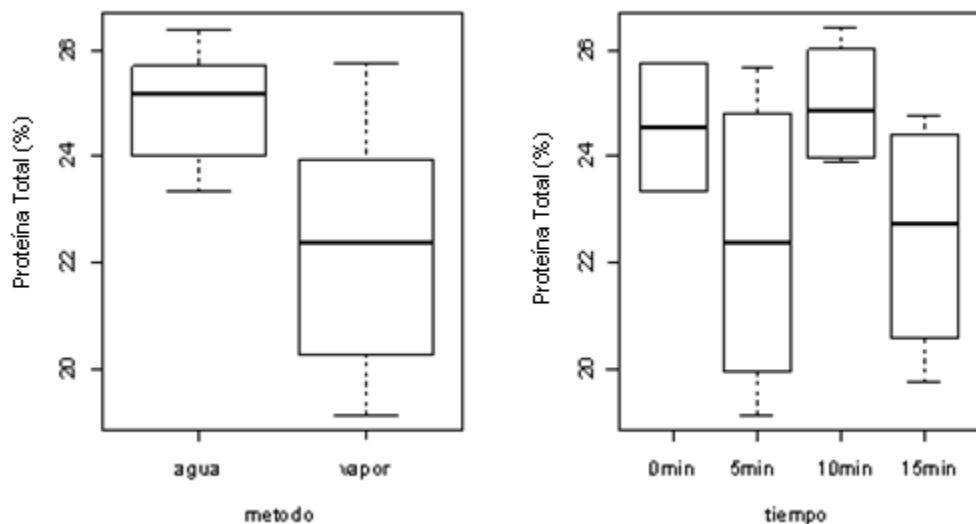


Figura 11. Diagrama de cajas con los resultados del contenido de proteína total según el tratamiento.

Comparando cada tipo de escaldado se puede ver en las figuras 11 y 12 que el escaldado en vapor afecta mucho más el contenido de proteína total en los granos de guandul, lo que sugiere que este tratamiento podría afectar la calidad proteica del grano ocasionando también desnaturalización, lo que también produjo la inactivación de la enzima ureasa.

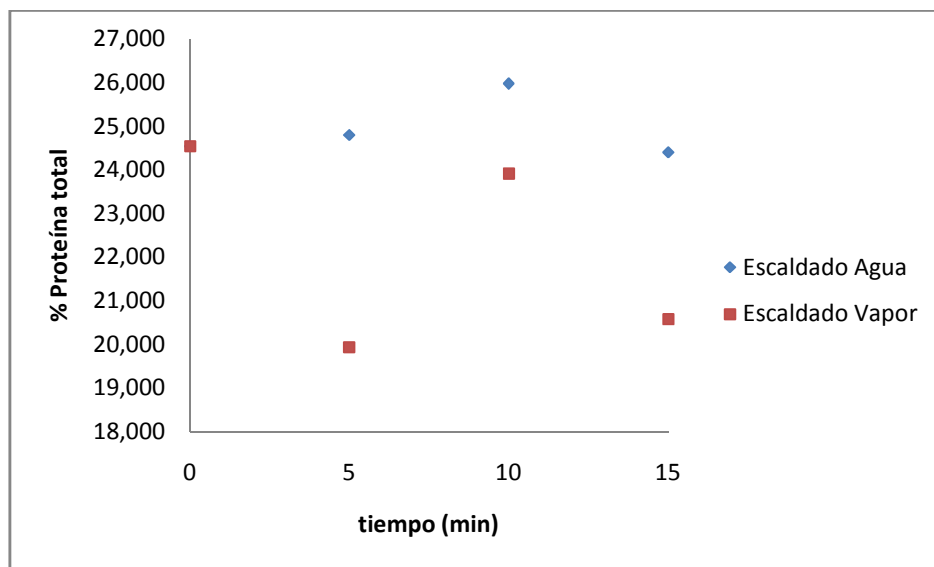


Figura 12. Comparación del contenido de proteína total a los diferentes tiempos de escaldado en agua y vapor.

En los resultados del análisis de varianza de la tabla 17 se observa que los efectos del método de escaldado y del tiempo son significativos al 5% por lo que el efecto de algunos de los métodos y de los tiempos de escaldado difiere del resto.

Tabla 17. Análisis de Varianza ANOVA con los resultados del contenido de proteína total.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr(>F)
Tipo de escaldado	1	38,499	38,499	49,2537	0,0004176*
Tiempo de escaldado	2	16,877	8,438	10,7956	0,0102834*
Interacción entre Tipo de escaldado y Tiempo de escaldado	2	4,013	2,007	2,5671	0,1564884
Error Experimental	6	4,69	0,782		

Significancias: ** 0.05

En la tabla 18 se presentan los resultados de la prueba Tukey. En este caso se encuentran tres diferencias significativas, se observa que el contenido de proteína es significativamente mayor en el tratamiento con agua que en vapor. Por otro lado el contenido proteico a 10 minutos es significativamente mayor que a 5 y 15 minutos de escaldado ya sea en vapor o en agua tal como se puede apreciar en la tabla 18 y se observa gráficamente en la figura 12.

Tabla 18. Prueba de Tukey sobre los resultados del contenido de proteína total según el tratamiento.

Factores en comparación	$ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Intervalo de confianza	P ajustado
vapor-agua	-3,582333	-4.970976, -2.193691	0,0003424*
15min-10min	-2,4525	-4.559933, -0.3450673	0,0252826*
5min-10min	-2,5745	-4.681933, -0.4670673	0,0199467*
5min-15min	-0,122	-2.229433, 1.9854327	0,9850561

“*” Es significativo al 5%

Li *et al* 1982 reporta que la calidad proteica del guandul *Cajanus cajan* disminuye sustancialmente con el escaldado a vapor después de 15 minutos aunque se logre destruir los factores antinutricionales del grano siendo según el estudio un tratamiento muy drástico para la proteína de este alimento, hallando el mejor tratamiento una cocción en agua por 60 minutos. Aunque el contenido proteico total después del escaldado en vapor por 15 minutos es bueno ya que es superior a un 19 % (tabla 16).

En la tabla 19 se puede observar que los promedios de contenido proteico obtenidos a diferentes tiempo de cocción no son significativos comparados con la harina cruda. Pero en cambio el contenido proteico promedio obtenido al aplicar el método vapor es significativamente menor que el contenido en la harina cruda, resultados similares obtenidos por Li *et al* 1982 quien afirma que el escaldado con vapor es muy fuerte para la proteína del grano de Guandul, pero se sigue conservando un nivel alto de proteína.

Tabla 19. Prueba de Dunnett con los resultados del contenido de proteína total según el tratamiento.

Comparación	Estimación diferencia de medias	Estadístico	p-valor ajustado
agua - har.cruda	0.516	0.642	0.755
vapor - har.cruda	-3.067	-2.815	0.0449*
10min - har.cruda	0.400	-1.327	0.956
15min - har.cruda	-2.053	0.428	0.426
5min - har.cruda	-2.175	-1.511	0.511

*** Es significativo al 5%

7.2.3 Viscosidad

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la curva de empastamiento, temperatura de gelatinización T_{rg} , viscosidad máxima alcanzada $V_{m\acute{a}x}$ y viscosidad inicial alcanzada en el periodo de temperatura constante V_i (90 °C) en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados de la curva de empastamiento.

Tiempo escaldado (min)	Trg (°C)		Vmax (UB)		Vi (90°C) (UB)	
	Escaldado Agua	Escaldado Vapor	Escaldado Agua	Escaldado Vapor	Escaldado Agua	Escaldado Vapor
0	80.5	80.5	830	830	610	610
0	81.1	81.1	835	835	580	580
5	80.5	82	830	818	723	440
5	82	82.75	840	825	790	565
10	82.5	82	817	770	540	375
10	82	82	809	760	400	370
15	82	82.75	820	685	390	300
15	83.5	82	825	685	383	290

En la tabla 21 se dan unas estadísticas descriptivas realizadas a los datos obtenido como la media y la desviación estándar siendo esta grande para la $V_{m\acute{a}x}$ y V_i .

Tabla 21. Valores de los descriptores estadísticos de la curva de empastamiento.

	Tiempo escaldado (min)	Escaldado en agua				Escaldado en vapor			
		0 min	5 min	10 min	15 min	0 min	5 min	10 min	15 min
Trg	Media	80.800	81.250	82.250	82.750	80.800	82.375	82.000	82.375
	Desv.Est	0.424	1.061	0.354	1.061	0.424	0.530	0.000	0.530
Vmax	Media	832.500	835.000	813.000	822.500	832.500	821.500	765.000	685.000
	Desv.Est	3.536	7.071	5.657	3.536	3.536	4.950	7.071	0.000
Vi	Media	595.000	756.500	470.000	386.500	595.000	502.500	372.500	295.000
	Desv.Est	21.213	47.376	98.995	4.950	21.213	88.388	3.536	7.071

7.2.3.1 Temperatura de Gelatinización (T_{rg})

En la figura 13 se puede apreciar que la diferencia de la T_{rg} promedio entre métodos de escaldado no es considerable, pero esta medida está más dispersa para el caso de escaldado en agua. Para los tiempos de escaldado se observan diferencias apreciables que indican que esta medida difiere dependiendo del tiempo de escaldado aplicado.

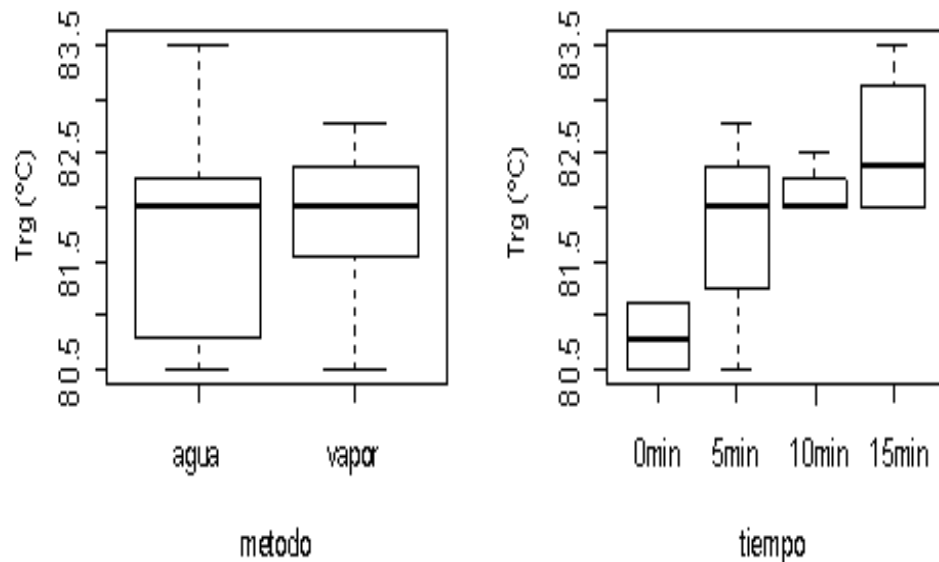


Figura 13. Diagrama de cajas con la temperatura de gelatinización (Trg) según el tratamiento.

La alta temperatura de gelatinización indica que el almidón presente en este alimento es resistente a la hinchazón (tabla 21 y figura 13), comparado con otros tipo de almidón (tabla 22).

Tabla 22. Temperatura de Gelatinización de diferentes almidones.

Almidón	Rango de Gelatinización (°C)
Cebada	56-62
Maíz	
Regular	62-80
Waxy	63-74
Papa	56-69
Arroz	61-80
Centeno	57-70
Sorgo	68-78
Trigo	53-62

Fuente (Kaletunç & Breslauer, 2003)

Con respecto a los resultados del análisis de varianza se obtuvo en este caso que ningún factor es significativo al 5%, es decir, no hay evidencia para pensar que alguno de los métodos o tiempos de escaldado aplicados difiere del resto (Tabla 23).

Tabla 23. Análisis de Varianza ANOVA para la temperatura de Gelatinización (T_{g}).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr(>F)
Tipo de escaldado	1	0,08333	0,08333	0,1702	0,6943
Tiempo de escaldado	2	1,13542	0,56771	1,1596	0,3752
Interacción entre Tipo de escaldado y Tiempo de escaldado	2	1,38542	0,69271	1,4149	0,3138
Error Experimental	6	2,9375	0,48958		

Significancias: *** 0.05.

7.2.3.2 Viscosidad Máxima (V_{max})

En la figura 14 se observa una diferencia considerable entre las viscosidades máximas encontradas en las harinas en agua y vapor. Así mismo se observa que

esta viscosidad máxima difiere entre tiempos de escaldado siendo apreciable una tendencia a decrecer, es decir, a presentar valores de viscosidad máxima cada vez menores y dispersos a medida que aumenta los tiempos de escaldado, debido posiblemente a cambios en la estructura interna del grano como la desnaturalización de proteínas y rompimiento o modificación de los gránulos de almidón.

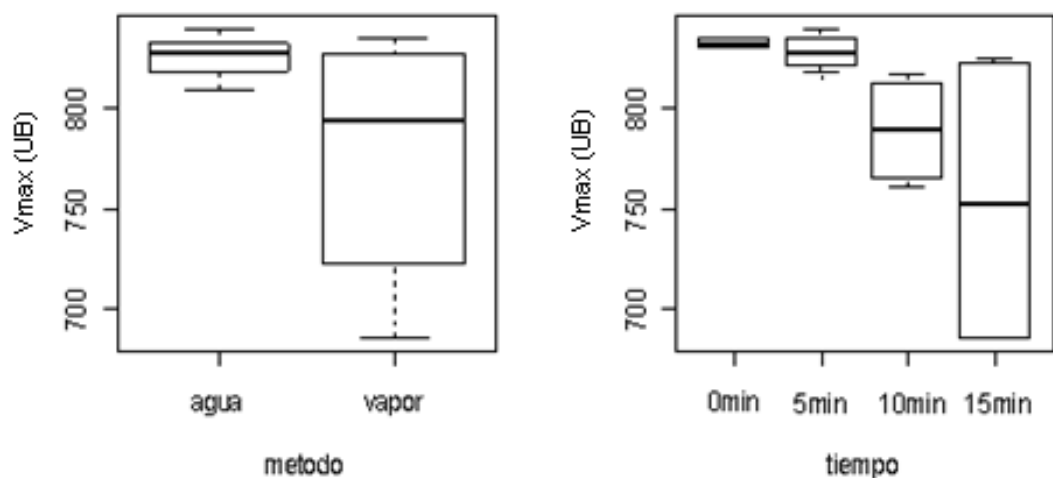


Figura 14. Diagrama de cajas para la viscosidad máxima según el tratamiento.

El escaldado en vapor es el tratamiento de mayor influencia sobre la viscosidad máxima alcanzada en el periodo de temperatura constante a 90 °C en la curva de empastamiento, notándose de forma clara en la figura 15 que a mayor tiempo esta disminuye, manteniéndose casi constante en el escaldado en agua, siendo el escaldado en vapor un tratamiento fuerte para el almidón presente en los granos de guandul.

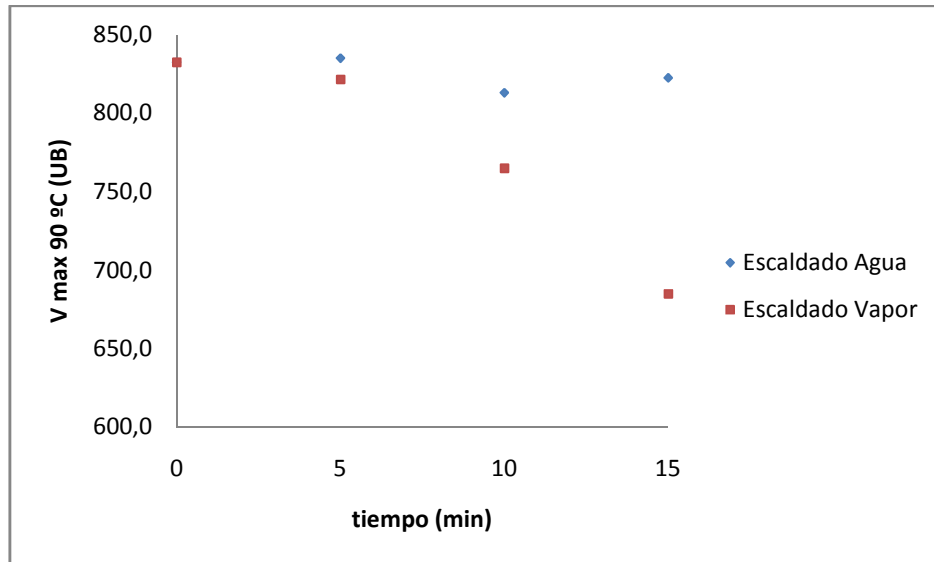


Figura 15. Comparación de la viscosidad máxima a los diferentes tiempos de escaldado en agua y vapor.

En los resultados del análisis de varianza de la tabla 24 se observa que los factores individuales y su interacción son significativos al 5%, como la interacción dificulta evaluar el efecto individual de los factores la prueba postanova se efectúa sobre las interacciones.

Tabla 24. Análisis de Varianza ANOVA para la viscosidad máxima.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr(>F)
Tipo de escaldado	1	13200,3	13200,3	468,65	6,34E-07*
Tiempo de escaldado	2	11111,2	5555,6	197,24	3,36E-06*
Interacción entre Tipo de escaldado y Tiempo de escaldado	2	8192,2	4096,1	145,42	8,26E-06*
Error Experimental	6	169	28,2		

Significancias: *** 0.05

Las comparaciones múltiples de las interacciones, presentadas en la tabla 25 muestran varias interacciones que son significativas. Entre ellas se encuentra que la viscosidad máxima en la harina sometida a escaldado a vapor en 15 minutos es significativamente menor que el resto de los demás tratamientos al 5%. Lo que

indica que éste, el único tratamiento con el que se logra desactivar la enzima implica una pérdida considerable de viscosidad máxima.

Tabla 25. Prueba de Tukey sobre los resultados de la viscosidad máxima.

Factores en comparación	$ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Intervalos de confianza	P ajustado
vapor:10min-agua:10min	-48	-69.1219532,-26.878047	0,0008131*
agua:15min-agua:10min	9,5	-11.6219532,30.621953	0,5309341
vapor:15min-agua:10min	-128	-149.1219532,-106.878047	0,0000028*
agua:5min-agua:10min	22	0.8780468,43.121953	0,0420242*
vapor:5min-agua:10min	8,5	-12.6219532,29.621953	0,6252222
agua:15min-vapor:10min	57,5	36.3780468,78.621953	0,0002945*
vapor:15min-vapor:10min	-80	-101.1219532,-58.878047	0,0000436*
agua:5min-vapor:10min	70	48.8780468,91.121953	0,000096*
vapor:5min-vapor:10min	56,5	35.3780468,77.621953	0,0003253*
vapor:15min-agua:15min	-137,5	-158.6219532,-116.378047	0,0000021*
agua:5min-agua:15min	12,5	-8.6219532,33.621953	0,2998651
vapor:5min-agua:15min	-1	-22.1219532,20.121953	0,9999461
agua:5min-vapor:15min	150	128.8780468,171.121953	0,0000016*
vapor:5min-vapor:15min	136,5	115.3780468,157.621953	0,0000022*
vapor:5min-agua:5min	-13,5	-34.6219532,7.621953	0,2440249

** Es significativo al 5%

En la tabla 26 se obtuvo que para la viscosidad máxima los tratamientos vapor a 10 minutos y vapor a 15 minutos generan una viscosidad máxima significativamente menor que la obtenida con la harina cruda, esto se debe posiblemente a daños en los gránulos de almidón y a la desnaturalización de la proteína.

Tabla 26. Prueba Dunnett con los resultados de viscosidad máxima según el tratamiento.

Comparación	Estimación diferencia de medias	Estadístico	p-valor ajustado
agua10min - har.cruda	-19.500	-4.586	0.126
agua15min - har.cruda	-10.000	-3.464	0.206
agua5min - har.cruda	2.500	0.480	0.989
vapor10min - har.cruda	-67.500	-12.970	0.0171*
vapor15min - har.cruda	-147.500	-102.191	0.0000*
vapor5min - har.cruda	-11.000	-2.906	0.275

** Es significativo al 5%

7.2.3.3 Viscosidad inicial a los 90 °C

En la figura 16 se observa que los valores medios de la viscosidad a 90 °C pueden diferir de acuerdo al método de cocción aplicado y al tiempo de cocción al que se expone la harina. La dispersión a 5 minutos de estos datos es considerablemente mayor que la de los otros niveles.

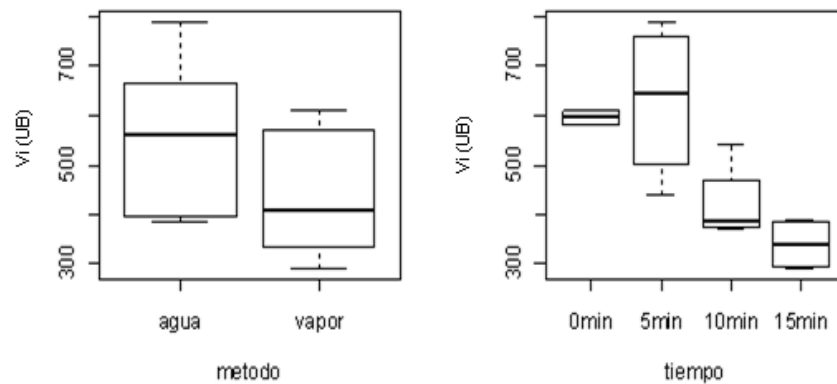


Figura 16. Diagrama de cajas para la viscosidad inicial a los 90°C (V_i 90°C) según el tratamiento.

La viscosidad inicial alcanzada en el periodo de temperatura constante en la curva de empastamiento difiere en su comportamiento a la $V_{m\acute{a}x}$ al aplicar los tratamientos térmicos (figuras 15 y 17), respecto al escaldado en agua, ya que esta ultima permanece prácticamente constante y V_i decrece en el tratamiento con agua, esto se debe posiblemente a que en el escaldado en agua los gránulos de almidón se solubilizan y gelatinizan, rompiéndose y perdiendo su estructura original lo que ocasiona que al volver a rehidratarlos sea más fácil su expansión produciendo una mayor V_i (Fennema, 2000).

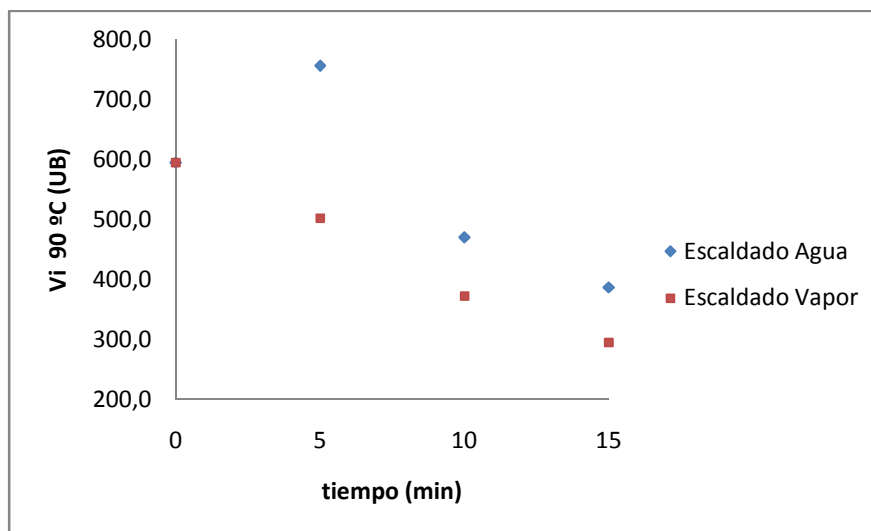


Figura 17. Comparación de la viscosidad inicial a los 90°C a los diferentes tiempos de escaldado en agua y vapor.

En el análisis de varianza para la medida de viscosidad inicial a los 90°C se encontró que los factores método y tiempo de escaldado son significativos al 5% (tabla 27), por lo que en este caso se hacen comparaciones múltiples con respecto a estos dos factores.

Tabla 27. Análisis de Varianza ANOVA para la viscosidad inicial a los 90°C.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr(>F)
Tipo de escaldado	1	65416	65416	19,68	0,004394*
Tiempo de escaldado	2	177633	88817	26,7198	0,001029*
Interacción entre Tipo de escaldado y Tiempo de escaldado	2	16978	8489	2,5539	0,157607
Error Experimental	6	19944	3324		

Significancias: ** 0.05

En las comparaciones múltiples presentadas en la tabla 28 se obtuvo que la viscosidad a 90°C en la harina cruda tratada con agua es significativamente mayor al 5% en comparación con el tratamiento en vapor. Así mismo la harina a la que se aplicó el escaldado a los granos por 5 minutos tiene una viscosidad a 90°C significativamente mayor al 5% que los demás tiempos de escaldado.

Tabla 28. Prueba de Tukey sobre los resultados de la viscosidad inicial a los 90°C (Vi 90°C).

Factores en comparación	$ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Intervalos de confianza	P ajustado
vapor-agua	-147,6667	-238.1145,-57.21886	0,0055062*
15min-10min	-80,5	-217.76549,56.76549	0,2717206
5min-10min	208,25	70.98451,345.51549	0,006242*
5min-15min	288,75	151.48451,426.01549	0,0008205*

*) Es significativo al 5%

En la tabla 29 se obtuvo que V_i a 90 °C es significativamente menor en comparación con la obtenida por la harina cruda en cuanto a las muestras a las que se les aplicó el método vapor y cocción de 10 minutos, resultado que sigue demostrando el gran efecto que tiene el escaldado en vapor y el tiempo sobre la estructura interna de los granos de Guandul.

Tabla 29. Prueba Dunnett con los resultados de viscosidad inicial a los 90°C según el tratamiento.

Comparación	Estimación diferencia de medias	Estadístico	p-valor ajustado
agua - har.cruda	-57.330	0.773	0.704
vapor - har.cruda	-205.000	-4.827	0.0089*
5min - har.cruda	-173.800	-4.233	0.056
10min - har.cruda	-254.200	-9.110	0.0063*
15min - har.cruda	34.500	0.435	0.957

7.2.4 Análisis de la curva de secado

En las figuras 17 y 18 se han graficado las curvas de secado de acuerdo a lo descrito por Geankoplis. Se observa una tendencia similar entre las curvas de secado de las muestras de harina escaldadas en agua y en vapor, aunque mayor dispersión en esta última. También se observa que el escaldado en vapor a 15 minutos tiene el mismo comportamiento que el escaldado en agua a 5 minutos y en general se puede observar poca dispersión en las curvas graficadas (figura 18).

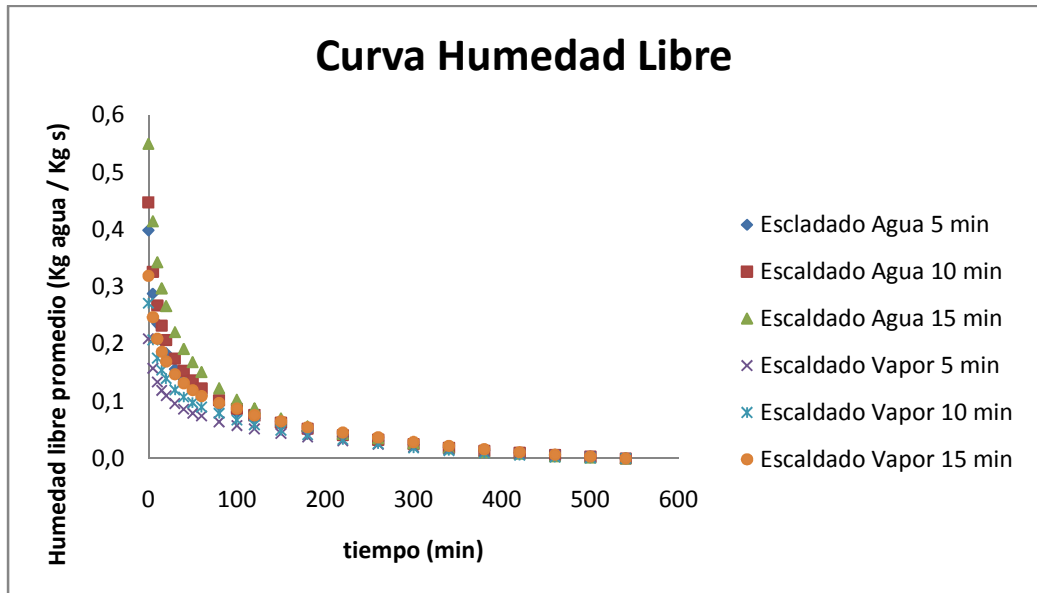


Figura 18. Curva de humedad libre en función del tiempo.

La velocidad de secado presenta dispersión al comparar cada cinética ya que el agua ganada por cada tratamiento difiere (figura 19), siendo mayor esta ganancia en el escaldado en agua, aumentando a medida que es mayor el tiempo de proceso (tabla 30). Esto se debe a que el agua libre en el escaldado en agua es mayor, incrementándose la velocidad de secado en este proceso ya que esta agua es más fácil de remover.

Tabla 30. Porcentaje de agua ganada para cada tipo de escaldado.

Porcentaje en peso de Ganancia de agua		
tiempo (min)	Escaldado Agua	Escaldado Vapor
5	29.809	16.488
10	35.118	19.544
15	44.010	24.729

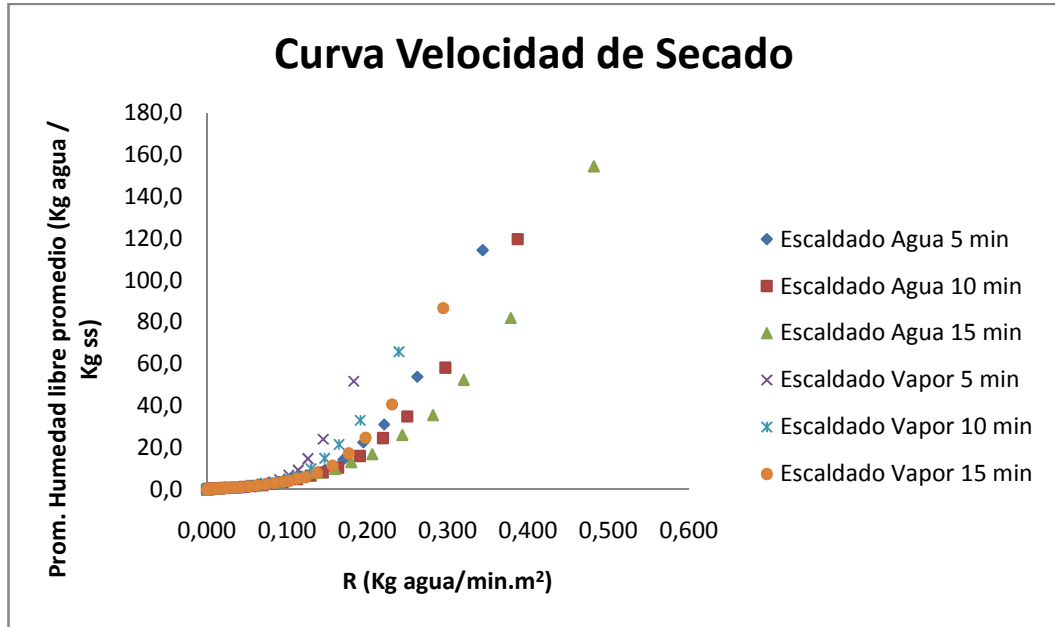


Figura 19. Velocidad de secado en función de la humedad libre.

Los resultados obtenidos con los modelos ajustados se presentan en la tabla 31 y 32 después de ajustar los datos al modelo simple aplicado a la solución analítica de Crank expuesto en la sección 4.2. En general todos los modelos tienen un R^2 grande que indica que el tiempo de secado explica significativamente la pérdida de humedad en el grano expuesto al secado. Así mismo se observa unos errores estándar tanto para los parámetros como para los residuos pequeños y se obtuvo que los modelos y sus parámetros son significativos al 5%.

Tabla 31. Parámetros de la ecuación 8 que describe el secado de las muestras escaldadas en agua.

Método	Tiempo	Ln(A)	A	E.E A	K	E.E K	R^2	E.E Resid
Agua	5 min	-0.6042	0.5465	0.0760	-0.0081	0.0003	0.9686	0.2444
	5 min	0.5949	1.8128	0.0643	-0.0075	0.0003	0.9741	0.2066
	10 min	-0.5729	0.5639	0.0689	-0.0083	0.0003	0.9752	0.2217
	10 min	-0.6029	0.5472	0.0726	-0.0081	0.0003	0.9715	0.2334
	15 min	-0.5511	0.5763	0.0693	-0.0086	0.0003	0.9765	0.2227
	15 min	-0.5404	0.5825	0.0772	-0.0095	0.0004	0.969	0.2382

Tabla 32. Parámetros de la ecuación 8 que describe el secado de las muestras escaldadas en vapor.

Método	Tiempo	Ln(A)	A	E.E A	K	E.E K	R ²	E.E Resid
Vapor	5 min	-0.4617	0.6302	0.05673	0.0069	0.0002	0.9755	0.1824
	10 min	-0.4575	0.6328	0.07219	0.0087	0.0004	0.9674	0.2227
	10 min	-0.3744	0.6877	0.07965	0.0081	0.0003	0.9657	0.2561
	15 min	-0.3703	0.6905	0.06662	0.0075	0.0003	0.9718	0.2142
	15 min	-0.4785	0.6197	0.06863	0.0073	0.0003	0.9684	0.2206

En la tabla 33 se presenta la validación de supuestos de los modelos de regresión de la curva de secado. Como se puede apreciar no cumplen con los supuestos de normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas dos modelos ajustados para los tratamientos agua a 5 minutos b y vapor a 10 minutos b lo cual ameritaría realizar un ajuste.

Tabla 33. Validación de supuestos para los modelos de regresión de la cinética de secado.

Modelo ANOVA	Prueba Shapiro Wilk		Prueba Breusch-Pagan	
	Estadístico	Significancia	Estadístico	Significancia
Agua 5 min a	0.9528	0.3591	0.000158	0.9899
Agua 5 min b	0.8868	0.01634	4.87523	0.0272
Agua 10 min a	0.9382	0.1814	0.832449	0.3616
Agua 10 min b	0.9395	0.1933	0.55899	0.45467
Agua 15 min a	0.9481	0.2889	0.10369	0.7474
Agua 15 min b	0.9214	0.1055	0.18928	0.6635
Vapor 5 min	0.9545	0.3864	0.02838	0.8662
Vapor 10 min a	0.9663	0.6767	2.00186	0.1571
Vapor 10 min b	0.9097	0.04673	9.0891	0.0024
Vapor 15 min a	0.9376	0.1766	4.3489	0.0370
Vapor 15 min b	0.9796	0.9092	0.9396	0.3323

En esta parte de validación hace falta contrastar los parámetros fijos con el valor teórico que debería tomar, para esto se tiene en cuenta la prueba *t-student* de la forma que fue presentado en la metodología.

Ahora, desarrollando el análisis de varianzas para el parámetro K, es decir la constante de velocidad de secado, inicialmente se ve en la figura 20 una diferencia apreciable entre velocidades de secado medias en los métodos de escaldado. Y en este caso para los tres tiempos de escaldado considerados la diferencia de estos valores medios también es distinguible.

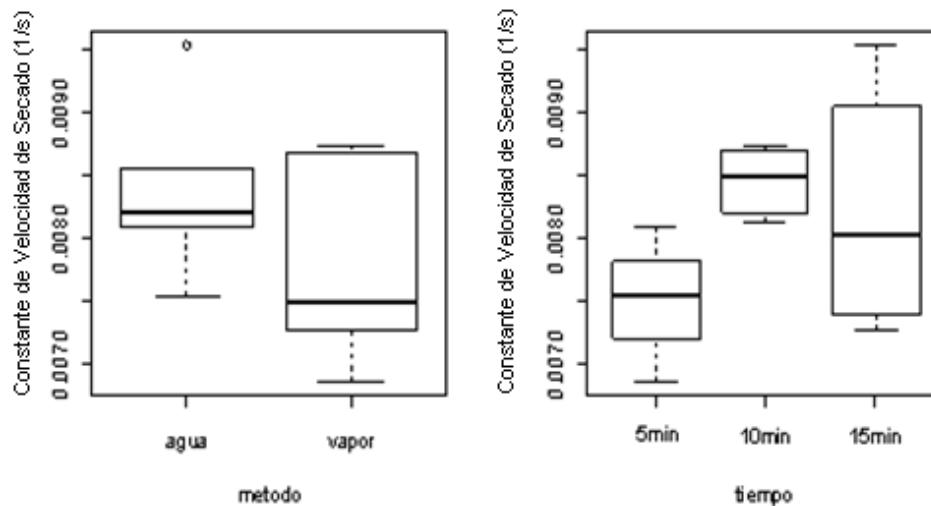


Figura 20. Diagrama de cajas para la constante de velocidad de secado.

En los resultados de análisis de varianza de la tabla 34 se observa que la interacción es significativa al 5% por lo que las comparaciones múltiples se realizan sobre la interacción.

Tabla 34. Análisis de Varianza ANOVA para la constante de velocidad de secado.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr(>F)
Tipo de escaldado	1	8.26e-07	8.26e-07	6.197	0.05
Tiempo de escaldado	2	2.04e-06	1.02e-06	7.649	0.03*
Interacción entre Tipo de escaldado y Tiempo de escaldado	2	2.44e-06	1.22e-06	9.140	0.02*
Error Experimental	5	6.66e-07	1.33e-07		

Significancias: ** 0.05

En los resultados de comparaciones de medias de la tabla 35 realizada con la prueba Tukey para datos desbalanceados se encontraron solo dos comparaciones significativas. Es decir, en el tratamiento agua a 15 minutos la velocidad de secado es significativamente mayor con relación a vapor 5 y 15 minutos.

Tabla 35. Prueba de Tukey para la constante de velocidad de secado.

Factores en comparación	$ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Intervalos de confianza	P ajustado
agua10min-agua5min	0,000385	-0.0011724356, 0.0019424356	0,8807497
agua15min-agua5min	0,00123	-0.0003274356, 0.0027874356	0,1158719
vapor5min-agua5min	-0,00096	-0.0028674613, 0.0009474613	0,3895582
vapor10min-agua5min	0,00089	-0.0006674356, 0.0024474356	0,2932276
vapor15min-agua5min	-0,00044	-0.0019974356, 0.0011174356	0,8196414
agua15min-agua10min	0,000845	-0.0007124356, 0.0024024356	0,3311734
vapor5min-agua10min	-0,001345	-0.0032524613, 0.0005624613	0,1656301
vapor10min-agua10min	0,000505	-0.0010524356, 0.0020624356	0,7370639
vapor15min-agua5min	-0,000825	-0.0023824356, 0.0007324356	0,3493896
vapor5min-agua15min	-0,00219	-0.0040974613, -0.0002825387	0,0290475*
vapor10min-agua15min	-0,00034	-0.0018974356, 0.0012174356	0,9219774
vapor15min-agua15min	-0,00167	-0.0032274356, -0.0001125644	0,0381615*
vapor10min-vapor5min	0,00185	-0.0000574613, 0.0037574613	0,0561245
vapor15min-vapor5min	0,00052	-0.0013874613, 0.0024274613	0,8377869
vapor15min-vapor10min	-0,00133	-0.0028874356, 0.0002274356	0,0889217

** Es significativo al 5%

En la tabla 36 están los resultados de la prueba t-student sobre el valor del parámetro fijo de los modelos de regresión lineal ajustados para la curva de secado. Se observa que en todos los casos el estadístico no es significativo al 5%, lo que indica que los valores ajustados son significativamente iguales a los valores teóricos, indicando que el modelo representa bien lo planteado teóricamente por Crank.

Tabla 36. Prueba t - student para probar significancia del parámetro fijo A ($6/\pi^2$) parámetro fijo.

Modelo	Parámetro teórico A	Parámetro ajustado A	Estadístico	p-valor
Agua 5 min a	0.608	0.547	0.808	0.429
Agua 5 min b	0.608	0.552	0.877	0.391
Agua 10 min a	0.608	0.564	0.639	0.530
Agua 10 min b	0.608	0.547	0.836	0.413
Agua 15 min a	0.608	0.576	0.456	0.653
Agua 15 min b	0.608	0.583	0.329	0.746
Vapor 5 min	0.608	0.630	0.392	0.699
Vapor 10 min a	0.608	0.633	0.345	0.734
Vapor 10 min b	0.608	0.688	1.001	0.429
Vapor 15 min a	0.608	0.691	1.240	0.229
Vapor 15 min b	0.608	0.620	0.172	0.865

** Es significativo al 5%

7.2.5 Valor nutricional de la harina de guandul fresca y escaldado 15 min.

Se realizó un análisis proximal del grano fresco para comparar con el valor teórico hallado dando como resultado porcentajes muy similares y se seleccionó la harina obtenida en el escaldo vapor 15 min ya que fue el único tratamiento en el que se logró inactivar la enzima ureasa y de acuerdo a la revisión bibliográfica es el más drástico debido a las condiciones de proceso.

Tabla 37. Valor Proximal de la harina obtenida.

	Fresco	Escaldado Vapor 15 min
PROTEINA (%)	24.548	20.586
GRASA (%)	1.674	1.227
FIBRA (%)	1.373	1.964
CENIZA (%)	3.891	3.953
AGUA (%)	11.203	11.850
CARBOHIDRATOS (%)	57.312	60.420

La tabla 37 Expresa una comparación entre la composición nutricional de la harina de Guandul obtenida a partir de los granos frescos y de los granos sometidos a 15 min de vapor; Se estableció esta comparación ya que el proceso de 15 minutos en vapor es el único que permite inactivar el antinutriente, además de ello, es el proceso donde se ve más afectado el contenido de proteína y su viscosidad también disminuye. Estos cambios en los gránulos de almidón y la desnaturalización proteica ocasionan efectos en la elaboración de geles lo que posiblemente modifique las curvas de empastamiento ya que las proteínas forman al igual que el almidón una estructura tridimensional que atrapa e inmoviliza el agua en la gelificación (Fennema, 2000).

CONCLUSIONES

El tratamiento escaldado a vapor con 15 minutos de escaldado es el único con el que se logra desactivar la enzima ureasa y la media alcanzada es significativamente diferente de los demás tratamientos.

Evaluando el comportamiento de los factores involucrados en este tratamiento (escaldado en agua y vapor por 5, 10 y 15 minutos) en las propiedades de empastamiento de la harina y proteína total, se tiene que el escaldado a vapor esta asociado con una perdida significativa del contenido proteico y de la viscosidad máxima, aunque el porcentaje de proteína total es aún muy alto.

La temperatura de gelatinización T_{rg} del almidón de guandul es alta (81-83.5 °C), necesitando de una gran cantidad de energía para iniciar el proceso de gelificación. Es un almidón térmicamente muy resistente y estable.

El modelo simple (ecuación 8) aplicado a la solución analítica de Crank para esferas se ajustó de forma adecuada al secado de los granos de Guandul.

RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar la digestibilidad de la harina obtenida y su aporte proteico en la dieta después de los procesos térmicos a los cuales fue sometido (escaldado en agua y vapor por 5, 10 y 15 minutos).

De igual forma es importante estudiar las propiedades funcionales de la harina sometida a escaldado previamente a la molienda, y su inclusión como ingrediente en diferentes alimentos como tortas, coladas y sopas ya que se ha demostrado en otros estudios su gran aporte nutritivo y realce de los atributos sensoriales.

Dado que en los tratamientos con agua la proteína se conserva más y la viscosidad es mayor, se recomienda hacer un estudio para determinar el tiempo en que el antinutriente es inactivado al someter el grano a escaldado en agua y ver el cambio que ocurre con el contenido de proteína y la viscosidad de la harina.

BIBLIOGRAFÍA

Aponte, A. (1991). *Evaluación de 20 Líneas Elite de Quinchoncho en Quibor Estado de Lara*. Recuperado el 25 de 04 de 2009, de <http://www.ceniap.gov.ve>

Aponte, A., & Salas, M. (1987). El cultivo del Quinchoncho en Venezuela. *FONAIAP DIVULGA* .

Association of Chemist. (1997). Recuperado el 18 de 04 de 2009, de <http://www.aoac.org/>

Aupec. (2005). *Agencia Universitaria de Periodismo Científico - Universidad del Valle*. Recuperado el 14 de 04 de 2009, de <http://aupec.univalle.edu.co/informes/octubre96/guandul.html>

Baudi, S., Quintanar, E., & Cejudo, H. (2006). *Química de los Alimentos*. Mexico: Acribia S.A.

Belitz, H., Grosh, W., & López, M. (1997). *Química de los Alimentos*. España: Acribia S.A.

Bencini, M. C. (2006). Functional properties of drum-dried chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours. *Journal of Food Science* , 1518-1521.

Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succynalated peanut flour proteins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* , 258-261.

Coffman, C. W., & García, V. V. (2007). Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. *International Journal of Food Science and Technology* , 473-484.

Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*. Oxford, UK: Clarendon Press.

Dandamrongrak, R., Young, G., & Mason, R. (2002). Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal Food Engineering* , 139-146.

Fennema, O. R. (2000). *Química de los Alimentos*. España: Acribia S.A.

Ferreira, E. C., Nogueira, A. R., Souza, G. B., & Batista, L. A. (2004). Effect of drying method and length of storage on tannin and total phenol concentrations in Pigeon pea seeds. *Food Chemistry* , 21.

Gallardo, M. (16 de 04 de 2008). *Soja: Harinas de Extracción Para Alimentación de Ganado*. Recuperado el 25 de 10 de 2010, de <http://www.inta.gov.ar/rafaela/index.htm>

Gaviria, J. C. (10 de 09 de 2007). *Tratamiento hidrotérmico de materias primas para alimentación*

animal. Recuperado el 25 de 10 de 2010, de <http://www.engormix.com>

Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. México: Compañía editorial Continental.

Hevia, F., Berti, M., Wilckens, R., Tello, M., Urbina, A., & Minoletti, L. (1998). Contenido de proteínas, saponinas y algunas características del almidón en semilla de quínoa sembrada en diferentes fechas y localidades. *Agro Ciencia* , 293-302.

Hevia, F., Wilckens, R., Berti, M., & Badilla, R. (2001). Características del almidón y contenido de proteína de quínoa (*Chenopodium quinoa* W.) cultivada bajo diferentes niveles de nitrógeno en Chillán. *Agro Sur* , 42-50.

Hevia, F., Wilckens, R., Berti, M., & Millan, M. (2000). Fertilización nitrogenada en amaranto (*Amaranthus* sp): contenido de proteína y algunas características del almidón en su semilla. *Agro Ciencia* , 147-156.

Higuera, A. (2004). Proyecto de leguminosas de grano como alternativa nutricional para las comunidades cabimenses. *Panorama* , 3.

ICONTEC. (1975). NTC 771. *Torta de Soja: Determinación de la Ureasa* . Santafé de Bogotá, Colombia.

ICRISAT. (1998). *Instituto de Investigación Internacional de las Cosechas para el Desarrollo*. Recuperado el 10 de 05 de 2009, de www.icrisat.org

Jaramillo, J., Castillo, E., Valles, M., & Hernández, R. (1985). Grain Productio and Tannin Contents on lines of Pigeon Pea (*Cajanus cajan* (L) Mill sp) in the humid tropic on Mexico. *Fact Agron* , 123-134.

Kaletunç, G., & Breslauer, K. J. (2003). *Characterization or Cereals and Flours. Properties, Analyses and Applications*. New Jersey: Rutgers University.

Leal, L. (2003). *El Quinchoncho es el grano más nutritivo y menos producido de Venezuela*. Recuperado el 10 de 03 de 2003, de <http://www.mepagina.cantv.net>

León, R., Angulo, I., Jaramillo, M., Requena, F., & Calabrese, H. (1993). Caracterización Química y Valor Nutricional de Granos de Leguminosas Tropicales para la Alimentación de Aves. *Zootecnia Tropical* , 151-170.

Li, M. E., Campadadal, C., Rodríguez, J., & Vargas, E. (1982). Efectos de Diferentes Tipos de Tratamiento Térmico Sobre la Calidad Protéica del Fríjol Guandul (*Cajanus Cajan*). *Agronom*.

Costarr. , 27-33.

Machado, F., Queiróz, J., Oliveira, M., Piovesa, N., Peluzio, M., Costa, N., y otros. (2008). Effects of heating on protein quality of soybean flour devoid of Kunitz inhibitor and lectin. *Food Chemistry* , 649-655.

Maninder, K., Kawaljit, S. S., & Narpinder, S. (2007). Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus Cajan* L.) cultivars. *Food Chemistry* , 259-267.

Martínez, J., Leonte, L., Castellano, G., & Higuera, A. (2003). Evaluación de 25 líneas de Quinchoncho *Cajanus Cajan* (L.) Millisp. con fines de selección para uso como leguminosa arbustiva forrajera. *FCV-LUZ* , 173-181.

Miquelena, E. (2004). Tesis de grado. *Evaluación de la calidad nutricional de algunas harinas de leguminosas de granos cultivadas en la planicie de Maracaibo* . Maracaibo, Venezuela.

Montaner, J. (2006). *Propiedades de la Harina de Guandul*. Recuperado el 04 de 04 de 2009, de Consumer Eroski: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2006/09/05/24805.php>

Morel, F., & Piccolo, G. (2002). *Evaluación de Guandul para recuperar la fertilidad del suelo*. Recuperado el 07 de 05 de 2009, de http://www.inta.gov.ar/cerroazul/investiga/suelos_anuales/guandu.htm

Nene, Y. L. (1981). Pulses Improvement Program. *ICRISAT* .

Nilanjana, D., Arvind, M. K., & Punit, K. S. (2002). Purification and characterization of urease from dehusked pigeonpea (*Cajanus Cajan* L.) seeds. *Phytochemistry* , 513-521.

Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A., & Hincapie, B. (2002). especies forrajeras multipropósito; opciones para productores de Centroamérica. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)* , 114.

Petryk, N. (Sin año). *Sobre la Harina*. Recuperado el 16 de 05 de 2009, de <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/Chef/harina.htm>

Price, M. (1990). Pigeon Pea. *Echo Technical Note* , 3.

Programa Mundial de Alimentos. (2004). *Alimentos compuestos enriquecidos: Buenas prácticas de fabricación y principios del APPCC*. Recuperado el 31 de 08 de 2009, de http://foodquality.wfp.org/Portals/0/GMP%20HACCP%20FBF_Spanish.swf

- Ruales, J., Valencia, S., & Nair, B. (1993). Effect of processing on the physico-chemical characteristics of quinoa flour *Cchenopodium quinoa*, Willd. *Agro Sur* , 13-19.
- Shah, B. A. (1991). *Higher Education Commision Pakista*. Recuperado el 15 de 05 de 2009
- Situs . (2004). *Herbotecnia*. Recuperado el 10 de 12 de 2010, de <http://www.herbotecnia.com.ar>
- Tiwari, B. K., Tiwari, R., Mohan, J., & Alagusundaram, K. (2008). Effect of Various Pre-treatments on Functional, Physiochemical, and Cooking Properties of Pigeon pea (*Cajanus cajan* L Mill sp). *Food Science and Technology International* , 487-495.
- UniCauca. (08 de 09 de 2006). *Nueva Planta de Procesamiento de Cereales*. Recuperado el 08 de 04 de 2009, de <http://www.universia.net.co/noticias/noticia-del-dia/nueva-planta-de-procesamiento-de-cereales.html>
- Universidad de San Carlos de Guatemala. (2010). Gandul *Cajanus Cajan* (L.) Miill Leguminosea. En L. C. Robledo, *Gandul Cajanus Cajan (L.) Miill Leguminosea* (págs. i, 19). Facultad de Agronomía Area Tecnológica Pastos y Forrajes.
- Van Der Massen, L. S. (1980). Taxonomy of the *Cajanus*. *ICRISAT* , Vol 2.
- Vélez, J. (1996). Tesis Ingeniería Agrícola. *Formulación de un Paquete Tecnológico para la Utilización Industrial de Guandul* . Cali, Colombia.
- Vivas, N. J., & Morales, S. (2006). Evaluación agronómica y producción de diez accesiones de Guandul (*Cajanus cajan*) en la meseta de Popayán - Cauca. *Facultad de cinecias Agropecuarias* , 2.
- Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T., y otros. (1992). Studies on the functional properties of food grade soybean products: whipping and emulsifying properties of soybean products: whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agriculture Biologigs Chemistry* , 719-727.

ANEXOS

1. Equipos Usados

1.1 Molino Forrajero

MOLINO	
Modelo	Trapp TRF 300 Picador/triturador Forrajero
Características Técnicas	
Motor	2,0 y 3,0 CV - 50/60 Hz - 2 Polos
Tensión	110/220 V - Monofásico - 220/380 V Trifásico
Potencia	6,5 HP
Capacidad del Tanque	3,78 Litros
Capacidad del Carter	600 ml
Rotación	3600 rpm
Consumo	1,35 L/h
Producción	
Ración Verde	600 - 1000 Kg./h
Tamiz 0,8 mm	50 - 80 Kg./h (Harina)
Tamiz 3,0 mm	150 - 300 Kg./h (Quirera fina)
Tamiz 5,0 mm	300 - 650 Kg./h (Quirera Gruesa)
Tamiz 12 mm	200 - 450 Kg./h (Rolao, resultado de la trituración de la espiga de maíz con paja).
Límites de Condiciones Ambientales	
Temperatura	40 °C
Humedad Relativa del aire	80%



1.2 Molino Cyclone

CYCLONE SAMPLE MILL	
UDY CORPORATION FORT COLLINS, COLORADO USA	
Model	3010 - 014
S/N	478 (115 V - 60 Hz)

1.3 Tamiz Ro-Tap

TAMIZ RO - TAP	
Cat No	KL 3403
Spec	34C63 - 5506
Frame	56C
Ser	W3-89
Potencia HP	1/4 TE
Volts	115/208-230
Amp	5/2,6 - 2,5
RPM	1725
Hz	60 PH 1 Class B
Ser F	1,35 Des N Code L
Full Load Eff	55 % PF 57 %
Rating	40 °C AMB - CONT SFA 5 6/5 - 6/2,8



1.4 Escaldador

ESCALDADOR COLCOCINAS - MEDELLIN	
Modelo	CCV 3/91
Serie	2 No 2
Capacidad	Canastas 2,2p3
Conexión	Vapor
Presión	10 - Psig
Línea de Vapor	130 °C



1.5 Viscoamilografo Brabender

Es un viscosímetro con registrador que puede ser usado para determinar la temperatura de gelatinización de los almidones y harinas así como el efecto de la alfa-amilasa sobre la viscosidad del gel de almidón. La alta viscosidad de los geles de almidón es contrarrestada por la acción de la alfa-amilasa, la cual licua los gránulos de almidón durante el calentamiento. El aparato consta de un espiral que permite un aumento o disminución de 1,5 °C por minuto, no importa la cantidad de

calor que se requiera. Durante este periodo, la viscosidad es continuamente medida por medio de unas barras dentro del tazón, que ejercen una fuerza de fricción; es registrada en el papel gráfico que se mueve a una velocidad constante. Este diagrama se llama “amilograma” e indica, en una forma sencilla, el proceso de gelatinización del almidón y la acción de las amilasas en condiciones estándares.

AMYLOGRAPH BRABENDER	
Brabender OHG Dursburg Germany	
Messdose Sensitivity	
Cartridge - Borte de Messure	700 cmg U 13500



1.6 pH metro

pH METRO	
Orion - pH/ISE meter	
Modelo	710A
Cifras Significativas	Tres



2. Secado

A continuación se reportan los datos experimentales obtenidos para cada curva de secado con un área de la bandeja de 0.0335 m^2 .

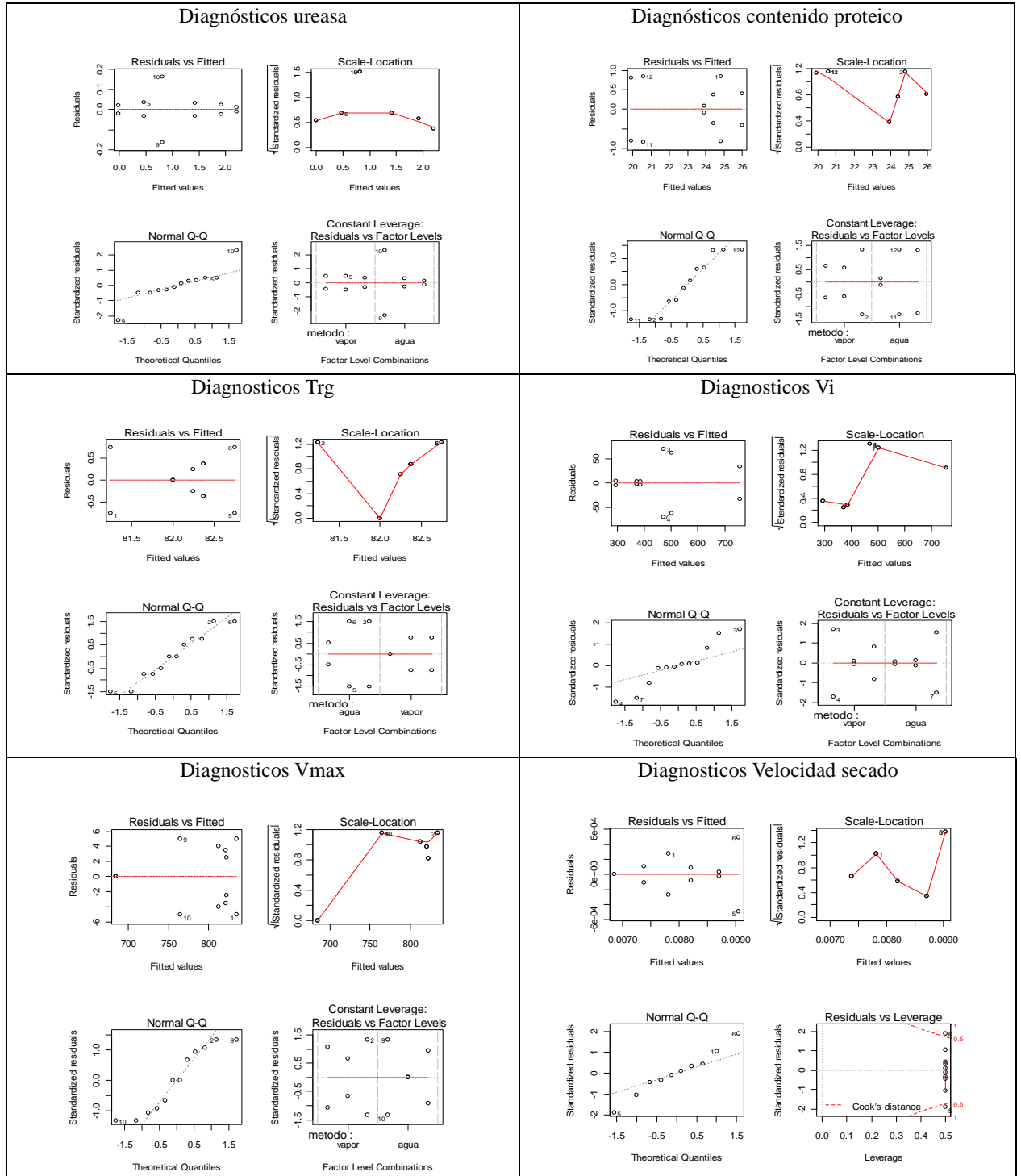
Tabla 38. Datos experimentales de las curvas de secado para Escaldado en Agua.

Escaldado Agua 5 min				Escaldado Agua 10 min				Escaldado Agua 15 min			
Replica 1		Replica 2		Replica 1		Replica 2		Replica 1		Replica 2	
t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)
0	257.390	0	248.110	0	250.660	0	251.530	0	276.500	0	344.000
5	237.540	5	229.640	5	231.050	5	231.050	5	252.570	5	316.180
10	228.690	10	220.420	10	221.410	10	221.170	10	240.730	10	300.530
15	223.640	15	215.040	15	215.450	15	215.410	15	233.410	15	290.260
20	220.160	20	210.950	20	211.290	20	211.330	20	228.330	20	283.400
30	215.670	30	205.830	30	205.890	30	205.910	30	220.970	30	273.260
40	212.630	40	202.580	40	202.250	40	202.420	40	216.120	40	266.760
50	210.290	50	199.910	50	199.450	50	199.720	50	212.220	50	261.850
60	208.310	60	197.710	60	197.120	60	197.550	60	209.250	60	258.180
80	205.570	80	194.390	80	193.790	80	194.050	80	204.340	80	252.280
100	203.530	100	192.000	100	191.320	100	191.530	100	200.850	100	248.080
120	201.840	120	190.070	120	189.350	120	189.790	120	198.230	120	244.910
150	199.770	150	187.980	150	187.270	150	187.560	150	195.285	150	241.100
180	198.310	180	185.900	180	185.440	180	185.800	180	192.780	180	238.440
220	196.650	220	184.100	220	183.650	220	184.020	220	190.500	220	235.580
260	195.370	260	182.830	260	182.200	260	182.710	260	188.733	260	234.570
300	194.230	300	181.610	300	180.880	300	181.580	300	187.380	300	232.400
340	193.410	340	180.667	340	179.800	340	180.450	340	185.843	340	230.640
380	192.590	380	179.840	380	178.970	380	179.590	380	184.557	380	229.430
420	191.860	420	179.130	420	178.340	420	179.130	420	184.560	420	228.270
460	191.180	460	178.534	460	177.750	460	178.370	460	183.743	460	227.350
500	190.770	500	178.104	500	177.300	500	177.890	500	183.037		
540	190.350	540	177.270	540	176.820	540	177.390	540	182.500		

Tabla 39. Datos experimentales de las curvas de secado para Escaldado en Vapor.

Escaldado Vapor 5 min		Escaldado Vapor 10 min				Escaldado Vapor 15 min			
Replica 1		Replica 1		Replica 2		Replica 1		Replica 2	
t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)	t (min)	m muestra (g)
0	214.740	0	237.010	0	225.910	0	232.680	0	237.120
5	206.080	5	224.220	5	216.655	5	222.940	5	222.600
10	202.050	10	218.190	10	211.590	10	217.270	10	215.780
15	199.580	15	214.550	15	207.990	15	213.680	15	211.630
20	198.020	20	212.080	20	205.430	20	210.950	20	208.730
30	195.720	30	208.750	30	201.980	30	207.270	30	204.900
40	194.120	40	206.720	40	199.720	40	204.810	40	202.190
50	192.920	50	204.950	50	198.020	50	202.660	50	200.200
60	192.080	60	203.440	60	196.870	60	201.030	60	198.440
80	190.430	80	202.070	80	194.570	80	198.330	80	197.040
100	189.260	100	199.660	100	192.860	100	196.330	100	195.790
120	188.320	120	198.360	120	191.430	120	194.480	120	193.730
150	187.015	150	196.710	150	189.680	150	192.710	150	192.020
180	186.000	180	195.480	180	188.280	180	191.210	180	190.055
220	184.840	220	193.850	220	186.860	220	189.590	220	188.530
260	183.840	260	192.640	260	185.710	260	188.517	260	186.790
300	183.070	300	191.280	300	184.600	300	187.090	300	185.447
340	182.277	340	190.470	340	183.740	340	185.847	340	184.420
380	181.670	380	189.710	380	183.060	380	184.947	380	183.387
420	181.060	420	188.960	420	182.343	420	184.170	420	182.500
460	180.603	460	188.480	460	181.703	460	183.427	460	181.770
500	180.217			500	181.310	500	182.867	500	181.170
540	179.700			540	181.047	540	182.390	540	180.610

3. Validación de supuestos del modelo experimental factorial.



4. Prueba de Ureasa Norma NTC 771. tortas de soya. Determinación de la ureasa.

De acuerdo a la Norma Técnica Icontec NTC 771 el método para determinar la actividad de la ureasa para el frijol, soya y sus subproductos consiste en medir la diferencia de pH entre la solución de la muestra y un blanco. El procedimiento es como sigue:

- a. Se pesan 0.2 gramos de la muestra con aproximación al miligramo, en un tubo de ensayo y se agregan 10 cm³ de solución tampón de urea fosfato de potasio. Se tapa el tubo, se agita y se coloca dentro del baño maría a 30°C. durante la agitación debe tenerse la precaución de no invertir el tubo.
- b. Se prepara un blanco pesando 0.200 gramos de la muestra con aproximación al miligramo dentro de un tubo de ensayo y se agregan 10 cm³ de solución tampón de fosfato, se tapa el tubo y se agita. Luego se coloca el tubo en un baño maría a 30°C.
- c. Entre la preparación del tubo con la muestra para ensayo y el correspondiente al blanco, se debe dejar un intervalo de 5 minutos. Los tubos se agitan con intervalos de 5 minutos.
- d. Se retiran los tubos del baño de agua después de 30 minutos. La porción de 5 cm³ que sobrenada se transfiere a un vaso de precipitados, manteniéndose el intervalo de 5 minutos entre el correspondiente a la muestra y al blanco. El pH se determina exactamente 5 minutos después de retirado el líquido que sobrenada el baño. Se mide el pH al líquido que queda.

e. La actividad de ureasa, medida como el incremento de pH, se determina aplicando la Siguiete ecuación:

$$\Delta pH = pH_1 - pH_2$$

Donde:

ΔpH : Incremento de pH debido a la ureasa

pH_1 : pH leído para la muestra analizada

pH_2 : pH leído para el blanco

Si la variación en unidades de pH es menor de 0.02 se considera que no hay ureasa.

5. Estadísticos de prueba usados y códigos en R.

A continuación se muestran los procedimientos seguidos en R mostrando solo un caso.

5.1 Prueba de Tukey

Tukey (1949) desarrollo un procedimiento para realizar comparaciones en pares de todas la medias de tratamiento, que se usa para obtener intervalos de confianza simultáneos de $100(1 - \alpha) \%$. La prueba se conoce por varios nombres, entre ellos "diferencia honestamente significativa" (Kuehl, 2001).

Para un grupo de k medias de tratamiento, se calcula la diferencia honestamente significativa como:

$$DHS(k; \alpha_E) = q_{\alpha, k, v} \sqrt{\frac{S^2}{r}}$$

Donde $q_{\alpha, k, v}$ es el estadístico estandarizado de Student para un grupo de k medias de tratamiento en un arreglo ordenado. Los valores críticos de la tasa de error con respecto al experimento, α_E , y los v grados de libertad, se pueden encontrar en las tablas de este estadístico o de en paquetes estadísticos.

5.1.1 Intervalos de confianza simultáneos de 100(1 - α) %

Las estimaciones de los intervalos simultáneos de dos lados para el valor absoluto de todas las diferencias por pares para toda $i < j$ son:

$$|\bar{y}_i - \bar{y}_j| \pm DHS(k; \alpha_E)$$

5.1.2 Regla de decisión

Se establece que dos medias de tratamientos no son iguales si:

$$|\bar{y}_i - \bar{y}_j| > DHS(k; \alpha_E)$$

5.2 Prueba Tukey para muestras desbalanceadas

Para muestras de diferente tamaño la diferencia honestamente significativa toma la forma:

$$DHS(k; \alpha_E) = q_{\alpha, k, v} \sqrt{S^2 \left[\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right]}$$

Y el intervalo de confianza teniendo en cuenta esta tasa será:

$$|\bar{y}_i - \bar{y}| \pm DHS(k; \alpha_E)$$

A continuación se presenta el código R usado:

```
guandul<-read.table(file="c:/guandul.txt",header=T)

x11()
par(mfcol=c(1,2))
plot(ureasa ~ metodo + tiempo + metodo * tiempo,
data=guandul, axes=T, ann=T, ylab="Prueba ureasa")

m.ureasa<-aov(ureasa ~ metodo + tiempo + metodo*tiempo,data=guandul)
summary(m.ureasa)

x11()
par(mfcol=c(2,2))
plot(m.ureasa)

shapiro.test(residuals(m.ureasa))

m.ureasa2<-lm(ureasa ~ metodo + tiempo + metodo*tiempo,data=guandul)

library(car)
ncvTest(m.ureasa2)

modelo1<-aov(guandul$ureasa~guandul$metodo*tiempo,data=guandul)
summary(modelo1)
TukeyHSD(modelo1,data=guandul)

library(DTK)
x<-secado$K
f<-gl.unequal(n=6,k=c(2,2,2,1,2,2))
TKsecado<-TK.test(x=x,f=f,a=0.05)
```

5.3 Prueba Dunnett con respecto a la prueba ureasa

Para hacer las comparaciones de medias de los factores significativos en cada variable respuesta se utiliza la prueba Dunnett para comparaciones con respecto a un control (Una breve descripción de esta prueba se presenta en Kuehl (2001)).

En este caso se empleo la prueba dunnet de dos colas con el paquete simComp de R 2.11.1, la cual evalúa la hipótesis de que la media presentada por efecto de un factor sea diferentemente signitcativa de la presentada en el tratamiento control, donde las pruebas de hipótesis son:

$$H_0: \bar{y}_i = \bar{y}_c \quad \text{vs} \quad H_1: \bar{y}_i \neq \bar{y}_c$$

De esta forma la regla de decisión seria que si el estadístico estimado es mayor que el valor critico proporcionado por las tablas Dunnett se rechaza la hipótesis de que el efecto promedio del factor i es significativamente menor que el efecto del tratamiento control c , en este caso la harina cruda.

A continuación se presenta el código en R empleado:

```
library(SimComp)

guandul<-read.table(file="c:/guandulc.txt",header=T)

ureasadunnet<-data.frame(ureasa=guandul$ureasa,grupos=c("har.cruda","har.cruda",
"agua5min","agua5min","agual0min","agual0min","agual5min","agual5min","har.cruda",
"har.cruda","vapor5min","vapor5min","vapor10min","vapor10min","vapor15min","vapo
r15min"))

compdunnet <- SimTestDiff(data=ureasadunnet, grp="grupos", resp="ureasa",
type="Dunnett", base=4, covar.equal=FALSE)
compdunnet
```

5.4 Ajuste modelos de regresión lineal (Shapiro Wilk y Breusch–Pagan)

Para realizar la validación de supuestos se emplean pruebas graficas como el grafico qq, los residuales versus valores ajustados y gráficos de residuales estandarizados. Tambien se efectúan dos pruebas formales, una es la Shapiro Wilk y la otra la Breusch-Pagen para evaluar la normalidad de los errores y la homogeneidad de varianza a partir del programa R 2.11.1 por medio de las funciones Shapiro.Test y ncv.Test.

A continuación se presenta el código en R empleado:

```
cvsecado500<-read.table(file="c:/cvsecado500.txt",header=T)
m.cv.scag5a<-lm(scag5a ~ t1,data=cvsecado500)
summary(m.cv.scag5a)

x11()
par(mfcol=c(2,2))
plot(m.cv.scag5a)

shapiro.test(residuals(m.cv.scag5a))

library(car)
ncvTest(m.cv.scag5a)
```

5.5 Prueba de significancia parámetros fijos (t-student)

Para contrastar los modelos de curva de secado ajustados con el modelo teórico de curva de secado se usa la prueba *t-student* con la que se evalúa la significancia de los parámetros de un modelo de regresión lineal es aplicado. Es decir, si se desea comparar $\hat{\beta}_0$ con el valor fijo $\frac{6}{\pi^2}$ el estadístico de prueba será:

$$T = \frac{\hat{\beta}_0 - \frac{6}{\pi^2}}{Se(\hat{\beta}_0)}$$

Donde T tiene distribución de *t-student* con $n - p - 1$ grados de libertad y $Se(\hat{\beta}_0)$ es la desviación estándar del parámetro estimado. Entonces $\hat{\beta}_0$ sera significativamente diferente de $\frac{6}{\pi^2}$ si T es mayor que el estadístico crítico $t_{\alpha, n-p-1}$.

A continuación se presenta el código de R usado.

```
tstat1<-abs((exp(m.cv.scag5a$coefficients[1])-6/pi^2)/0.0760102)
2*pt(tstat1,20,lower.tail=F)
```