

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN
DEL GRANO DE HABA (*Vicia faba* L.) Y EL EFECTO EN
SUS PROPIEDADES FÍSICAS”**

TESIS

PRESENTADA POR:

JOSUE DAVID CCOPA MENDOZA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PUNO – PERÚ

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN
DEL GRANO DE HABA (*Vicia faba* L.) Y EL EFECTO EN
SUS PROPIEDADES FÍSICAS”

TESIS

PRESENTADA POR:

JOSUE DAVID CCOPA MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : 
M.Sc. LUIS ALBERTO JIMENEZ MONROY

PRIMER MIEMBRO : 
M.Sc. FLORENTINO V. CHOQUEHUANCA CÁCERES

SEGUNDO MIEMBRO : 
M.Sc. ROSARIO EDELY ORTEGA BARRIGA

DIRECTOR DE TESIS :
Ing. ALICIA MAGALY LEON TACCA

ASESOR DE TESIS : 
Dr. WENCESLAO TEDDY MEDINA ESPINOZA

PUNO – PERÚ
2015

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO:

A DIOS NUESTRO CREADOR...

Por darme la vida, por la experiencia adquirida, la sabiduría, entusiasmo y fuerza, por estar conmigo en cada paso que doy, por la paz y tranquilidad en los momentos difíciles y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este tiempo.

En memoria de mi Padre Feliciano Ccopa, por haberme transmitido sus principios y ser un ejemplo de vida.

A mi madre Cristina Mendoza...

Por su amor y cariño, gracias a su apoyo y consejo he llegado a realizar una de mis mejores metas, es sin duda para mí la mejor de las herencias, sabiendo que no existirá forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo. Con cariño y admiración, todo esto de lo debo a ti mamá.

A mis hermanas...

Ruth y Noemí, por lo aprendido de ellas, por su apoyo incondicional, por la confianza que depositan en mí y con quienes he aprendido la importancia de tener una familia.

A mis sobrinos...

Josué Adriano y Adriel Alessandro, por su alegría y energía que siempre muestran y transmiten

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haberme formado profesionalmente, a través de los conocimientos impartidos por sus docentes.

A los docentes de Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por los conocimientos aportados para mi formación profesional.

A los jurados revisores por su constante apoyo y tiempo invertido en el proyecto.

A mi director de tesis Ing. Alicia Magaly Leon Tacca por su disposición, apoyo y tiempo invertido en este proyecto,

Al Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza por su disposición y apoyo para la realización de este proyecto.

A mis compañeros y compañeras de aula, por compartir momentos inolvidables.

A mis amigos David, Amos, Juan, Roger, Omar, Beto, Dina, Wendy, Yuliana, Brenda, Keli, Llsbet, Judith, Alex, Sergio, Miguel, Elvis, Moshe, Keny y Miekker por su amistad, apoyo moral y por estar presentes en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE SIGLAS	
RESUMEN	
I INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 EL HABA	3
2.1.1 GENERALIDADES	3
2.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y MORFOLOGÍA	4
2.1.3 VARIEDADES BOTÁNICAS	5
2.1.4 PRINCIPALES VARIEDADES CULTIVADAS EN LA REGIÓN	5
2.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO	6
2.1.5.1 PROTEÍNAS	7
2.1.5.2 CARBOHIDRATOS	8
2.1.5.3 LÍPIDOS	9
2.1.5.4 FIBRA	9
2.1.5.5 CENIZA	10
2.1.5.6 VITAMINAS	10
2.1.5.7 MINERALES	10
2.1.6 COSECHA Y POSCOSECHA DE LOS GRANOS DE HABA	11

2.1.6.1 COSECHA	11
2.1.6.1.1 COSECHA VAINA-VERDE.....	11
2.1.6.1.2 COSECHA PARA GRANO SECO	11
2.1.6.2 POSCOSECHA.....	12
2.1.6.3 SECADO.....	13
2.1.6.4 TRILLA.....	14
2.2 POTENCIAL EN LA AGROINDUSTRIA.....	14
2.3 REHIDRATACIÓN DE GRANOS.....	15
2.4 MODELAMIENTO DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN POR INMERSIÓN	15
2.4.1 MODELOS EMPÍRICOS.....	16
2.4.1.1 MODELO DE PELEG.....	17
2.5 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GRANOS	19
2.5.1 FORMA Y TAMAÑO.....	19
2.6 ANÁLISIS DE IMAGEN.....	21
2.6.1 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE IMÁGENES	22
2.6.2 ETAPAS DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE IMÁGENES.....	22
2.6.2.1. ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN	23
2.6.2.2. PRE-PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN.....	23
2.6.2.3. SEGMENTACIÓN DE LA IMAGEN.....	24
2.6.2.4 MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL OBJETO.....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	25
3.2 MATERIALES, EQUIPOS Y OTROS.....	25

3.6 ANÁLISIS EXPERIMENTAL	34
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1 ANÁLISIS PROXIMAL.....	37
4.2 GANANCIA DE PESO.....	37
4.3 AJUSTE AL MODELO DE PELEG	41
4.3.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE k_1	45
4.3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE k_2	46
4.3.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.....	48
4.4 DIFERENCIAL DE ÁREA FRONTAL (cm^2)	50
4.5 DIFERENCIAL DE ÁREA LATERAL (cm^2)	56
4.6 DIFERENCIAL DE LAS DIMENSIONES ORTOGONALES	63
4.6.1 DIFERENCIAL DE LONGITUD (cm)	63
4.6.2 DIFERENCIAL DE ANCHO (cm)	67
4.6.3 DIFERENCIAL DE ESPESOR (cm)	71
4.7 DIFERENCIAL DE FORMA	76
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág
Tabla 1	Composición proximal en 100 g de haba seca con cáscara.....	6
Tabla 2	Composición de aminoácidos de las proteínas de haba	8
Tabla 3	Contenido de ácidos grasos del haba. (% ácido graso del total de lípidos)	9
Tabla 4	Parámetros fisicoquímicos del agua potable	29
Tabla 5	Resultados del análisis proximal del grano de haba.....	37
Tabla 6	Resultados de la ganancia de agua durante la hidratación del grano de haba en sus tres tratamientos	38
Tabla 7	Resultados de las constantes k_1 , k_2 , R^2 , SSE y RMSE de los tres tratamientos	44
Tabla 8	Resultados del diferencial de Área Frontal a temperaturas de 20, 30 y 40°C.....	50
Tabla 9	Análisis de Varianza (ANVA) para el área frontal	53
Tabla 10	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el área frontal según temperatura, $\alpha=0.05$	54
Tabla 11	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el área frontal según el tiempo, $\alpha=0.05$	55
Tabla 12	Resultados del diferencial de Área Lateral a temperaturas de 20, 30 y 40°C.....	56
Tabla 13	Análisis de Varianza (ANVA) para el área lateral	59
Tabla 14	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el área lateral según temperatura, $\alpha=0.05$	60
Tabla 15	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el área lateral según tiempo, $\alpha=0.05$	61

Tabla 16	Resultados del diferencial de la Longitud a temperaturas de 20, 30 y 40°C	63
Tabla 17	Análisis de Varianza (ANVA) para la longitud	65
Tabla 18	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la longitud según temperatura, $\alpha=0.05$	65
Tabla 19	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la longitud según el tiempo, $\alpha=0.05$	66
Tabla 20	Resultados del diferencial de Ancho a temperaturas de 20, 30 y 40°C	67
Tabla 21	Análisis de Varianza (ANVA) para el Ancho	69
Tabla 22	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el ancho según temperatura, $\alpha=0.05$	69
Tabla 23	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el ancho según el tiempo, $\alpha=0.05$	70
Tabla 24	Resultados del diferencial del Espesor a temperaturas de 20, 30 y 40°C	71
Tabla 25	Análisis de Varianza (ANVA) para el Espesor	73
Tabla 26	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el espesor según temperatura, $\alpha=0.05$	73
Tabla 27	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el espesor según el tiempo, $\alpha=0.05$	74

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Diferentes grados de maduración por el color del hiliun	12
Figura 2	Secado en parvas del cultivo de haba.....	13
Figura 3	Diagrama del análisis de imágenes	23
Figura 4	Diagrama de flujo del proceso de rehidratación del grano de haba	27
Figura 5	Curvas de rehidratación del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C	39
Figura 6	Modelado de la curva de rehidratación del grano de haba con el modelo de Peleg a una temperatura de 20 °C	41
Figura 7	Modelado de la curva de rehidratación del grano de haba con el modelo de Peleg a una temperatura de 30 °C	42
Figura 8	Modelado de la curva de rehidratación del grano de haba con el modelo de Peleg a una temperatura de 40 °C	43
Figura 9	Ajuate de las curvas de rehidratación del grano de haba con el modelo de Peleg a temperaturas de 20, 30 y 40 °C.	44
Figura 10	Efecto de la temperatura sobre k_1 para la hidratación del grano de haba....	45
Figura 11	Efecto de la temperatura sobre k_2 para la hidratación del grano de haba....	46
Figura 12	Ajuste lineal de $\ln(1/k_1)$ frente a $1/T$ (K^{-1})	48
Figura 13	Imágenes digitales obtenidas de forma frontal e imágenes binarias de los granos de haba a diferentes tiempos de rehidratación.....	51
Figura 14	Curvas de diferencial de Área Frontal del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.....	52
Figura 15	Imágenes digitales obtenidas de forma lateral e imágenes binarias de los granos de haba a diferentes tiempos de rehidratación.....	57

Figura 16	Curvas de diferencial de Área Lateral del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.....	58
Figura 17	Curvas de diferencial de Longitud del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.....	64
Figura 18	Curvas de diferencial de Ancho del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.....	68
Figura 19	Curvas de diferencial del Espesor del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.....	72
Figura 20	Curvas del incremento del Diámetro Aritmético a diferentes temperaturas de rehidratación.....	77
Figura 21	Curvas del incremento del Diámetro Aritmético a diferentes temperaturas de rehidratación.....	100
Figura 22	Curvas del incremento del Diámetro Geométrico a diferentes temperaturas de rehidratación.....	100

ÍNDICE DE ANEXOS

		Pág.
ANEXOS I	Informe de análisis de alimentos (análisis proximal)	90
ANEXO II	Datos de los pesos iniciales de las muestras para los tres tratamientos .	91
ANEXO III	Datos de los pesos después de la rehidratación de las muestras para los tres tratamientos	92
ANEXO IV	Datos de la diferencia de peso para los tres tratamientos	93
ANEXO V	Datos iniciales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 20°C	94
ANEXO VI	Datos finales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 20°C	95
ANEXO VII	Datos iniciales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 30°C	96
ANEXO VIII	Datos finales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 30°C	97
ANEXO IX	Datos iniciales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 40°C	98
ANEXO X	Datos finales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 40°C	99
ANEXO XI	Curvas del incremento del diámetro aritmético y diámetro geométrico	100

ÍNDICE DE SIGLAS

L	: Longitud (cm)
W	: Ancho (cm)
T	: Espesor (cm)
Da	: Diámetro medio aritmético (cm)
Dg	: Diámetro medio geométrico (cm)
Φ	: Esfericidad (adimensional)
U_t	: Masa en el tiempo t (h)
U_0	: Masa inicial (g)
T	: tiempo (h)
T	: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
K_1	: Constantes de velocidad Peleg ($\text{h}\cdot\text{g}_{\text{ms}}/\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}$)
K_2	: Constantes de capacidad Peleg ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{ms}}$)
W	: Tasa de hidratación
W_0	: Velocidad inicial de hidratación
K_p	: Factor pre exponencial
E_a	: Energía de activación
R	: Constante de los gases perfectos ($8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$)
T	: Temperatura Absoluta
R^2	: Coeficiente de correlación
RMSE	: Error estándar residual
ANVA	: Análisis de varianza

RESUMEN

El presente trabajo presenta el estudio de la cinética de rehidratación de los granos de haba (*Vicia faba* L.) evaluados a tres temperaturas 20, 30 y 40°C por un periodo de 12 horas en intervalos de 30 minutos. La absorción de agua por los granos de haba se determinó por la ganancia de peso. Se utilizó el modelo empírico de Peleg para estimar la concentración de agua en los granos de haba durante su rehidratación, el cual representó satisfactoriamente el proceso de rehidratación de los granos de haba en las tres temperaturas estudiadas utilizando ajustes individuales de sus parámetros k_1 y k_2 . La constante de velocidad k_1 disminuyó de 0.1819 a 0.0849 $h \cdot g_{ms}/g_{H_2O}$, y la constante de capacidad k_2 aumentó de 0.01796 a 0.02682 g_{H_2O}/g_{ms} , con el incremento de la temperatura de 20 a 40°C. Ambas constantes presentaron variaciones lineales respecto a la temperatura, la primera inversamente proporcional y la segunda directamente proporcional. La energía de activación fue obtenida a partir de la ecuación de Arrhenius y su valor para los granos de haba fue de 28.88 KJ/mol. Las dimensiones ortogonales (longitud, ancho y espesor) y las áreas (frontal y lateral) fueron medidas por la técnica de análisis de imágenes, los cuales nos permitieron evaluar la variación de las propiedades físicas de los granos de haba que fueron evaluados paralelamente a los pesos expuestos anteriormente, los valores de diámetro aritmético, diámetro geométrico y esfericidad, fueron calculados a partir de los datos obtenidos de las dimensiones ortogonales. Las dimensiones ortogonales (longitud, ancho y espesor) y los diámetros aritmético, geométrico se incrementaron significativamente cuando varió la temperatura de rehidratación de 20 a 40 °C., las áreas frontal y lateral también tuvieron un incremento significativo respecto a la temperatura, mientras que la esfericidad presentó un incremento menor en sus valores con el incremento de 20 a 40°C de la temperatura de rehidratación.

I. INTRODUCCION

El haba (*Vicia faba* L.) es la séptima leguminosa de grano más importante en el mundo (FAO, 2006), y una de las especies más cultivadas en el Perú, con más de 50,000 ha en áreas sembradas, ocupando el segundo lugar en producción, con 48,000 toneladas de grano seco. Siendo así una alternativa como producto de exportación en grano seco y verde ya que su rendimiento promedio alcanza los 1.6 a 2.0 TM/ha (INIA, 2012).

Dado su alto contenido de proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y fibra alimenticia, el haba cumple un rol fundamental en la dieta alimentaria de las personas. Para el uso y consumo de este grano se tiene como principal proceso la rehidratación, proceso en el cual se presentan variaciones en cuanto al tiempo y temperatura, los mismos que influyen en la cinética de rehidratación y en la variación de las propiedades físicas como sus dimensiones ortogonales. Se entiende también que, es de suma importancia el control del proceso de rehidratación debido a que este gobierna las subsecuentes operaciones y la calidad del producto final.

Conocer los factores que intervienen en la absorción de agua de los alimentos es de suma importancia para el procesamiento industrial de algunos productos agrícolas y la atención que esos factores requieren durante el modelamiento de dicho proceso. Para proyectos involucrados en el desarrollo y optimización de equipos utilizados en el proceso de rehidratación de granos, es de fundamental importancia la simulación y la obtención de información teórica respecto al comportamiento de cada producto durante la absorción de agua.

Los modelos utilizados para la simulación y modelamiento del proceso de absorción de agua normalmente son de dos tipos: teóricos y empíricos; los modelos empíricos, a pesar de que normalmente no poseen una fundamentación teórica, generalmente son más simples, de fácil explicación y se ajustan bien a los datos experimentales. Dentro de los modelos

empíricos, el modelo no exponencial de dos parámetros propuesto por Peleg (1988), viene siendo utilizado satisfactoriamente por diversos investigadores para predecir la cinética de absorción de agua en diversos alimentos, Gowen *et al.*, (2007), definen al modelo de Peleg como uno de los modelos empíricos más utilizados para describir la incorporación de agua en las leguminosas, como frijoles (Resende y Correa, 2007; Abu-Ghannam y McKenna, 1997; Paredes *et al.*, 2012), soya (Fracasso *et al.*, 2010; Quicazán *et al.*, 2012), amaranto (Resio *et al.*, 2006), trigo (Maskan, 2002), y otros productos industrializados como macarrón (Cunningham *et al.*, 2007).

El presente estudio se realizó con la finalidad de conocer los parámetros y factores que intervienen en la absorción de agua, ya que actualmente para la rehidratación del grano de haba son pocas las informaciones sobre estudios que determinen los factores que influyen en dicho proceso tales como la temperatura, el tiempo y el medio de hidratación.

Por estas consideraciones se ha implementado el presente trabajo de investigación con los objetivos que se especifican a continuación.

- Evaluar el efecto de la temperatura y del tiempo en la cinética de rehidratación de los granos de haba.
- Evaluar la variación de las propiedades físicas (tamaño y forma) de los granos de haba a diferentes temperaturas y tiempos de rehidratación.

II. MARCO TEORICO

2.1 EL HABA

2.1.1 GENERALIDADES

El haba común (*Vicia faba* L.) también nombrada como; broad bean o horse bean, es una planta leguminosa que tiene importancia como fuente proteínica en diversos países del mundo. Junto con la lenteja, el chícharo y el garbanzo, el haba perteneció a las principales semillas de leguminosas en la agricultura del Viejo Mundo, pues su domesticación probablemente ocurrió en el período Neolítico (Olvera *et al.*, 2001; Zohary, 2000).

El haba (*Vicia faba* L.) es la séptima legumbre de grano en importancia en el mundo y la típica leguminosa de doble utilización (tanto para alimentación humana como animal), constituyendo en muchos países la mayor fuente de proteína en alimentación humana. (Rees *et al.*, 2000).

Canahua y Larico (1992), indican que las habas generalmente se cultivan en la ribera de los lagos Titicaca y Arapa, por tener éstas mayor periodo libre de heladas. Normalmente entra al final del ciclo de rotación de la cedula de cultivo "A". El objetivo es obtener grano para la alimentación humana, broza para la alimentación animal, así como para mejorar la fertilidad del suelo.

El periodo vegetativo del cultivo varía entre 7 y 8 meses de setiembre a abril/mayo. Esta leguminosa se cultiva generalmente en la zona circunlacustre y lugares abrigados con

o sin riego. El cultivo de haba es una alternativa para productos de exportación en grano seco y verde. El rendimiento alcanza los 1.6 a 2.0 tm/há (INIA, 2012).

2.1.2 CLASIFICACION TAXONOMICA Y MORFOLOGIA

Según C.I.P. (2002), citado por Segura (2007)

Familia	: leguminosae, sub familia papilionoidea
Nombre Científico	: <i>Vicia faba</i> L.
Planta	: Anual corte recto
Sistema Radicular	: Muy desarrollado
Tallo	: De coloración verde, fuertes angulosos y huecos, ramificados, de hasta 1.5 metros de altura según el ahijamiento de la planta varia el número de tallos.
Hojas	: Alternas, compuestas, panpinadas, con foliolos anchos ovals redondeados, de color verde y desprovistos de zarcillos.
Flores	: Auxiliares agrupados en racimas cortos de 2 a 8 flores poseyendo una mancha grande de color negro o violeta en las alas, que raras veces van desprovistos de manchas.
Frutos	: Legumbre de longitud variable, pudiendo alcanzar hasta más de 35cm., el número de granos oscila entre 2 y 9. El color de la semilla es verde amarillento, aunque las hay de otras coloraciones más oscuras.

2.1.3 VARIEDADES BOTANICAS

El tamaño de la semilla ha servido como la característica principal para la subdivisión intraespecífica. Los taxonomistas de haba (Prieto, *et. al.*, 2007) reconocen tres o cuatro tipos principales de 3 variedades botánicas de haba:

- ***Vicia faba* L. var. minor:** semillas pequeñas de forma elipsoidal que miden 6-13 mm, vainas cilíndricas y 3-4 semillas
- ***Vicia faba* L. var. equina Pers:** semillas medianas, de forma aplanada, vainas de tamaño intermedio con una dehiscencia moderada y 3-4 semillas, su peso oscila entre 1 a 1,5 g
- ***Vicia faba* L. var. major:** semillas de 15-20 mm de largo, de 12-15 mm de ancho y 5.8 mm de espesor. Es la más usada para consumo en verde, sus semillas son grandes, ovoidales y aplastadas, de colores ligeramente coloreadas, verdes y blancogrisáceas, los cuales dependen de muchos factores como la edad, composición físico-química del suelo y la manera de recolectar. Su peso oscila entre 2 a 3 g, sus vainas son indehiscentes con 3-4 semillas.

2.1.4 PRINCIPALES VARIEDADES CULTIVADAS EN LA REGIÓN

Vallenas (1982), citado por Segura (2007), indica que en el cultivo de habas en el departamento de Puno, no se emplean variedades definidas, al contrario las semillas empleadas corresponden a una mezcla de muchas variedades o cultivares conocidas localmente con diferentes denominaciones, los mismos que se derivan de la coloración de la testa o cascara, y se tiene las siguientes más importantes: Blanca de Yunguyo, Muyo muyo, Osnayo ó Gigante de Copacabana, Cheje, Wila jawasa en la provincia de Yunguyo.

Segura (2007), indica que, pocas especies foráneas han podido adaptarse a las inclemencias climáticas del altiplano, un de ellas es el haba, los cultivos de haba en Puno se siembran aproximadamente hace 400 años, posiblemente su introducción haya sido ejecutado por los religiosos españoles que dejaron asentarse en Chucuito-Juli.

2.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO

El haba al igual que otras leguminosas como el frijol, el garbanzo y la lenteja, es una importante fuente alimenticia, sobre todo de los sectores de bajos ingresos del país. Su importancia radica en el valor proteínico que en comparación con otras fuentes como el maíz y frijol es superior. También se expresa en otros valores nutritivos como calorías, grasas y contenido de carbohidratos (Olvera *et al.*, 2001). El valor nutricional depende de la variedad, las condiciones climáticas, edáficas y la genética de la semilla. En la Tabla 1, se muestra el valor nutricional de haba seca con cascara.

Tabla 1. Composición proximal en 100 g de haba seca con cáscara

Característica	Valor
Agua (g)	11.50
Energía (Kcal)	340.00
Proteína (g)	23.80
Grasa (g)	1.50
Carbohidratos totales (g)	60.10
Fibra cruda (g)	6.40
Cenizas totales (g)	3.10
Calcio (mg)	197.00
Fósforo (mg)	413.00
Hierro (mg)	13.00
Tiamina (mg)	0.39
Riboflavina (mg)	0.30
Niacina (mg)	4.00
Ácido ascórbico (mg)	8.60

Fuente: Tablas Peruanas de Composición de Alimentos, Lima (2009).

2.1.5.1 PROTEÍNAS

La proteína en *Vicia faba* L. representa alrededor de 24-32%. Este valor depende del tipo o variedad, el nivel de maduración así como las condiciones climatológicas y zona de cultivo. Las proteínas mayoritarias de reserva del haba de acuerdo a la clasificación de Osborne son las globulinas y representan el 60% del total de las proteínas de reserva, constituidas a su vez por dos fracciones: legumina y vicilina. Estas se encuentran en los cuerpos proteicos de las células vegetales. Otra fracción importante son las albúminas que representan el 20% y tienen elevado contenido de aminoácidos azufrados que incluyen la mayoría de los enzimas de la semilla. En menor proporción se encuentran las glutelinas (15%) que se localizan en la testa; por último, las prolaminas que representan un 5% (Waldroup y Smith, 1989; Marquardt *et al.*, 1975; Chavan *et al.* 1989).

López (2005), menciona que las semillas de las leguminosas en general son los vegetales más ricos en proteínas, en el grano seco de haba el contenido de proteína puede variar de 21 a 32%; en el haba, 80% de la proteína son albuminas y globulinas, 15% son gluteninas y menos de 5% son prolamina. La calidad de una proteína depende de su contenido en aminoácidos esenciales, y es nula cuando una proteína no tiene ningún aminoácido esencial; en el haba, los aminoácidos limitantes son la metionina, la cisteína y el triptófano.

Las proteínas de haba, como otras leguminosas, es deficiente en aminoácidos como metionina y cistina, pero es una buena fuente de lisina. Algunos de los aminoácidos que componen la proteína del haba, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición de aminoácidos de las proteínas de haba

Aminoácido	% de aminoácido/100g de proteína
Lisina	6.6
Histidina	2.6
Arginina	10.5
Ácido aspártico	13.0
Treonina	3.3
Serina	4.2
Ácido glutámico	20.3
Prolina	4.1
Glicina	4.2
Alanina	4.2
Cistina	1.7
Valina	3.9
Metionina	0.8
Isoleucina	4.3
Leucina	8.3
Tirosina	2.8
Fenilalanina	4.4
Triptofano	1.0

Fuente: Waldroup y Smith (1989).

2.1.5.2 CARBOHIDRATOS

Las leguminosas representan una importante fuente de carbohidratos (25-60%) (Muzquiz *et al*, 2006). Los monosacáridos fructosa, glucosa y la galactosa, son azúcares reductores presentes en haba en baja proporción. Sin embargo, la sacarosa es un disacárido no-reductor encontrado entre 1-2%. Todos son azúcares solubles en agua y pueden ser fácilmente asimilados por el hombre (Chavan *et al*, 1989).

En las semillas de *Vicia faba* L. están presentes almidón y polisacáridos no amiláceos. El almidón, formado por amilosa y amilopectina, es un polisacárido de reserva soluble en

agua, que encontramos en los cotiledones. Representa el 80% de los carbohidratos totales del haba y se encuentra en una proporción del 30-40% frente a los demás compuestos de la semilla (Kadlec *et al.*, 2004).

2.1.5.3 LÍPIDOS

El contenido lipídico del haba se encuentra entre 2-3%, y se concentra en los cotiledones (97%). Los lípidos simples se encuentran en una proporción del 48%, con los triglicéridos como compuesto mayoritario seguidos de los fosfolípidos 36% y los glucolípidos 10% (Salunkhe *et al.*, 1989). Los ácidos grasos insaturados más abundantes de las semillas de *Vicia faba* son el oléico y el linoléico, y en menor proporción el linolénico. Los ácidos grasos saturados mayoritarios son el palmítico, el esteárico y araquidónico.

Tabla 3. Contenido de ácidos grasos del haba. (% ácido graso del total de lípidos)

Ácido Graso	Nombre Común	% Ac. Graso
Insaturados		
18:1	Oléico	20.00
18:2	Linoléico	40.63
18:3	Linolénico	31.30
Saturados		
16:0	Palmítico	11.25
18:0	Esteárico	1.88
20:0	Araquidónico	0.63

Fuente: Salunkhe *et al.* (1989).

2.1.5.4 FIBRA

Condori (2002), menciona que el contenido de fibra es de 2.75 a 6.4 % en grano de haba seca.

Josef (1974), menciona que el contenido de fibra total de haba seca esta alrededor 7.2%.

2.1.5.5 CENIZA

Cubero (1983), menciona que el contenido de ceniza en el grano de haba es de 3%, y Devlin (1982), menciona que el contenido de ceniza en grano de haba esta alrededor de 2.9%

2.1.5.6 VITAMINAS

Lopez (2005), menciona que, las vitaminas que se encuentran en el haba son: A, B; en general, el haba es una fuente rica en riboflavina (B2), niacina (B3), ácido pantoténico (B5), piridoxina (B6), ácido fólico (B9) y β -caroteno, también posee las vitaminas C y E.

2.1.5.7 MINERALES

El grano de haba es una fuente de macro y micro elementos minerales, como potasio, fósforo, magnesio, azufre y en menor cantidad en calcio y hierro. Las testas contienen considerablemente menos fósforo (0,33%), pero más calcio que los cotiledones. Aproximadamente un 60% del total de azufre se encuentra formando parte de los aminoácidos azufrados; pero el 40% restante no influye en el valor biológico de las proteínas. Del 40-60% del fósforo no se encuentra disponible ya que forma parte del ácido fítico. Las proporciones dependen del cultivar y de las condiciones ambientales (Chavan *et al.*, 1989; Hebblethwaite, 1983).

2.1.6 COSECHA Y POSCOSECHA DE LOS GRANOS DE HABA

2.1.6.1 COSECHA

Tapia *et al.* (2007) indica que, la cosecha está determinada por el periodo vegetativo de la variedad, por la finalidad del cultivo (vaina-verde o grano seco) y por las condiciones ambientales que prevalecen en la zona de producción. La época de cosecha depende de la variedad y de las condiciones climáticas, el haba esta lista para cosechar cuando las hojas basales se secan, las vainas están caídas y el color de planta se torna marrón oscuro.

2.1.6.1.1 COSECHA VAINA-VERDE

Producción destinada a comercializar el haba en estado fresco o verde, la importancia de este cultivo, es que existen variedades de doble propósito (verde y grano seco), que permiten que los productores tengan alternativas de ingresos. Para la cosecha de haba destinada a su venta en fresco se toma en cuenta lo siguiente: (Iniciamos la cosecha de vainas de la parte baja, luego del medio y terminamos con las que se encuentran arriba de la planta, (López, 2005)

- Las vainas tienen que tener el tamaño deseado para la venta.
- Las vainas tienen que ser duras y haber completado su madurez.
- Algunas de las hojas inferiores empiezan a cambiar de color de verde a amarillo.

2.1.6.1.2 COSECHA PARA GRANO SECO

Tapia *et al.* (2007) indica que, la cosecha destinada para este fin toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Los granos en la vaina presentan al hilio de color negro.

- Las vainas presentan una consistencia y dureza
- En general las plantas presentan una coloración amarilla tenue, que se acentúa hasta un color marrón claro.

Un indicador de que el grano ha llegado a su madurez es la presencia del “hilium” negro, luego de lo cual generalmente los productores proceden al cortado o segado de las plantas.



Fig 1. Diferentes grados de maduración por el color del hilium (Tapia *et al.*, 2007).

López y Muciño (2004) mencionan que la cosecha debe realizarse, cortando los macollos (tallos) con una hoz en la base de la planta, a una altura de unos 5 a 10 cm. del suelo. Concluido con el segado o corte, la siguiente actividad es formar o armar las parvas para el secado; el diámetro de la parva, no debe ser mayor a 1,5 metros para evitar problemas de pudrición en vainas y granos, por lo que para obtener un secado uniforme de las plantas y vainas en las parvas, es importante que esta tarea se realice con mucho cuidado. Para evitar pérdidas cuando existe riesgo de heladas, granizadas y/o lluvias, las parvas deben ser cubiertas con paja, nylon o cualquier otro material que permita conservar seca la parva.

2.1.6.2 POSCOSECHA

Tapia *et al.* (2007) indica que, es el conjunto de actividades que permiten obtener un producto de buena calidad por medio de acciones bien definidas.

2.1.6.3 SECADO

López y Muciño (2004) mencionan que, el secado sirve para eliminar el exceso de agua de los granos, hasta llegar al 13%, por tradición el secado fue realizado en el campo y al sol. Con este nivel de humedad los granos pueden mantener y conservar por más tiempo su calidad nutritiva y su potencial como semilla, siempre y cuando se almacene de forma correcta.



Fig 2. Secado en parvas del cultivo de haba (López y Muciño, 2004).

El tiempo de secado puede variar de 1 a 2 meses, pero es aconsejable que no sea mayor a 30 días, para este efecto las parvas deben ser ventiladas y no deben ser muy grandes, distribuidas en 3 bolillo y ubicadas en un lugar elevado de la parcela donde pueda correr el aire y no haya riesgo de humedad en el terreno, así de esta manera se reduce el tiempo de secado y la pérdida por pudrición.

2.1.6.4 TRILLA

Tapia *et al.* (2007) indica que la trilla consiste en separar los granos secos de las vainas mediante presión o golpes, se la puede realizar de las siguientes formas:

- Tradicional: La cual se realiza pisando las plantas secas con animales medianos que pueden ser burros o mulas; también esta actividad puede realizarse golpeando las vainas con un palo. Para evitar daños en la semilla y/o grano, se recomienda realizar volteos continuos, es recomendable realizar esta actividad sobre superficies relativamente amortiguadas, vale decir sobre pasto o tierra suelta.
- Mecanizada: Esta actividad se la realiza por medio del uso de equipos especializados que permiten realizar el trillado y venteado, entregando un producto limpio, haciendo que este trabajo no sea tan moroso y principalmente descongestiona la mano de obra utilizada en esta tarea.

2.2 POTENCIAL EN LA AGROINDUSTRIA

Peñaloza (2003), señala que, en la agroindustria el producto haba, es muy grande, y se debe comenzar por lo más sencillo, los granos de haba son procesados tanto en fresco, como en granos secos, estos se descascaran (se elimina la testa), se empacan y se procede a su venta; también se elaboran las frituras de haba, las que se pueden elaborar con o sin testa, en el segundo caso, adquiere mejor presentación, y menos problemas al consumirse, ya que en la testa se encuentran sustancias anti nutricionales. También están las habas tostadas, las harinas que al complementarlas a las harinas de trigo se elaboran galletas, sopas instantáneas de haba, etc.

2.3 REHIDRATAACION DE GRANOS

Muchos investigadores estudiaron la transferencia de masa de agua en alimento, en forma líquida o gaseosa, en la rehidratación y en el secado, debido a la gran importancia de este fenómeno de absorción en la manipulación, procesamiento y almacenamiento de alimentos (Abu-Gannam y McKenna, 1997; Sopade *et al.*, 2007).

La cinética de hidratación ha sido ampliamente estudiada en productos como granos de cereales y leguminosas (Abu-Grannam y McKenna, 1997).

Comprender la absorción de agua en leguminosas durante el proceso de hidratación es de extrema importancia, es de este proceso que depende las cualidades finales del producto (Turhan *et al.*, 2002).

Una de las principales razones de la hidratación es gelatinizar el almidón del grano, esto puede conseguirse a través de condicionamiento, en bajas temperaturas de gelatinización (etapa de condicionamiento), esto hace que aumente el contenido de agua para la gelatinización, y en seguida, cocinar en agua o vapor encima de la temperatura de gelatinización (etapa de cocción), o a través de la cocción directa del grano por encima de la temperatura de gelatinización (Turhan *et al.*, 2002).

2.4 MODELAMIENTO DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN POR INMERSIÓN

El modelamiento y simulación es una importante herramienta de análisis disponible para proyectos y operación de procesos o sistemas. Esta puede ser útil en cualquiera de las fases del ciclo de vida de un sistema de producción simulando procesos como experimentos de sistemas o fenómenos físicos, a través de modelos matemáticos que representan características observadas en sistemas reales posibilitando evaluar nuevas formas de optimizar la operación (Paiva, 2005).

La utilización de modelos matemáticos que consideran las características del sistema de transferencia de masa en alimentos es una herramienta cada vez más explorada por los investigadores, siendo de gran utilidad para el cálculo del desarrollo eficiente de cada análisis, teniendo en cuenta la optimización del proceso, reducción de pérdidas y aumento de la calidad del producto final (Dantas *et al.*, 2011).

Los modelos matemáticos pueden ser divididos en dos grupos principales: empíricos y fenomenológicos. Los modelos empíricos generalmente son obtenidos a partir de simples correlaciones matemáticas de los datos experimentales (Singh y Kulshrestha, 1987) y sus parámetros normalmente no poseen significado físico. Por otro lado, los modelos fenomenológicos consideran las etapas elementales de transferencia de masa (Coutinho *et al.*, 2005) y sus parámetros, frecuentemente, presentan significado físico.

2.4.1 MODELOS EMPÍRICOS

Los modelos empíricos generalmente son obtenidos a partir de simples correlaciones matemáticas de los datos experimentales, no se basan en procesos físicos fundamentales. Estos modelos son frecuentemente preferidos debido a la facilidad en los cálculos y en la interpretación. Entre los modelos empíricos, el modelo asintótico de primer orden y el modelo de Peleg son los más utilizados para la descripción empírica de la incorporación del agua en las legumbres (Gowen *et al.*, 2007).

Los modelos de Pilosof-Bouquet-Batholomai, Singh y Kulshrestha y de Peleg son modelos empíricos no exponenciales muy utilizados y en algunos de sus parámetros como, por ejemplo, humedad de equilibrio, M_e , la tasa constante, son de primordial importancia en la cinética de hidratación. Estos tres modelos pueden ser utilizados de modo independiente (Sopade *et al.*, 2007).

2.4.1.1 MODELO DE PELEG

Peleg (1988), propuso un modelo empírico y no exponencial, presentado en la ecuación (1), con el intento de simplificar la descripción de la absorción de agua en los granos y cereales. Este modelo fue introducido por primera vez para describir la absorción de humedad para el arroz y la leche en polvo, obteniendo coeficientes de correlación de la orden de 0.95 a 0.99. Este modelo viene siendo utilizado satisfactoriamente por diversos investigadores para representar dicho fenómeno.

El modelo de Peleg evalúa los datos a través de la relación entre la inversa proporcional de la humedad con relación al tiempo, en horas (Ferraz, 2008).

$$U_t = U_0 + \frac{t}{(K_1 + K_2 t)} \quad (1)$$

Donde:

U_t : Masa en el tiempo t

U_0 : Masa inicial

t : tiempo

K_1 y K_2 : constantes del modelo

Este es un modelo de tres parámetros, donde K_2 es inversamente proporcional a la humedad de equilibrio y K_1 es inversamente proporcional a la tasa inicial de absorción de agua (Gowen *et al.* 2007). La ecuación es una suma cuando el proceso implica absorción, y una sustracción cuando el proceso implica desorción (Ferraz, 2008).

La primera constante es inversamente proporcional a la velocidad a la que se produce la absorción de agua por la semilla, mientras que la segunda constante está relacionado con

su capacidad para absorber agua. Si el tiempo tiende a infinito, la ecuación (2) muestra la expresión para el contenido de humedad de equilibrio, en base seca (U_e):

$$U_e = U_0 + \frac{1}{K_2} \quad (2)$$

La tasa de hidratación (W) está dada por la ecuación (3):

$$W = \frac{dU_t}{dt} = \frac{K_1}{(K_1 + K_2 t)^2} \quad (3)$$

En la evaluación de W en el comienzo del proceso (W_0), $t \rightarrow 0$, $W = W_0$, la ecuación (4) muestra W_0 (la velocidad inicial de hidratación), como el recíproco de K_1 :

$$W_0 = \left. \frac{dU_t}{dt} \right|_{t \rightarrow 0} = \frac{1}{K_1} \quad (4)$$

La constante K_1 es una constante cinética. A partir de ella se puede determinar el efecto de la temperatura en la cinética de rehidratación y obtener la energía de activación de la muestra a partir de la ecuación de Arrhenius (ecuación 5).

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{K_p} \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

Donde K_p es un factor pre exponencial, E_a la energía de activación (kJ/mol), R la constante de los gases perfectos (8.314 J/mol.K) y T la temperatura (K).

$$\ln\left(\frac{1}{K_1}\right) = \ln\left(\frac{1}{K_p}\right) - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (6)$$

A partir de la ecuación (5), representando $\ln(1/k_1)$ frente $1/T$, se obtiene la energía de activación a partir de la pendiente de la recta obtenida tras el ajuste de regresión lineal (ecuación 6).

La energía de activación durante la hidratación, es la capacidad de difundir un mol de H_2O al interior del grano, esta energía aumenta conforme se incrementa la temperatura debido al aumento de su energía cinética. Con mayor energía cinética, las moléculas de agua se mueven más rápido y chocan con más frecuencia y con mayor energía contra la superficie del grano, estas moléculas deben de impactarse contra la superficie del grano con una energía mínima (energía de activación) para que puedan atravesar la barrera termodinámica que presenta esta superficie y realizar la rehidratación (Maskan *et al.*, 2002).

2.5 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GRANOS

El conocimiento de las propiedades físicas de los granos y semillas, constituyen una información fundamental de ingeniería para adecuar y operar máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento, montar sistemas adecuados de transporte, además, es un parámetro fundamental para el diseño de empaques, en el análisis de calidad y en el control de procesos (Castro, 1996; Ospina y Julio, 2001).

2.5.1 FORMA Y TAMAÑO

Son parámetros mutuamente asociados que permiten describir cualquier producto. Criterios de redondez, esfericidad y semejanza a determinadas formas geométricas se utilizan para determinar la forma y tamaño de una semilla, para lo cual se pueden utilizar diferentes fórmulas matemáticas, las cuales se basan en las tres principales dimensiones ortogonales: longitudinal (eje mayor), ancho (eje medio) y espesor (eje menor).

Mohsenin (1970), citado por Dursun (2005) propone algunos criterios para determinar el tamaño, los cuales son: diámetro medio geométrico y el diámetro medio aritmético.

$$D_a = \frac{(L+W+T)}{3} \quad (7)$$

$$D_g = (L \cdot W \cdot T)^{1/3} \quad (8)$$

Donde:

L = longitud (mm)

W = ancho (mm)

T = espesor (mm)

Da = diámetro medio aritmético (mm).

Dg = diámetro medio geométrico (mm)

El mismo autor propone el criterio de la esfericidad para determinar la forma de un material biológico, con la siguiente ecuación:

$$\phi = \frac{D_g}{L} \quad (9)$$

Donde:

ϕ = esfericidad (adimensional)

El tamaño es un atributo físico importante de los alimentos utilizados en el tamizado de sólidos para separar materiales extraños, para la clasificación de frutas de hortalizas y para evaluar la calidad de los materiales alimenticios. En el flujo de fluidos y en los cálculos de transferencia de materia y calor es necesario conocer el tamaño de la muestra. (Sahin y Sumnu, 2009).

El tamaño se puede determinar utilizando el método del área proyectada, en este método se definen tres dimensiones características:

1. Diámetro mayor, que es la dimensión más grande del área máxima proyectada.
2. Diámetro intermedio, que es el diámetro mínimo del área proyectada o el máximo diámetro del área mínima proyectada; y
3. Diámetro menor, que es la dimensión más corta del área mínima proyectada.

La forma también es importante en los cálculos de transferencia de materia y calor, en el tamizado de sólidos para separar materiales extraños, en la clasificación de frutos y hortalizas, y en la evaluación de la calidad de los materiales alimenticios. La forma del material alimentario usualmente se expresa en términos de esfericidad y redondez. (Sahin y Sumnu, 2009).

2.6 ANALISIS DE IMAGEN

El análisis de imagen es una técnica de reciente desarrollo que consiste en la digitalización de imágenes que son convertidas en matrices de puntos, los cuales aportan información sobre su posición, su luminosidad, su color, etc., lo que permite numerosas aplicaciones en los más variados campos. (Mendizaval y Goñi, 2001).

Las ventajas de la imagen digital frente a la analógica vienen dadas por las múltiples posibilidades de manipulación que nos ofrece. Además podemos procesar dichas imágenes para obtener información. Reconocer, contar y medir tamaño, forma, posición o densidad de determinados objetos, es algo que, con una correcta preparación de la muestra, está al alcance de cualquier ordenador personal complementado con un software adecuado de análisis de imágenes. (Martínez, 2001).

Las imágenes digitales son segmentadas, transformando los píxeles grises a píxeles blancos o negros, luego se realiza la selección de los objetos desplegados en la imagen. Las medidas de análisis más relevantes en la estructura del alimento. (Abramoff *et al.*, 2004).

2.6.1 TECNICAS DE ANALISIS DE IMAGENES

Du y Sun, (2004) indica que las técnicas de análisis de imágenes pueden caracterizar cuantitativamente características físicas como tamaño, morfología y propiedades de textura de cualquier imagen digital. Y describe que generalmente la técnica de análisis de imágenes consiste en cinco etapas:

- 1) adquisición de la imagen
- 2) pre-procesamiento
- 3) segmentación
- 4) extracción de características y
- 5) interpretación

2.6.2 ETAPAS DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE IMÁGENES

Pedreschi y Cols, (2004) describe generalmente la técnica de análisis de imágenes que consiste en cinco etapas las cuales se muestran en la Figura 3. Se inicia con la adquisición de imágenes en forma digital; posteriormente se hace el pre procesamiento para obtener mejores imágenes con las mismas dimensiones de la imagen original; seguido de la segmentación para dividir la imagen digital en regiones; a continuación se miden las características de tamaño, forma, color y textura; y finalmente se hace la identificación y clasificación en grupos (Cheng-Jin y Da-Wen, 2004). Es importante señalar que para este trabajo “procesamiento de imágenes” y “análisis de imágenes” son usados como sinónimos.

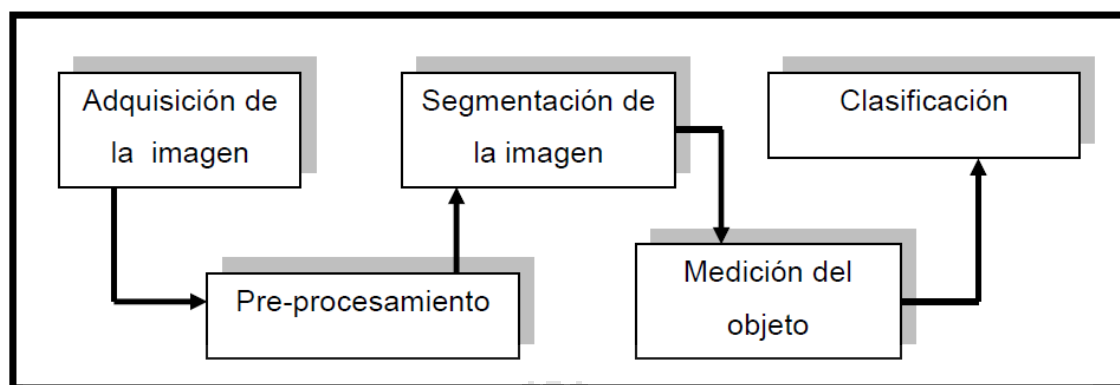


Fig 3. Diagrama del análisis de imágenes (Cheng-Jin y Da-Wen, 2004).

2.5.2.1. ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN

Actualmente existen varios sensores para la adquisición de imágenes en forma digital, como una cámara con dispositivo de carga acoplado (CCD por sus siglas en inglés). Las cámaras con CCD son empleadas en las técnicas de análisis de imágenes para evaluar atributos de calidad externos como tamaño, forma, color, características de textura y defectos. Típicamente la imagen de una cámara digital está formada por tres canales digitales: rojo, verde y azul (RGB por sus siglas en inglés); y esta imagen a su vez puede convertirse a escala de grises para simplificar la complejidad de la imagen (Cheng-Jin y Da-Wen., 2004).

2.5.2.2. PRE-PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

El propósito del pre-procesamiento de la imagen es mejorar los datos de la imagen para disminuir distorsiones o realzar algunas características de la imagen que son importantes para su futuro procesamiento y con esto crear una imagen mejor a la original. Existen dos propuestas para el pre-procesamiento de imágenes, el pre procesamiento por pixel y el pre-procesamiento local.

El fundamento de estas dos técnicas es similar en donde se usa un filtro digital, para remover los ruidos de la imagen y mejorar el contraste en adición a este paso el color de la

imagen es convertido a escala de grises y a esto se le conoce como intensidad de la imagen. (Cheng-Jin y Da-Wen., 2004).

2.5.2.3. SEGMENTACIÓN DE LA IMAGEN

La segmentación de la imagen consiste en identificar regiones de la imagen con el propósito de separar aquellas regiones de interés del fondo; para la evaluación de la calidad de los alimentos existen cuatro propuestas para realizar la segmentación de la imagen pero sólo dos son las más utilizadas: la segmentación basada en el thresholding y la segmentación basada en la región. La primera consiste en separar objetos del mismo tono de gris del fondo y la segunda separar regiones que tengan un mismo tono en escala de grises del fondo (Cheng-Jin y Da-Wen., 2004).

2.5.2.4 MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL OBJETO

Después de detectar aquellas zonas de interés, el siguiente paso es la extracción de las características del objeto bajo estudio que se pueden clasificar en cuatro clases: tamaño, forma, color y textura (Cheng-Jin y Da-Wen., 2004).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se ejecutó en el laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, en el área de análisis de imágenes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano Puno ubicado a una altitud de 3824 m.s.n.m.

3.2 MATERIALES, EQUIPOS Y OTROS

3.2.1 MATERIAL EXPERIMENTAL

Se utilizó habas (*Vicia faba* L.) variedad Blanca Gigante, en estado de madurez hiliun color negro, proveniente de la provincia de Yunguyo, Región Puno.

3.2.2 MATERIALES

- Caja de muestra 16 x 8 x 2.5 cm de material madera
- Pañuelos Kleen pal
- Papel toalla
- Pinzas
- Tela negra
- Regla métrica
- Fluorescentes

3.2.3 EQUIPOS DE LABORATORIO

- Probeta con capacidad de 1000 ml marca Pírex.
- Vasos de precipitados de 200 ml marca Pírex.

- Calibre digital de 6" (150mm) marca Stanley.
- Balanza analítica digital, marca AND FR – 300 Japón, Capacidad 0.0001 ~1000gr.
- Termómetro -5 ~ 120°C marca Pírex.
- Cronometro.
- Baño termostático electrónico digital. Series CDK – S, Rango: +5°C ~ 99°C, Temperatura de fluctuación $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
- Cámara fotográfica digital D7000 4F-S DX con objetivo micro Nikkor 40mm marca Nikon.
- Computador Intel (R) Core (TM) i7-2600 CPU@ 3,4 GHz.

3.2.4 SOFTWARE

- Camera control Pro 2 versión 2.8.001
- Herramienta MATLAB R2013a. (Matrix Laboratory), versión 8.1.0.604
- SigmaPlot 12.0 (Exact Graphs and Data Analysis)
- STATGRAPHICS® Centurión XVI, versión 16.1.18

3.3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se realizó de acuerdo al diagrama de flujo mostrado en la Figura 4, en el cual se encuentran todos los procesos que se realizaron para la determinación de diferencial de peso y para la adquisición de imágenes y su procesamiento.

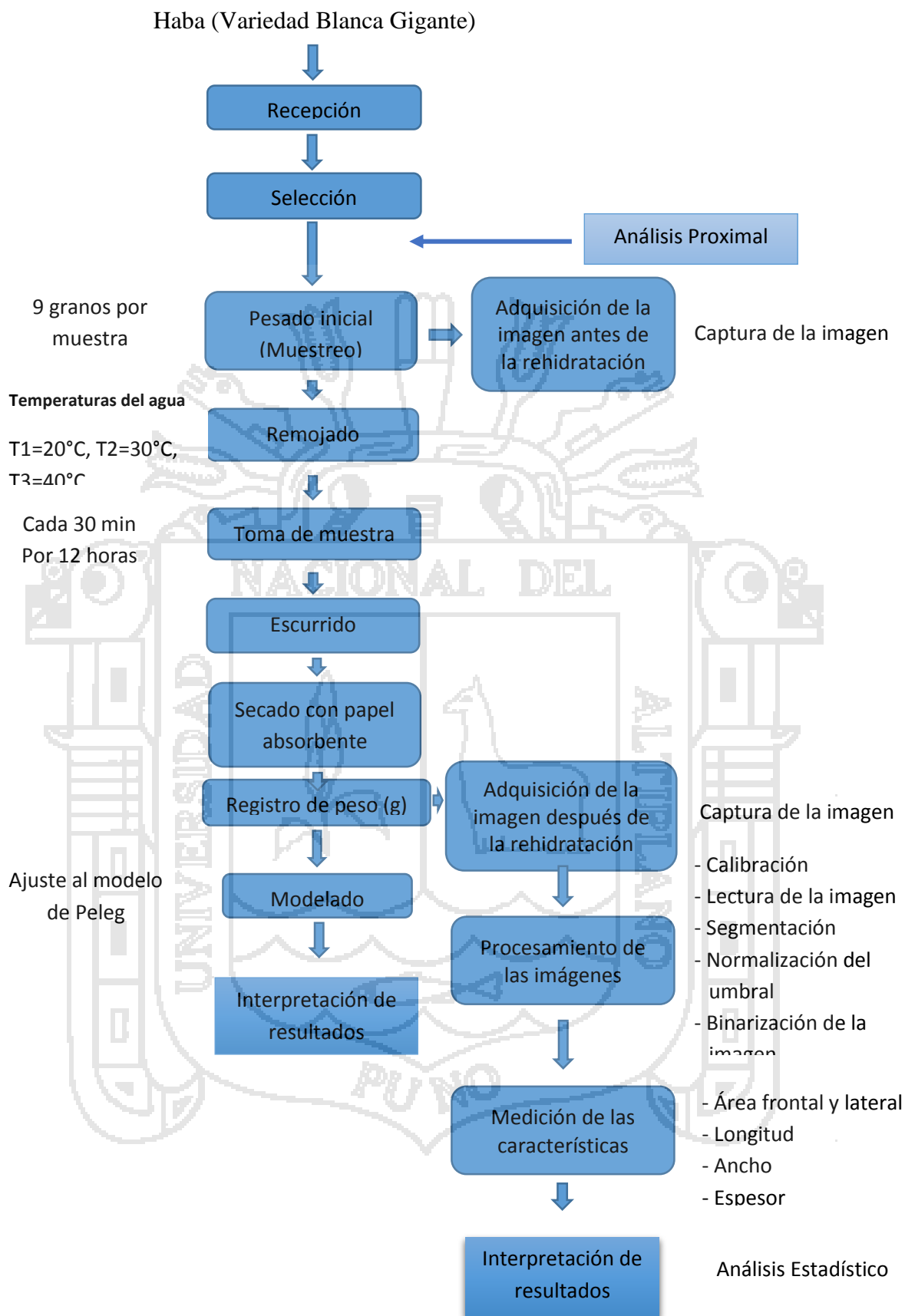


Fig 4. Diagrama de flujo del proceso de rehidratación del grano de haba.

3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL

3.3.1.1 Recepción de la materia prima

En esta etapa se realizó la recepción de los granos de haba variedad Blanca Gigante de Yunguyo.

3.3.1.2 Selección

En esta etapa se seleccionaron los granos de haba con la finalidad de homogenizar las muestras teniendo en lo siguiente: peso, tamaño y madurez.

3.3.1.3 Análisis proximal del grano de haba

En esta etapa se realizó el análisis proximal de las muestras, los métodos de análisis que se aplicó a la materia prima fueron los siguientes:

- Determinación de humedad. (A.O.A.C,2000)
- Determinación de proteínas. (A.O.A.C, 2000)
- Determinación de grasa. (A.O.A.C, 2000)
- Determinación de fibra. (A.O.A.C, 2000)
- Determinación de cenizas. (A.O.A.C, 2000)
- Determinación de carbohidratos. (A.O.A.C, 2000)

3.3.1.4 Muestreo (adquisición de la imagen y pesado inicial)

Se cogieron 9 granos de haba por muestra, teniendo 24 muestras por repetición y 3 repeticiones en los 3 tratamientos, haciendo un total de 216 muestras, las cuales fueron

codificadas y pesadas, también se realizó la adquisición de imágenes inicial tanto frontal como lateral, el procedimiento de la adquisición de imágenes se describen más adelante.

3.3.1.5 Operación de rehidratación (remojo)

El proceso de remojo fue realizado en el Baño Termostático con temperaturas controladas de 20, 30 y 40 °C, con una temperatura de fluctuación de $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Para cada temperatura de rehidratación se realizaron tres repeticiones. Para cada tratamiento, 24 muestras (con un peso aproximado de 30gr) fueron sumergidos en los vasos de precipitados (los cuales estaban dentro del baño termostático) con 120ml de agua potable (sus características se muestran en la Tabla 4), haciendo una relación en masa de 4/1, las temperaturas del agua dentro de los vasos de precipitados fueron medidos periódicamente con un termómetro.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos del agua potable

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
pH	Valor de pH	6.5 – 8.5
Sólidos Totales Disueltos	mg L ⁻¹	1000
Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500

Fuente: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (2011).

3.3.1.6 Toma de muestra, escurrido y secado

Cada 30 min fue retirada una muestra y colocada en el papel toalla papel filtro para secar el agua superficial.

3.3.1.7 Pesado

Luego de haber retirado el agua superficial de los granos de haba, las muestras fueron pesadas en la Balanza analítica y los datos fueron registrados en las hojas de datos Excel. Que posteriormente fueron graficados y ajustados al modelo de Peleg (ecuación 1).

3.3.1.8 Modelado

Con los datos obtenidos se calculó el diferencial de peso para cada tiempo y temperatura, los cuales fueron ajustados al modelo de Peleg obteniendo así los valores de las constantes K_1 y K_2 para cada temperatura.

3.3.1.9 Interpretación de resultados

Se interpretaron los valores de K_1 y K_2 , y finalmente se obtuvo el modelo de Peleg generalizado para las diversas temperaturas

3.3.1.10 Adquisición de imágenes después de la rehidratación

Las imágenes de los granos de habas antes y después de la rehidratación se obtuvieron mediante un sistema de adquisición de imágenes. El sistema en una caja de color negro con un soporte para la cámara digital NIKON D7000 reflex (SLR), ubicado verticalmente y con cuatro fuentes de iluminación (fluorescentes) a los costados, con objetivo micro Nikkor 40mm. El manejo remoto de la cámara se realizó mediante el software Camera Control Pro 2 (versión 2.8.001), conectado al puerto USB de la computadora, las imágenes fueron capturadas a su máxima resolución (4928 x 3264 pixeles). Los ajustes para las imágenes fueron los siguientes:

Ajustes de disparo (imagen frontal)

- Modo de flash: Sin flash, obligatorio
- Velocidad ISO: ISO-100
- Diafragma: f/3.2
- Modo de medición: Matricial
- Modo de enfoque: AF – S

- Distancia Focal: 40mm

Ajustes de disparo (imagen lateral)

- Modo de flash: Sin flash, obligatorio
- Velocidad ISO: ISO-100
- Diafragma: f/3
- Modo de medición: Matricial
- Modo de enfoque: AF – S
- Distancia Focal: 40mm

3.3.1.11 Procesamiento de las imágenes

Las imágenes capturadas se procesaron utilizando una rutina en la herramienta de MATLAB R2013a, para determinar las áreas frontal y lateral, como también las dimensiones longitud, ancho y espesor de los granos de haba. Cada imagen fue calibrada para las áreas se obtengan en (cm²) y las dimensiones en (cm), luego del calibrado se realizó con los algoritmos propios de la rutina todos los procesos necesarios para cuantificar los resultados, como la lectura de la imagen, segmentación, normalización del umbral y ajuste si fuera necesario, binarización, dilatación, erosión y finalmente la extracción de las dimensiones y áreas de las imágenes. Para la calibración se tomó en cuenta las siguientes relaciones:

Imagen frontal

Calibración: longueur = 19.9/4928

Imagen lateral

Calibración: longueur = 15.6/4928

3.4 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

3.4.1 REHIDRATACIÓN

Con los datos obtenidos experimentalmente durante la rehidratación de los granos de haba, se procedió a calcular el diferencial de peso para cada tiempo y temperaturas en estudio. Para describir la cinética de rehidratación de los granos de haba se utilizó el modelo de Peleg (1988), el cual ha sido utilizado para estudiar el proceso de absorción de agua en vegetales, materiales con almidón y semillas. Este modelo fue utilizado satisfactoriamente por diferentes investigadores para describir dicho fenómeno (Hung *et al.*, 1993; Abu-Ghannam y McKenna, 1997b; Turhan *et al.*, 2004; Gowen *et al.*, 2007). La ecuación de Peleg viene dada por la siguiente expresión:

$$U_t = U_o + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (10)$$

Dónde:

U_t = Masa en el tiempo (g)

U_o = Masa inicial (g)

t = tiempo de rehidratación (h)

K_1 = Constante de ratio de Peleg (h. g m.s/ g H₂O)

K_2 = Constante de capacidad de Peleg (g H₂O/g m.s)

3.4.2 MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas que se evaluaron son: dimensiones ortogonales (longitud, ancho y espesor) y las áreas (frontal y lateral). A continuación se explican los procedimientos que se utilizaron.

Dimensiones y tamaño. Las dimensiones ortogonales: longitud (L), ancho (W), espesor (T) fueron determinadas mediante la técnica de análisis de imagen de acuerdo a la metodología propuesta por Sahoo y Srivastava (2002). A partir de ellas, se calcularon las áreas frontal y lateral, como también el diámetro medio geométrico (D_g) y el diámetro medio aritmético (D_a). (Dursun *et al.* 2007), utilizando las siguientes ecuaciones (11) y (12).

$$D_a = \frac{(L+W+T)}{3} \quad (11)$$

$$D_g = (L.W.T)^{1/3} \quad (12)$$

3.5 UNIDADES DE ANALISIS Y OBSERVACIONES

3.5.1 VARIABLES EN ESTUDIO

a. Temperatura del agua de rehidratación

- $T_1 = 20^\circ\text{C}$
- $T_2 = 30^\circ\text{C}$
- $T_3 = 40^\circ\text{C}$

b. Tiempo de rehidratación.

- 12 horas con controles cada 30 minutos, a partir de las 0 horas.

3.5.2 VARIABLES RESPUESTA

A. Cantidad de agua de absorbida

- Diferencial de peso (g)
- Ajuste al modelo de Peleg, Coeficiente de determinación (R^2)
- k_1 = Constante de ratio de Peleg (h. g m.s/ g H₂O)
- k_2 = Constante de capacidad de Peleg (g H₂O/g m.s)

B. Propiedades físicas

- **Dimensiones ortogonales.**

- Longitud (cm)

- Ancho (cm)

- Espesor (cm)

- **Áreas**

- Frontal (cm²)

- Lateral (cm²)

3.6 ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Para procesar los datos obtenidos durante la investigación se aplicó el análisis de varianza (ANVA), con un 95% de significancia y el test de Duncan ($p=0.05$) para evaluar la diferencia del efecto de temperatura en el proceso de hidratación del grano de haba. Se trabajó con el programa estadístico STATGRAPHICS® Centurión XVI, versión 16.1.18

Las variables en estudio fueron las temperaturas y los tiempos de rehidratación. Se utilizó un experimento factorial bajo el diseño completo al azar (DCA) con 3 repeticiones, ajustado al siguiente modelo lineal aditivo.

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

i = Tiempos de Rehidratación (min)

j = Temperaturas de Rehidratación (°C)

k = Numero de repeticiones

Y_{ijk} = Es la variable de respuesta de la k -ésima repetición bajo la j -ésima temperatura sujeto al i -ésimo tiempo de rehidratación.

u = Media general

α_i = Efecto del i -ésimo tiempo de rehidratación

β_j = Efecto de la j -ésima temperatura de rehidratación

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la j -ésima temperatura , en el i -ésimo tiempo

ε_{ijk} = Efecto del error experimental

Para la recolección de datos se realizó el siguiente formato que se muestra en la tabla.

Donde se registrarán todos los datos experimentales para cada variable de respuesta.



Formato para recolección de datos.

Temperaturas (°C)	T1=20			T2=30			T3=40		
Tiempo(min)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0									
30									
60									
90									
120									
150									
180									
210									
240									
270									
300									
330									
360									
390									
420									
450									
480									
510									
540									
570									
600									
630									
660									
690									
720									

Donde:

- T1, T2 y T3 = temperaturas de rehidratación
- 1, 2 y 3 = número de repeticiones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANALISIS PROXIMAL

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos del análisis proximal del grano de haba, de acuerdo al informe del laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el cual concluye que los resultados están dentro de los límites permisibles según las Especificaciones Técnicas Nacionales, y también son similares a los obtenidos en las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos, (2009).

Tabla 5. Resultados del análisis proximal del grano de haba

Característica	Valor
Agua (%)	10.733 ± 0.075
Proteína (%)	31.693 ± 0.015
Grasa (%)	1.390 ± 0.316
Carbohidratos (%)	52.397 ± 0.368
Fibra (%)	1.327 ± 0.012
Cenizas (%)	2.460 ± 0.010

4.2 GANANCIA DE PESO

En la Tabla 6 se muestran los valores promedios de la ganancia de peso en función del tiempo, de los granos de haba sometidos a tres temperaturas de rehidratación 20,30 y 40 °C.

En la Figura 5 se muestra que las curvas de ganancia de peso en todas las temperaturas de rehidratación presentan un comportamiento característico de absorción de agua durante el proceso de rehidratación, a un inicio exhibe una alta tasa de absorción de agua, y mientras el proceso de rehidratación continua, la tasa de absorción decrece continuamente a medida que se aproxima a su humedad de equilibrio.

Tabla 6. Resultados de la ganancia de peso durante la hidratación del grano de haba en sus tres tratamientos

Tiempo (min)	T1 20°C	T2 30°C	T3 40°C
0	0	0	0
30	2.412±0.455	3.377±0.250	4.297±0.445
60	4.577±0.830	5.557±0.321	8.577±0.871
90	6.147±0.923	7.743±0.421	12.543±0.627
120	8.209±0.660	9.527±0.521	15.050±1.053
150	10.008±0.945	11.787±0.544	17.807±0.470
180	11.935±0.648	13.453±0.768	18.753±0.941
210	14.060±1.155	15.083±0.730	20.123±0.662
240	15.558±0.376	16.227±0.125	20.483±0.657
270	16.777±1.126	18.623±0.447	21.637±1.129
300	19.177±0.783	20.083±1.094	21.667±0.238
330	19.944±0.939	21.410±0.721	22.553±0.350
360	20.384±1.433	22.617±0.670	23.743±0.486
390	22.805±1.575	23.837±0.931	25.200±0.660
420	24.234±1.205	24.950±0.574	25.303±0.564
450	25.374±0.554	25.740±0.922	25.700±0.420
480	25.386±0.929	26.837±0.672	25.917±0.760
510	25.432±0.947	26.970±0.541	27.023±0.870
540	26.539±1.653	27.520±0.881	27.127±0.207
570	26.762±1.066	27.660±1.126	28.210±0.969
600	28.085±1.473	27.720±0.732	28.800±0.875
630	28.374±1.503	28.290±0.953	29.513±1.879
660	28.450±1.142	28.683±0.947	29.560±1.196
690	28.575±1.081	28.953±0.272	29.570±0.964
720	28.643±1.805	29.847±0.591	29.940±0.288

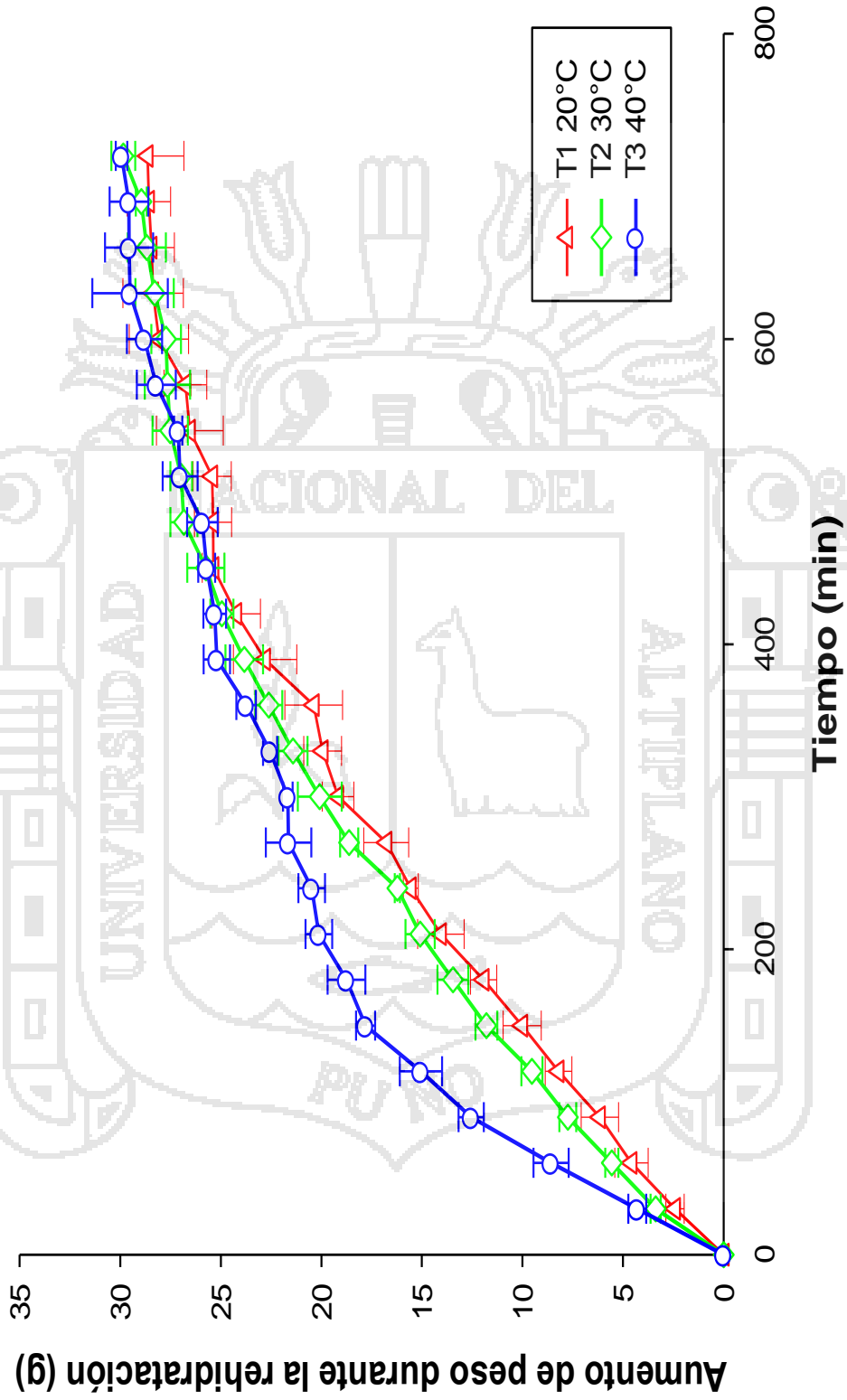


Fig 5. Curvas de rehidratación del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.

También se puede observar la influencia de la temperatura del agua de rehidratación en la ganancia de peso de los granos de haba, se observa que con el aumento de la temperatura, ocurre un incremento de la tasa de absorción inicial, intensificando así la dinámica del proceso de rehidratación de los granos de haba, resultados semejantes fueron observados para semillas de amaranto (Resio *et al.*, 2003 e 2005), arroz (Bello *et al.*, 2004), soja (Bayram *et al.*, 2004b). Y también que el tiempo en el que el grano de haba alcanza el punto de equilibrio es mucho menor al aumentar la temperatura del agua, o sea, el momento en que se suspende la entrada de agua a los materiales, se alcanza mucho más rápido.

Turhan *et al.* (2002), indica que a medida que el llenado del agua decrece, por la diferencia de concentración entre el medio de hidratación y los granos, la extracción de los sólidos solubles en la dirección reversa al movimiento del agua ofrece resistencia adicional a la transferencia del agua, la absorción se frena cuando los granos alcanzan el punto de equilibrio.

Se observa también que las curvas muestran un ascenso brusco en su primera etapa (hasta el minuto 360 aproximadamente) y conforme pasa el tiempo disminuye (minuto 390 al 600) la ganancia de peso equilibrándose al final de la rehidratación (minuto 600 al 720), lo mismo que es validado por Krokida y Marinos-Kouris (2003), en un trabajo realizado sobre el estudio de la cinética de rehidratación.

Bello *et al.* (2004), argumenta que este hecho puede ser atribuido a la rápida absorción de agua por los capilares externos del pericarpio, promoviendo así una rápida elevación del contenido de agua en el producto, tendiendo a disminuir con su saturación.

De la Figura 5 también se observa que la curva presentada por el tratamiento T3, rehidratación a 40°C, tiene un comportamiento diferenciado respecto a los demás tratamientos, siendo su tasa inicial de absorción más elevada que el resto.

4.3 AJUSTE AL MODELO DE PELEG

Se graficaron las curvas del modelado de la cinética de rehidratación a diferentes temperaturas.

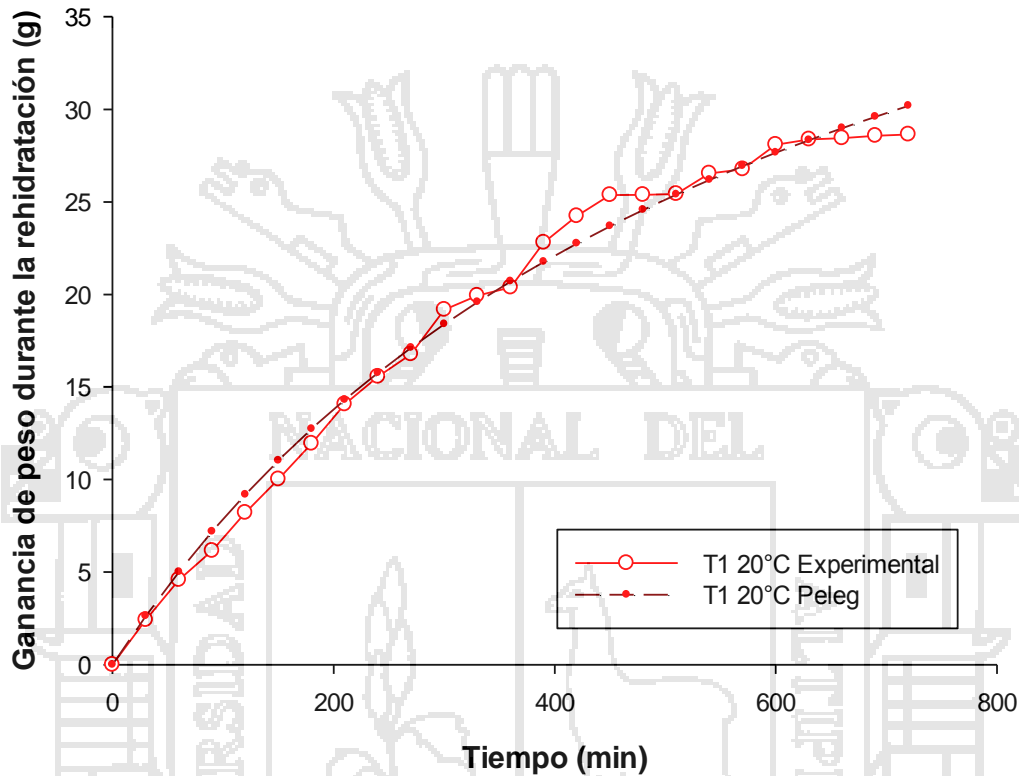


Fig 6. Modelado de la curva de rehidratación del grano de haba con el modelo de Peleg a una temperatura de 20 °C.

En la Figura 6 se muestra la curva de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Peleg, con una temperatura de rehidratación de 20°C. Con la ayuda del Software MATLAB 2013a, se ajustó la curva al modelo de Peleg, dado por la función $f(x) = y_0 + x / (k_1 + k_2 * x)$ resultando el ajuste con los siguientes datos: $k_1 = 0.1819$, $k_2 = 0.01796$, para $y_0 = 0$. La constante k_1 está relacionada con la transferencia de masa desde el principio del proceso de rehidratación y la constante k_2 es la constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua del grano de habas para un y_0 el cual simula el contenido de

humedad en un tiempo cero. Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva (con un 95% de límite de confianza). Suma de cuadrados debido al error ($SSE=15.81$), $R^2=0.9922$, R^2 ajustado = 0.9919 y el error estándar de la estimación $RMSE=0.829$. El coeficiente de correlación R^2 es próximo a 1 por lo que se tiene un comportamiento de relación directa en términos de proporcionalidad y de excelente exactitud para describir el modelo, además el $RMSE$ tiende a cero lo que nos indica un buen nivel en cuanto a precisión se refiere para el modelo.

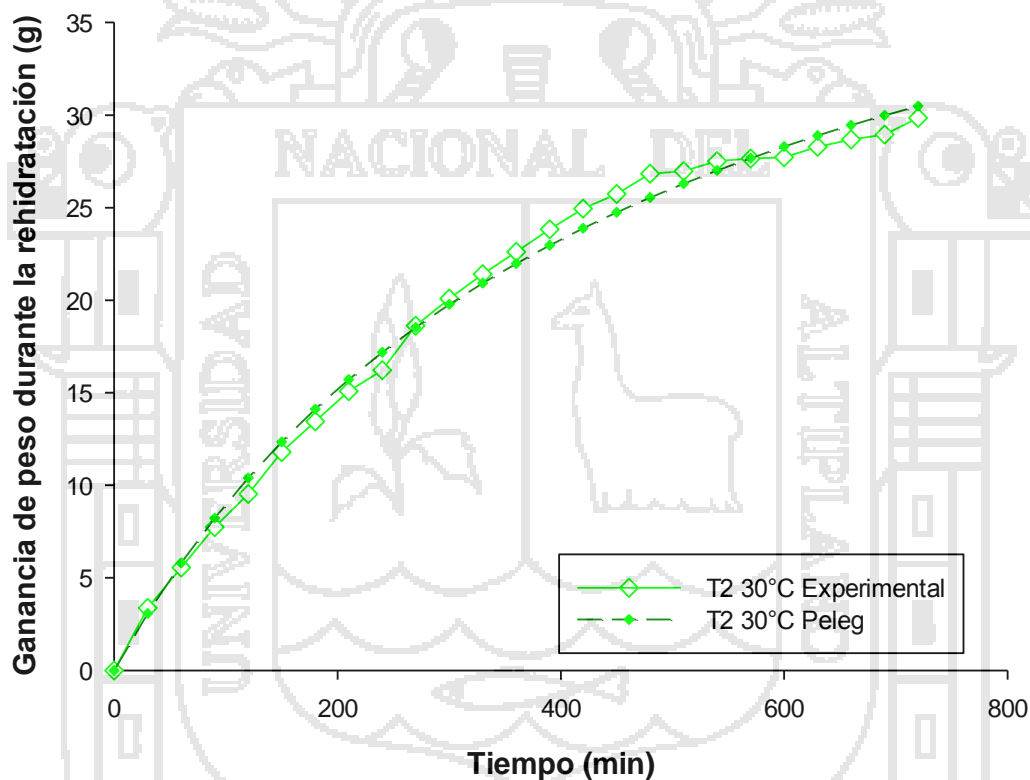


Fig 7. Modelado de la curva de rehidratación del grano de haba con el modelo de Peleg a una temperatura de 30 °C.

En la Figura 7 se muestra la curva de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Peleg, con una temperatura de hidratación de 30°C. Con la ayuda del Software MATLAB 2013a, se ajustó la curva al modelo de Peleg, dado por la función $f(x) = y_0 + x/(k_1 + k_2 * x)$ resultando el ajuste con los siguientes datos: $k_1 = 0.1522$, $k_2 = 0.02011$, para $y_0 = 0$. Se obtuvo

también la bondad de ajuste para la curva (con un 95% de límite de confianza). Suma de cuadrados debido al error ($SSE=11.95$), $R^2=0.9939$, R^2 ajustado = 0.9937 y el error estándar de la estimación $RMSE=0.7207$. El coeficiente de correlación indica que el ajuste es bueno lo que es confirmado por el error estándar de la estimación el cual se aproxima a cero.

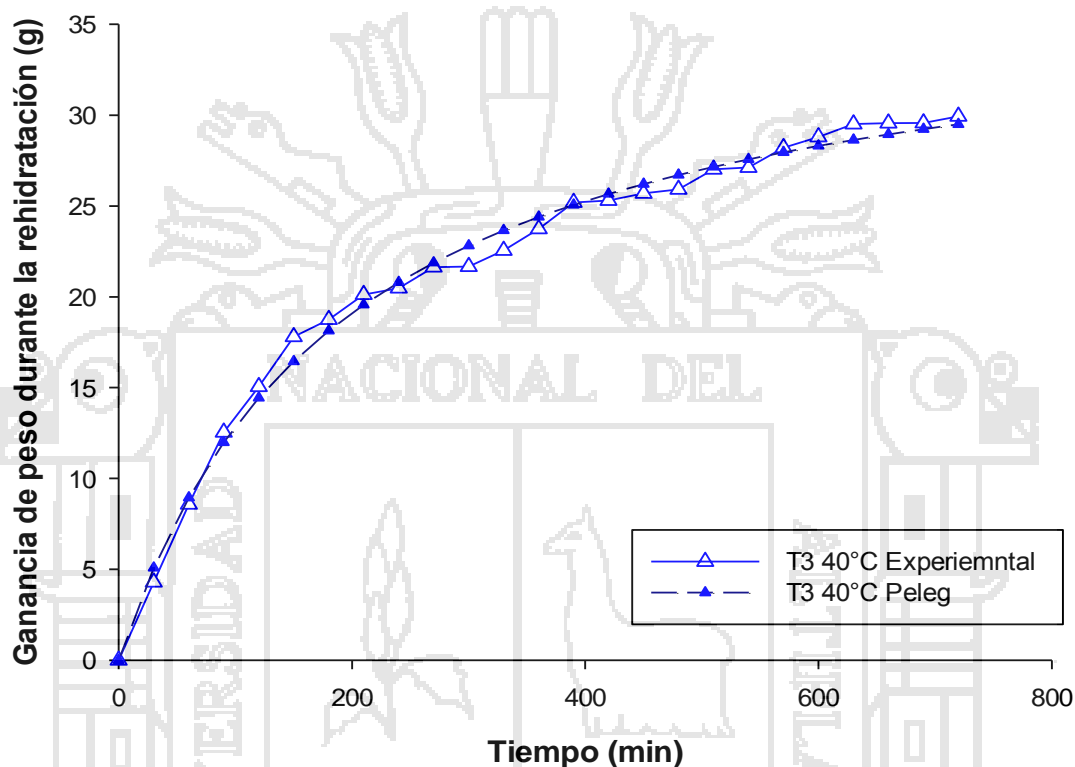


Fig 8. Modelado de la curva de rehidratación del grano de haba con el modelo de Peleg a una temperatura de 30 °C.

En la Figura 8 se muestra la curva de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Peleg, con una temperatura de hidratación de 40°C. Con la ayuda del Software MATLAB 2013a, se ajustó la curva al modelo de Peleg, dado por la función $f(x) = y_0 + x / (k_1 + k_2 * x)$ resultando el ajuste con los siguientes datos: $k_1 = 0.08493$, $k_2 = 0.02682$, para $y_0 = 0$. Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva (con un 95% de límite de confianza). Suma de cuadrados debido al error ($SSE=10.15$), $R^2= 0.9935$, R^2 ajustado = 0.9932 y el error estándar de la estimación $RMSE=0.6645$. El coeficiente de correlación indica que el ajuste

es bueno lo que es confirmado por el error estándar de la estimación el cual se aproxima a cero.

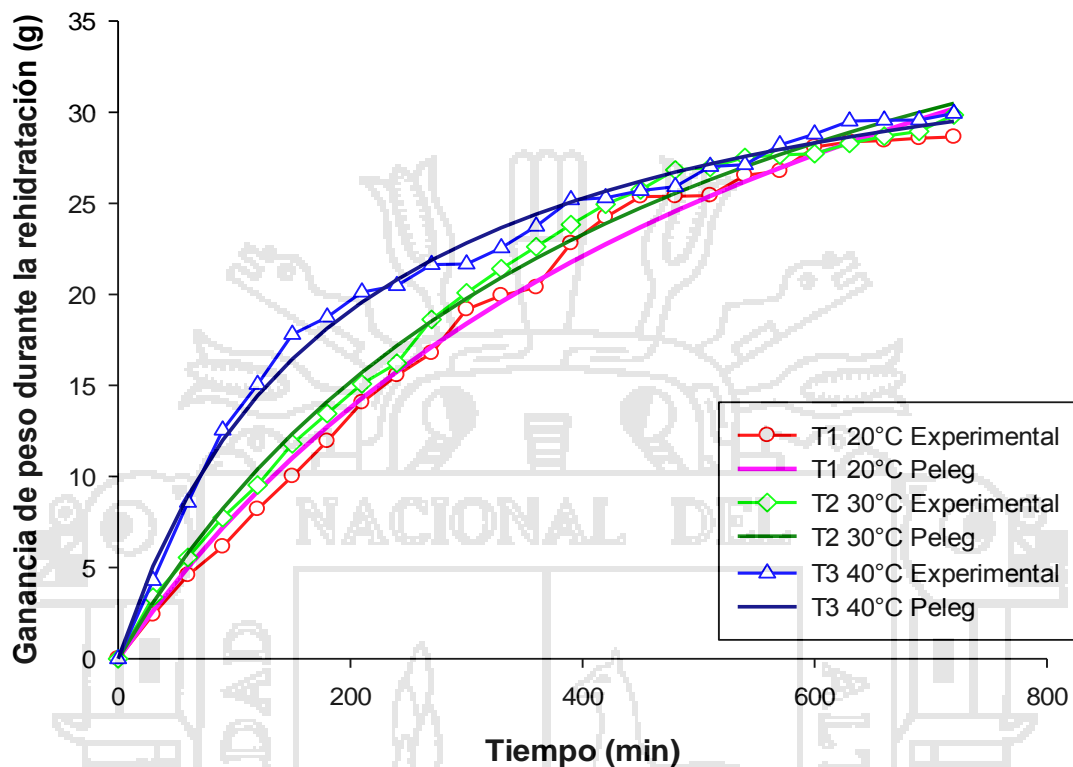


Fig 9. Ajuste de las curvas de rehidratación del grano de haba con el modelo de Peleg a temperaturas de 20, 30 y 40 °C.

A continuación en la Tabla 7 se presentan los resultados de las constantes, K_1 y K_2 , R^2 , SEE Y RMSE calculadas para las tres temperaturas de rehidratación:

Tabla 7. Resultados de las constantes k_1 , k_2 , R^2 , SSE y RMSE de los tres tratamientos

Temperatura (°C)	k_1	k_2	R^2	SSE	RMSE
20	0.1819	0.01796	0.9922	15.81	0.8290
30	0.1522	0.02011	0.9939	11.95	0.7207
40	0.0849	0.02682	0.9935	10.15	0.6645

De la Figura 9 y la Tabla 7 podemos afirmar que el tratamiento T3, referido a la rehidratación a 40°C, presenta un mejor ajuste al modelo de Peleg, seguido del tratamiento T2 (rehidratación a 30°C), y finalmente el T1 (rehidratación a 20°C). Los tres tratamientos al ser ajustados al modelo de Peleg presentan un RMSE próximo a cero Y un R^2 próximo a uno, por lo cual su ajuste es bueno.

4.3.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE k_1

A continuación en la Figura 10 se presenta gráficamente el comportamiento de la constante K_1 para las diferentes temperaturas del agua de remojo:

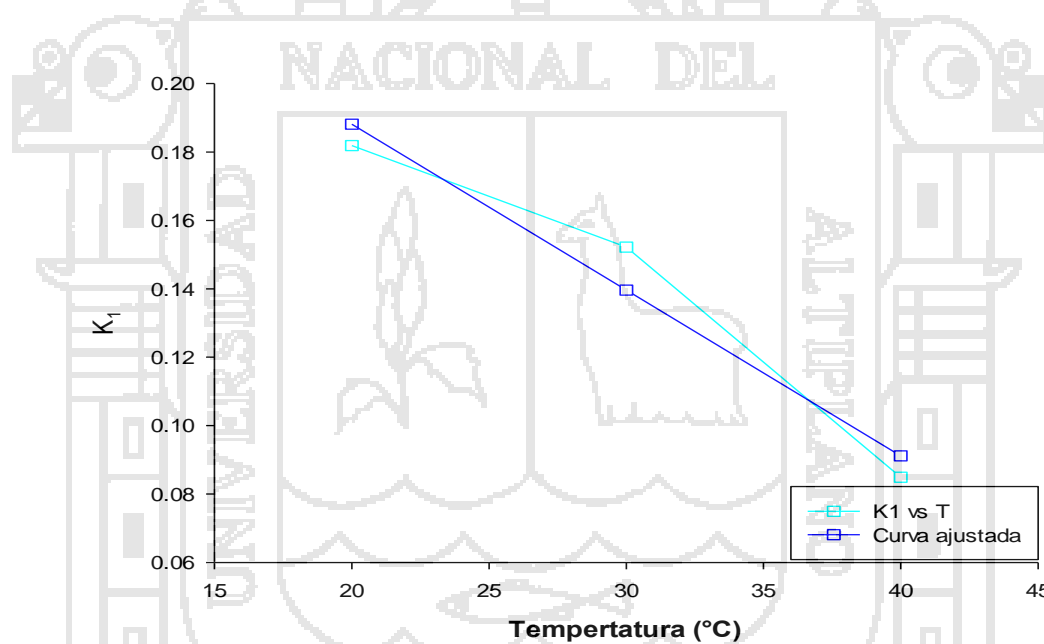


Fig 10. Efecto de la temperatura sobre k_1 para la hidratación del grano de haba.

En la Figura 10 se presenta la relación existente de la constante k_1 respecto a la temperatura, según Turhan *et al.* (2002), k_1 es una constante que se relaciona con la tasa de transferencia, por lo tanto a menos valor de k_1 mayor tasa inicial de absorción de agua, el decrecimiento de k_1 con el incremento de la temperatura sugiere un correspondiente incremento en la tasa inicial de absorción de agua.

Este comportamiento presentado por la constante K_1 en relación a la temperatura es comúnmente observado en trabajos de absorción de agua donde se aplicó el modelo de Peleg para describir la cinética de rehidratación desarrollados por (Resende y Correa, 2007; Abu-Ghannam y McKenna, 1997; Paredes *et al.*, 2012), soya (Fracasso *et al.*, 2010; Quicazán *et al.*, 2012), amaranto (Resio *et al.*, 2006), trigo (Maskan, 2002), y otros productos industrializados como macarrón (Cunningham *et al.*, 2007).

De acuerdo a la Figura 10 se verifica que la constante k_1 varió linealmente en función a la temperatura de rehidratación, para los granos de haba. Dado por $K_1 = -0.004849T + 0.2851$ (con un 95% de límite de confianza) y $R^2 = 0.9523$, $R^2_{ajustado} = 0.9047$, $RMSE = 0.01534$

4.3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE k_2

La constante k_2 de la ecuación de Peleg está relacionado con la capacidad máxima de absorción de agua. Cuanto menor sea su valor, mayor será la absorción de agua por el producto. Maskan (2002). En la Figura 11 se presenta gráficamente el comportamiento de la constante K_2 para las diferentes temperaturas del agua de remojo:

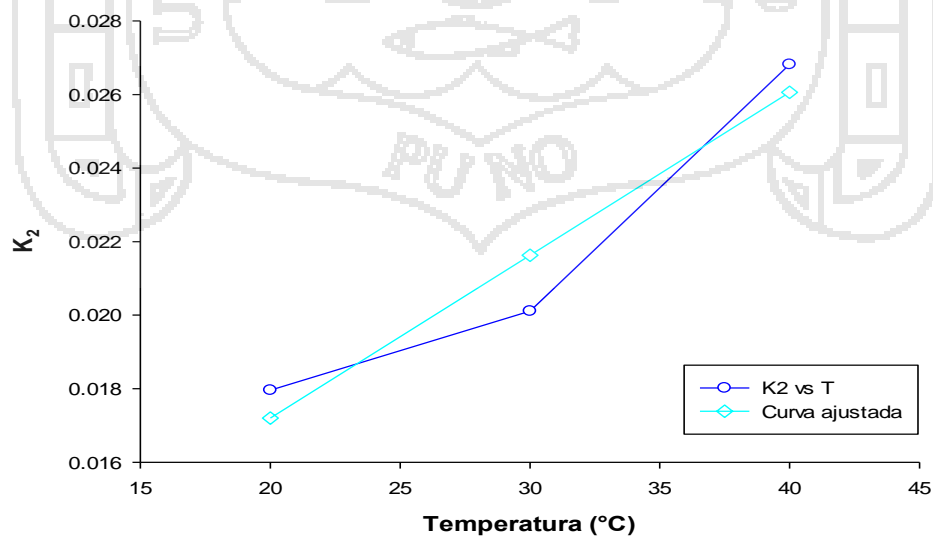


Fig 11. Efecto de la temperatura sobre k_2 para la hidratación del grano de haba.

De acuerdo a la Figura 11 se verifica que la constante k_2 varió linealmente en función a la temperatura de rehidratación, siendo su ecuación lineal igual a $K_2=0.000443T+0.00834$ (con un 95% de límite de confianza) y $R^2 = 0.9189$, $R^2_{ajustado} = 0.8377$, $RMSE = 0.001862$, el valor de la constante k_2 se comporta en forma directa a la temperatura de rehidratación, incrementando su valor al aumentar la temperatura, Esto es debido a la disminución de la capacidad de absorción de agua de los granos de haba con el aumento de temperatura, semejante comportamiento es hallado en el remojo garbanzo (Sayar *et al.*, 2001). Resultados contrarios fueron observados por (Pan y Tangatanavalee, 2003) para la soya, (Resio *et al.*, 2006) para amaranto, (Sopade y Kaimur, 1999) para los frijoles y (Maskan, 2002) para el trigo. Mientras que (Resende y Correa, 2007; Abu-Ghannam y McKenna, 1997; Paredes *et al.*, 2012), indican que k_2 es poco sensible a la temperatura, en su estudio sobre la cinética de hidratación de soja observaron que k_2 no presentaba variación en todas las temperaturas estudiadas. Por otro lado (Jideaniand y Mpotokwan, 2009) en el estudio para algunos frutos secos africanos encontraron que k_2 incrementa su valor con el aumento de la temperatura. Tales discrepancias en los valores de K_2 indican que el efecto de la temperatura en la capacidad de absorción de agua de los materiales alimenticios es combinado y depende de su naturaleza. (Turhan *et al.*, 2002).

Usando el modelo de Peleg con sus constantes en función de la temperatura de rehidratación, el contenido de agua de los granos de haba durante la rehidratación puedes ser estimado por medio de la siguiente expresión:

$$U_t = U_o + \frac{t}{0.2851 - 0.004849T + (0.000443T + 0.00834)t} \quad (13)$$

Donde:

U_o : Masa inicial (g).

T : Temperatura de hidratación (°C).

t : Tiempo de hidratación (h).

U_t : Masa después del tiempo t (g).

4.3.3 CALCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACION

La obtención de la energía de activación a partir del modelo de Peleg se realizó representando $\ln(1/k_1)$ frente la inversa de la temperatura, $1/T$ (K^{-1}), el cual se muestra en la Figura 12.

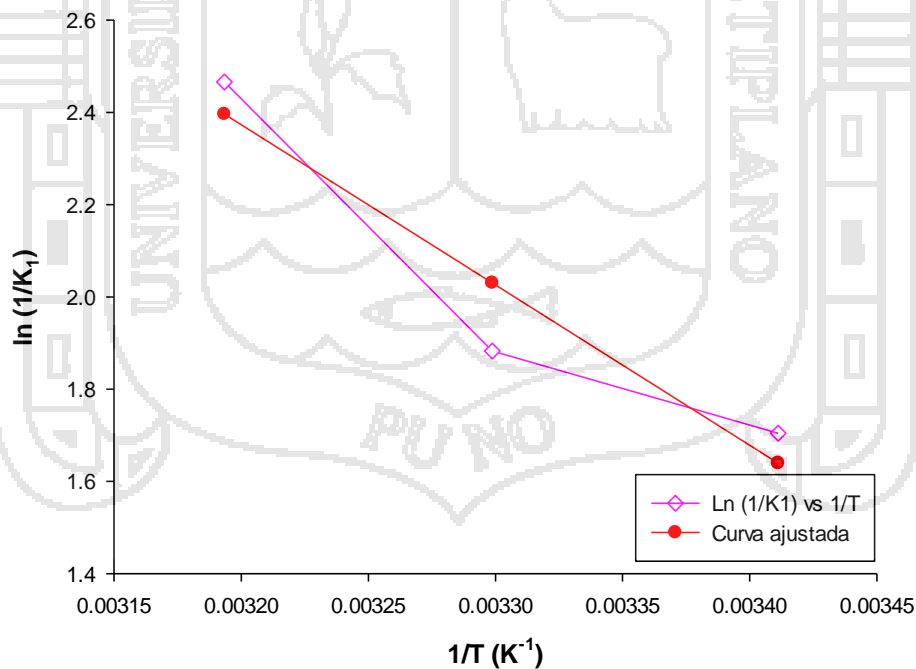


Fig 12. Ajuste lineal de $\ln(1/k_1)$ frente a $1/T$ (K^{-1}).

La energía de activación se calculó a partir de la pendiente de la línea recta que resulta al graficar el $\ln(1/K_1)$ contra el recíproco de la temperatura, $1/T$ (Maskan *et al.*, 2002). La Figura 12 presenta la relación lineal entre $\ln(1/K_1)$ y $1/T$. Con la siguiente ecuación lineal $\ln(1/K_1) = -3474(1/T) + 13.49$ (con un 95% de límite de confianza) y $R^2 = 0.9028$, $RMSE = 0.1756$; comparando con la ecuación (6), se tiene que la pendiente negativa de la recta es igual a -3474 , igualando a E_a/R se obtiene que la energía de activación para los granos de haba es igual a $E_a = 28.88 \text{ KJ/mol}$, el cual se encuentra en el rango general de 15 a 40 KJ/mol para varios alimentos (Rizvi, 2005), energías de activación bajas se traducen en una mayor facilidad para que el agua ingrese dentro del material (Gowen *et al.*, 2007).



4.4 DIFERENCIAL DE AREA FRONTAL (cm²)

A continuación se muestran los valores promedios de la variación del área frontal de los granos de haba en función del tiempo, sometidos a tres temperaturas de rehidratación 20,30 y 40 °C.

Tabla 8. Resultados del diferencial de Área Frontal a temperaturas de 20, 30 y 40°C

Tiempo (min)	T1 20°C	T2 30°C	T3 40°C
0	0	0	0
30	0.157±0.023	0.277±0.112	0.317±0.164
60	0.291±0.141	0.450±0.042	0.992±0.065
90	0.522±0.032	0.728±0.091	1.597±0.359
120	0.740±0.344	0.965±0.230	1.628±0.215
150	0.906±0.258	1.327±0.261	1.925±0.060
180	1.041±0.493	1.515±0.223	1.953±0.253
210	1.409±0.311	1.521±0.268	2.004±0.135
240	1.519±0.156	1.570±0.056	2.171±0.084
270	1.667±0.276	1.899±0.318	2.194±0.140
300	1.903±0.198	1.940±0.204	2.058±0.115
330	1.835±0.256	1.887±0.103	2.230±0.137
360	1.923±0.249	1.887±0.294	2.291±0.109
390	2.077±0.161	2.103±0.410	2.311±0.152
420	2.064±0.477	2.202±0.308	2.235±0.163
450	1.983±0.230	2.287±0.030	2.288±0.155
480	2.195±0.082	2.234±0.511	2.322±0.182
510	2.119±0.127	2.144±0.277	2.289±0.009
540	2.260±0.086	2.262±0.229	2.312±0.027
570	2.192±0.303	2.327±0.102	2.418±0.372
600	2.222±0.122	2.274±0.082	2.502±0.261
630	2.213±0.110	2.511±0.091	2.675±0.167
660	2.351±0.078	2.428±0.164	2.505±0.245
690	2.201±0.068	2.305±0.180	2.572±0.297
720	2.277±0.260	2.361±0.091	2.401±0.172

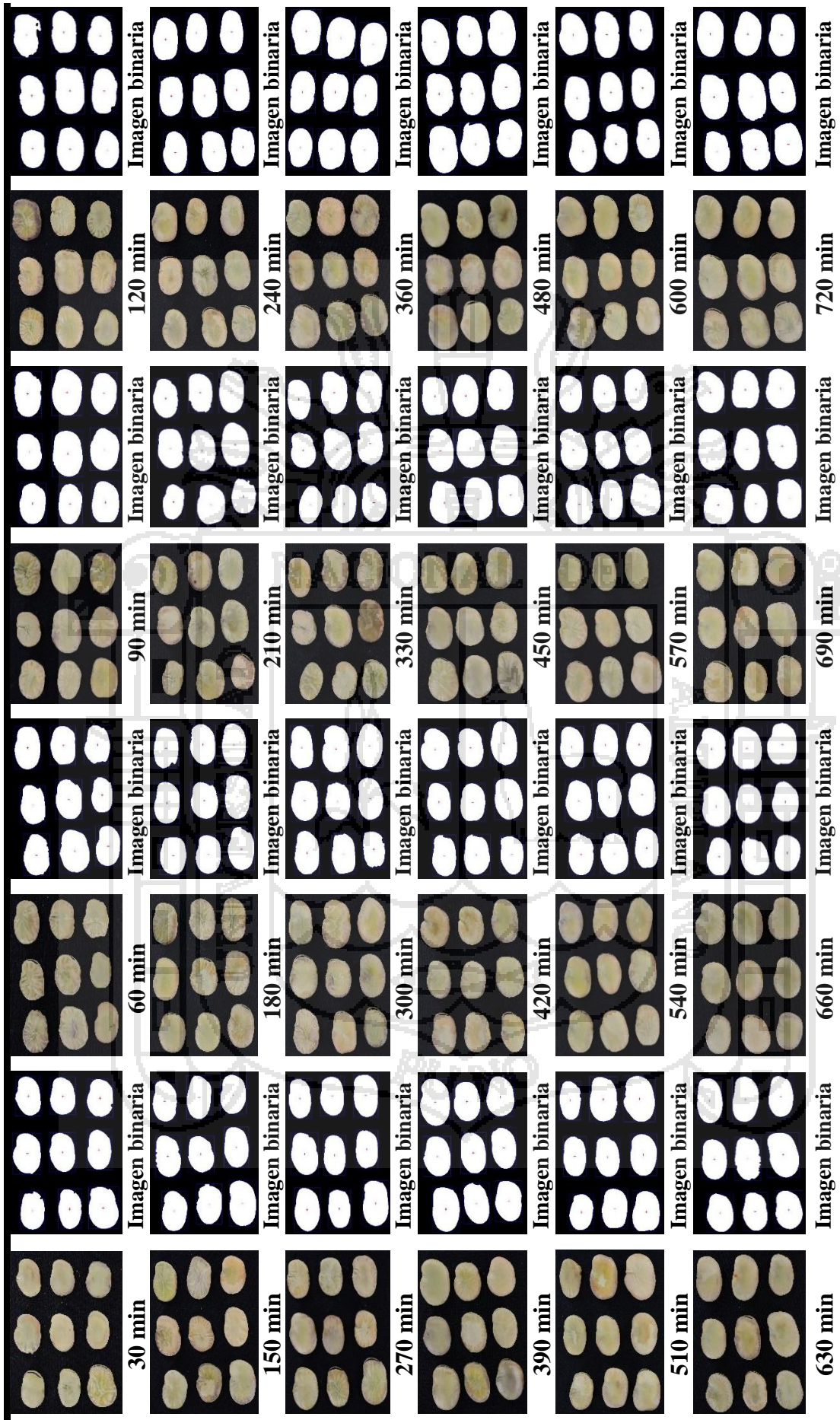


Fig 13. Imágenes digitales obtenidas de forma frontal e imágenes binarias de los granos de haba a diferentes tiempos de rehidratación.

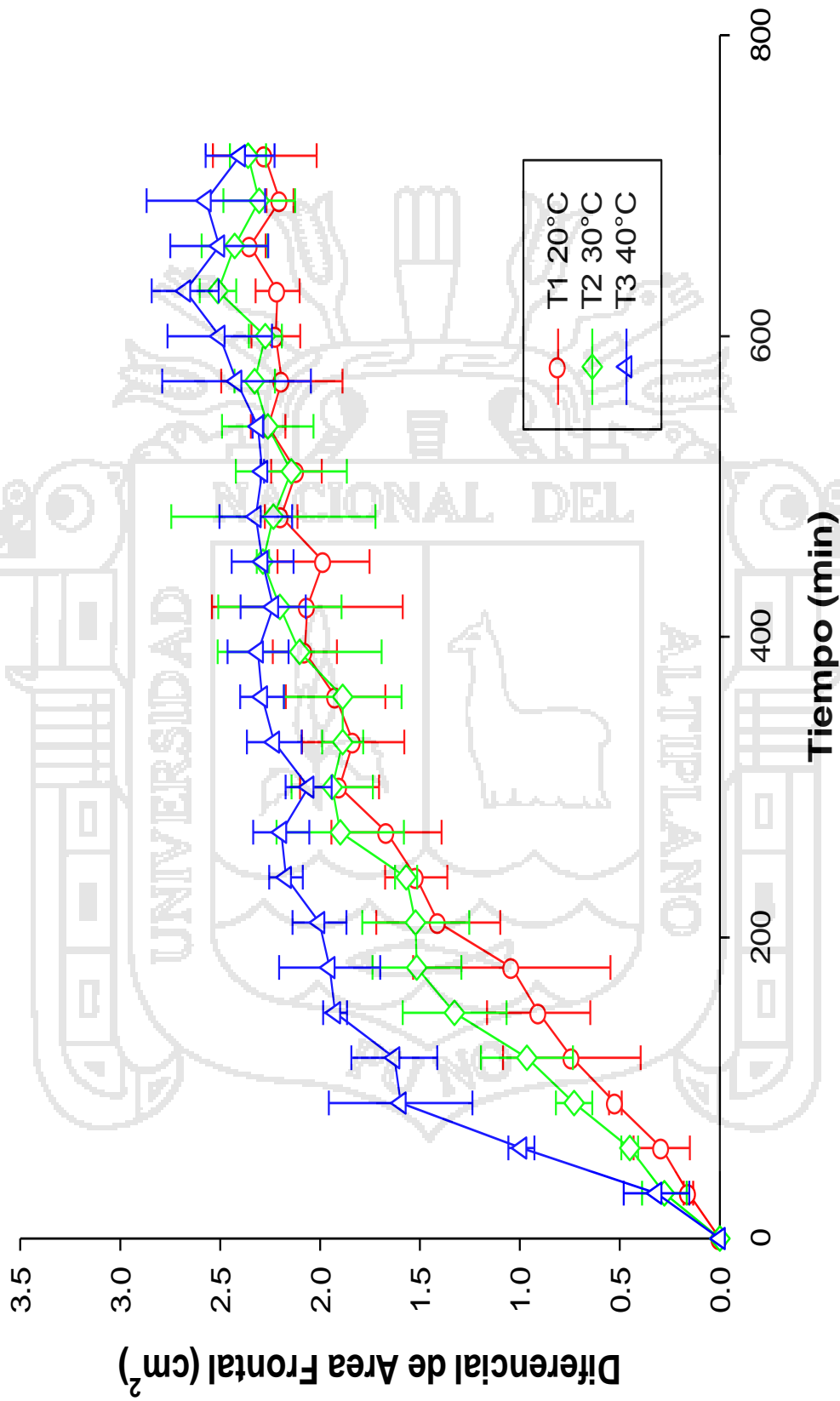


Fig 14. Curvas de diferencial de Área Frontal del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.

En la Tabla 8 y Figura 14 se observa, que durante los primeros 270 minutos de rehidratación de los granos de haba en las tres temperaturas, presenta un rápido aumento del área frontal, en este periodo los granos de haba rehidratados a 40°C alcanzaron un mayor incremento de su área frontal (diferencial de área frontal = 2,194 cm²), seguido por los granos rehidratados a 30°C (diferencial de área frontal = 1,899 cm²) y finalmente los granos de haba rehidratados a 20°C (diferencial de área frontal = 1.667cm²); luego de ese tiempo hasta los 510 minutos de rehidratación presenta un aumento poco creciente del área frontal, en este periodos los granos de haba para las tres temperaturas de rehidratación presentan una dinámica lenta en el incremento de su área frontal; en el intervalo de tiempo de 510 a 720 minutos presenta una estabilidad en el incremento de su área frontal para las tres temperaturas de rehidratación.

En la Tabla 9 se presenta el análisis de varianza (ANVA) para el área frontal, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el factor temperatura, el factor tiempo y la interacción. Esto implica que existe dependencia de los factores temperatura y tiempo de rehidratación en el incremento del Área Frontal con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 9. Análisis de Varianza (ANVA) para el área frontal

F. de V.	G. L.	SC	CM	Fc	Significancia
Temperatura (A)	2	6.764	3.382	72.82	**
Tiempo (B)	24	106.241	4.426	95.30	**
A x B	48	4.38204	0.0912	1.97	**
Error experimental	150	6.967	0.046		
Total corregido	224	124.356			

Para el factor temperatura se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan (ver Tabla 10). Se distingue que el grano de haba rehidratado a 40°C presenta mayor incremento de la diferencial de Área Frontal seguido de la rehidratación a 30°C y por último la rehidratación a 20°C.

Tabla 10. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el área frontal según temperatura, $\alpha=0.05$

Temperatura	N	Media	
20	75	1.5785±0.7672	a
30	75	1.7402±0.7367	b
40	75	1.9995±0.6764	c

En la Tabla 10 los resultados nos indican que existe diferencia significativa entre las temperaturas de rehidratación, esto implica que estas influyen en la variación del área frontal.

En la Tabla 11, se observa que entre los tiempos 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos, donde hay un incremento rápido del área frontal, si existe una diferencia significativa. Entre los tiempos del 270 a los 510 minutos, donde el incremento del área frontal tiende a disminuir, no existen diferencias significativas. Y entre los tiempos del 510 al 720, donde el área frontal no presenta un incremento, no existen diferencias significativas. Esto significa que en los primeros minutos existe un incremento acelerado del área frontal, que luego empieza a disminuir y finalmente a mantenerse estable.

Tabla 11. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el área frontal según el tiempo, $\alpha=0.05$

TIEMPO	N	Media	Grupos Homogéneos
0	9	0	a
30	9	0.25005±0.0833	b
60	9	0.57784±0.3678	c
90	9	0.94895±0.5706	d
120	9	1.04422±0.3511	d
150	9	1.38582±0.5123	e
180	9	1.53622±0.4611	ef
210	9	1.64448±0.3160	f
240	9	1.61980±0.5278	f
270	9	1.92025±0.2642	g
300	9	1.96684±0.0810	gh
330	9	1.98399±0.2145	gh
360	9	1.96699±0.2921	gh
390	9	2.16330±0.1283	hi
420	9	2.16698±0.0906	hi
450	9	2.18588±0.1756	hi
480	9	2.25030±0.0648	ij
510	9	2.18395±0.0921	hi
540	9	2.27779±0.0292	ij
570	9	2.31250±0.1141	ij
600	9	2.33274±0.1491	ij
630	9	2.46632±0.2341	j
660	9	2.42777±0.0771	j
690	9	2.35934±0.1913	ij
720	9	2.34629±0.0632	ij

4.5 DIFERENCIAL DE AREA LATERAL (cm²)

A continuación se muestran los valores promedios de la variación del área lateral de los granos de haba en función del tiempo, sometidos a tres temperaturas de rehidratación 20,30 y 40 °C.

Tabla 12. Resultados del diferencial de Área Lateral a temperaturas de 20, 30 y 40°C

Tiempo (min)	T1 20°C	T2 30°C	T3 40°C
0	0	0	0
30	0.104±0.024	0.325±0.190	0.386±0.062
60	0.195±0.137	0.379±0.007	0.841±0.106
90	0.363±0.038	0.474±0.140	1.179±0.272
120	0.460±0.194	0.643±0.091	1.187±0.141
150	0.489±0.217	0.894±0.214	1.377±0.051
180	0.789±0.299	1.028±0.164	1.559±0.135
210	1.012±0.212	1.036±0.021	1.575±0.168
240	1.044±0.185	1.040±0.054	1.743±0.103
270	1.205±0.187	1.290±0.204	1.701±0.086
300	1.221±0.241	1.360±0.213	1.689±0.024
330	1.186±0.070	1.418±0.037	1.751±0.088
360	1.160±0.158	1.352±0.292	1.748±0.036
390	1.434±0.133	1.652±0.266	1.898±0.129
420	1.589±0.272	1.511±0.251	1.820±0.120
450	1.602±0.189	1.652±0.066	1.879±0.192
480	1.678±0.063	1.684±0.207	1.906±0.069
510	1.622±0.207	1.655±0.192	1.861±0.217
540	1.576±0.261	1.779±0.108	1.938±0.012
570	1.758±0.174	1.784±0.337	1.887±0.228
600	1.765±0.119	1.827±0.188	2.044±0.155
630	1.785±0.023	1.879±0.055	2.095±0.085
660	1.779±0.166	1.949±0.244	2.027±0.044
690	1.820±0.044	1.829±0.106	2.011±0.065
720	1.746±0.074	1.794±0.218	2.045±0.015



Fig 15. Imágenes digitales obtenidas de forma lateral e imágenes binarias de los granos de haba a diferentes tiempos de rehidratación.

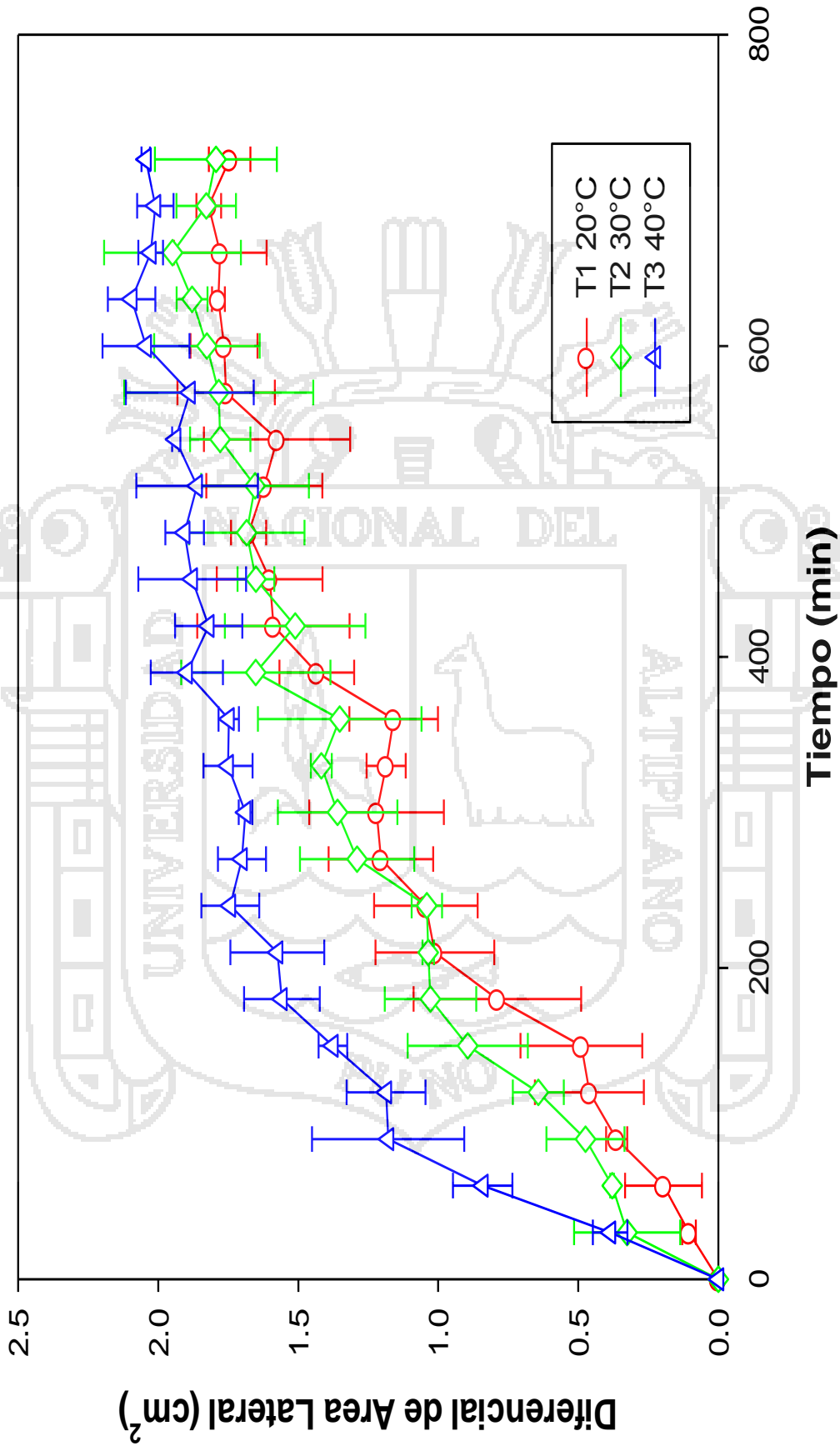


Fig 16. Curvas de diferencial de Área Lateral del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C

En la Tabla 12 y Figura 16 se observa, que durante los primeros 180 minutos de rehidratación de los granos de haba, presenta un rápido aumento del área lateral para las tres temperaturas, en este periodo los granos de haba rehidratados a 40°C alcanzaron un mayor incremento de su área lateral (diferencial de área lateral = 1.559 cm²), seguido por los granos rehidratados a 30°C (diferencial de área lateral = 1.028 cm²) y finalmente los granos de haba rehidratados a 20°C (diferencial de área lateral = 0.789 cm²); luego de ese tiempo hasta los 570 minutos de rehidratación presenta un aumento poco creciente del área lateral, en este periodo los granos de haba para las tres temperaturas de rehidratación presentan una dinámica lenta en el incremento de su área lateral; en el intervalo de tiempo de 570 a 720 minutos presenta una estabilidad en el incremento de su área lateral para las tres temperaturas de rehidratación.

En la Tabla 13 se presenta el análisis de varianza (ANVA) para el Área lateral, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el factor temperatura, el factor tiempo y la interacción. Esto implica que existe dependencia de los factores temperatura y tiempo de rehidratación en el incremento del Área Lateral con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 13. Análisis de Varianza (ANVA) para el área lateral

F. de V.	G. L.	SC	CM	Fc	Significancia
Temperatura (A)	2	7.88038	3.94019	153.16	**
Tiempo (B)	24	65.4208	2.72587	105.95	**
A x B	48	2.61975	0.0545782	2.12	**
Error experimental	150	3.859	0.0257267		
Total corregido	224	79.78			

Tabla 14. Prueba de comparación múltiple de Duncan
para el área lateral según temperatura, $\alpha=0.05$.

Temperatura	N	Media	
20	75	1.1593±0.6027	a
30	75	1.2933±0.5724	b
40	75	1.6060±0.5297	c

En la Tabla 14, se presentan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor temperatura, los cuales nos indican que existe diferencia significativa entre las temperaturas de rehidratación, esto implica que estas influyen en la variación del área lateral. Se distingue que el grano de haba rehidratado a 40°C presenta mayor incremento de la diferencial de Área Lateral seguido de la rehidratación a 30°C y por último la rehidratación a 20°C.

En la Tabla 15, se observa que entre los tiempos 30, 60, 90 y 180 minutos, donde hay un incremento rápido del área lateral, si existe una diferencia significativa. Entre los tiempos del 180 a los 570 minutos, donde el incremento del área lateral tiende a disminuir, no existen diferencias significativas. Y entre los tiempos del 570 al 720, donde el área lateral no presenta un incremento, no existen diferencias significativas. Esto significa que en los primeros minutos existe un incremento acelerado del área lateral, que luego empieza a disminuir y finalmente a mantenerse estable.

Tabla 15. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el área lateral según tiempo, $\alpha=0.05$.

TIEMPO	N	Media	Grupos Homogéneos
0	9	0	a
30	9	0.27181±0.327	b
60	9	0.47174±0.207	c
90	9	0.67199±0.438	d
120	9	0.76317±0.145	d
150	9	0.92005±0.233	e
180	9	1.15845±0.154	f
210	9	1.20762±0.285	f
240	9	1.20918±0.435	f
270	9	1.39867±0.213	g
300	9	1.42300±0.178	g
330	9	1.45162±0.256	g
360	9	1.42006±0.321	g
390	9	1.66140±0.196	h
420	9	1.64013±0.188	h
450	9	1.64430±0.156	h
480	9	1.75600±0.132	hij
510	9	1.71256±0.231	hi
540	9	1.76445±0.453	hij
570	9	1.80974±0.367	hij
600	9	1.87867±0.213	ij
630	9	1.92003±0.145	j
660	9	1.91846±0.245	j
690	9	1.88648±0.164	j
720	9	1.86156±0.346	ij

Tanto el área frontal como el área lateral se incrementaron a medida que aumentaba el tiempo de rehidratación, esto es consecuencia de que los granos de haba absorben el agua, incrementando así su humedad, los investigadores Garnayak *et al.* (2008), Karababa (2006), Dursun y Dursun (2005) y Selvi *et al.* (2006); reportaron un incremento de las áreas con el incremento de la humedad, de las semillas de jatropha, maíz “reventón o popcorn” (*Zea Mays*), alcaparra y lino, respectivamente; los anteriores autores mencionan que las áreas se incrementan por que las semillas aumentan de volumen.

Los investigadores Dursun y Dursun (2005) en semillas de alcaparra y Cetin (2007) en frijol, manifiestan que el incremento de la humedad dilata las estructuras celulares de la semilla aumentando su tamaño dando origen a una mayor área frontal y una mayor área lateral.

De las Figuras 14 y 16, vemos que el incremento del área frontal fue mayor al incremento del área lateral para las tres temperaturas de rehidratación, además las curvas tanto del área frontal como del área lateral para las tres temperaturas, tienen un comportamiento similar, a un inicio un incremento rápido, luego el incremento decrece, y finalmente permanece estable, esto último sucede porque los granos de haba llegaron a obtener su humedad de equilibrio. Para ambos casos la curva de incremento de área para la temperatura de 40°C, describe un comportamiento diferenciado a comparación de las curvas de las temperaturas 20 y 30°C.

Rojas (2011), indican que, los valores en los diferentes planos están influenciados directamente por la forma de la semilla (elipsoide) y el incremento del área proyecta por la humedad se debe a un dilatamiento volumétrico de la semilla ocasionado por cambios estructurales de la matriz de las proteínas y almidones que hacen parte de la estructura de la semilla.

4.6 DIFERENCIAL DE LAS DIMENSIONES ORTOGONALES

4.6.1 DIFERENCIAL DE LONGITUD

A continuación se muestran los valores promedios de la variación de la Longitud de los granos de haba en función del tiempo, sometidos a tres temperaturas de rehidratación.

Tabla 16. Resultados del diferencial de la Longitud a temperaturas de 20, 30 y 40°C

Tiempo (min)	T1 20°C	T2 30°C	T3 40°C
30	0.048±0.015	0.086±0.012	0.089±0.039
60	0.094±0.026	0.122±0.010	0.244±0.015
90	0.129±0.034	0.194±0.020	0.382±0.072
120	0.219±0.055	0.251±0.062	0.392±0.051
150	0.242±0.051	0.335±0.049	0.443±0.001
180	0.283±0.110	0.381±0.058	0.463±0.038
210.	0.359±0.066	0.372±0.065	0.471±0.043
240	0.362±0.050	0.389±0.027	0.513±0.030
270	0.402±0.040	0.456±0.026	0.512±0.020
300	0.439±0.044	0.470±0.043	0.500±0.034
330	0.449±0.057	0.444±0.030	0.552±0.046
360	0.420±0.073	0.473±0.062	0.549±0.021
390	0.480±0.009	0.512±0.102	0.561±0.031
420	0.492±0.085	0.516±0.081	0.551±0.031
450	0.471±0.058	0.548±0.049	0.568±0.054
480.	0.517±0.025	0.527±0.078	0.560±0.043
510	0.534±0.053	0.513±0.029	0.539±0.030
540	0.560±0.009	0.514±0.041	0.559±0.006
570	0.518±0.064	0.555±0.016	0.588±0.085
600	0.547±0.009	0.575±0.033	0.591±0.053
630	0.538±0.034	0.605±0.015	0.604±0.002
660	0.574±0.026	0.574±0.029	0.598±0.065
690	0.555±0.008	0.568±0.043	0.642±0.041
720	0.554±0.060	0.562±0.041	0.572±0.023

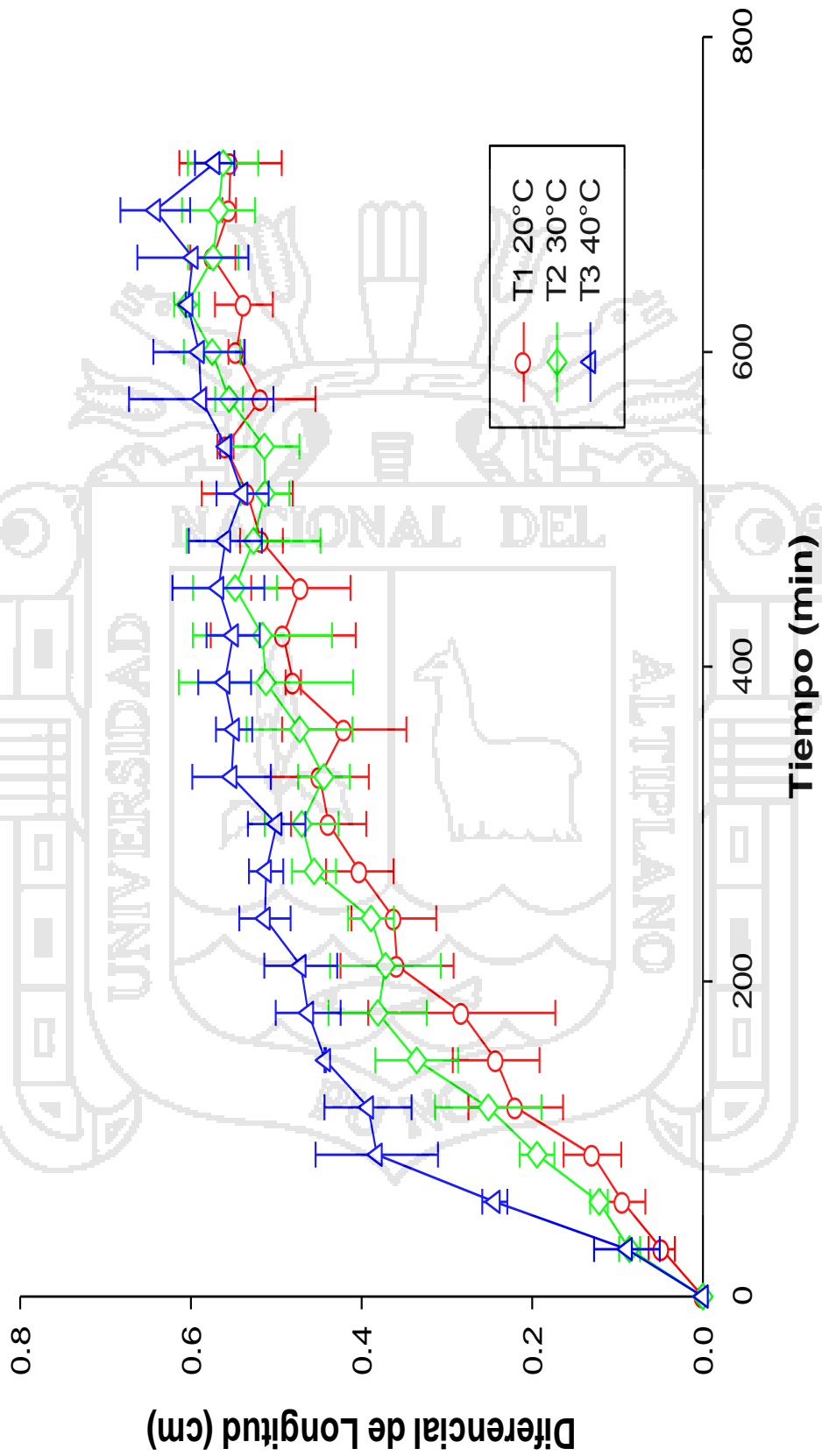


Fig 17. Curvas de diferencial de Longitud del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.

En la Tabla 17 se presenta el análisis de varianza (ANVA) para el incremento de la Longitud, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el factor temperatura, el factor tiempo y la interacción. Esto implica que existe dependencia de los factores temperatura y tiempo de rehidratación en el incremento de la Longitud de los granos de haba con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 17. Análisis de Varianza (ANVA) para la longitud

F. de V.	G. L.	SC	CM	Fc	Significancia
Temperatura (A)	2	0.326	0.163	75.85	**
Tiempo (B)	24	5.904	0.246	114.49	**
A x B	48	0.214	0.004	2.08	**
Error Experimental	150	0.322	0.002		
Total corregido	224	6.766			

Tabla 18. Prueba de comparación múltiple de Duncan para la longitud según temperatura, $\alpha=0.05$.

Temperatura	N	Media	
20	75	0.3875±0.1795	a
30	75	0.4218±0.1707	b
40	75	0.4797±0.1602	c

En la Tabla 18, se presentan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor temperatura, los cuales nos indican que existe diferencia significativa entre las temperaturas de rehidratación, esto implica que estas influyen en la incremento de la longitud.

En la Tabla 19, se presentan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor tiempo, en el cual se observa que existe una diferencia significativa en el incremento de la Longitud entre los tiempos 30, 60,90, 150 y 210 minutos, mientras

que en los tiempos de 210 a 720 minutos, no existe diferencia estadísticamente significativa. Esto significa que en los primeros minutos existe un incremento acelerado de la Longitud, que luego empieza a disminuir y finalmente a mantenerse estable.

Tabla 19. Prueba de comparación múltiple de Duncan para la longitud según el tiempo, $\alpha=0.05$.

TIEMPO	N	Media	Grupos Homogéneos
0	9	0	a
30	9	0.074299	b
60	9	0.153067	c
90	9	0.235266	d
120	9	0.271052	d
150	9	0.340053	e
180	9	0.375414	ef
210	9	0.400641	f
240	9	0.388182	f
270	9	0.456658	g
300	9	0.469551	g
330	9	0.481910	gh
360	9	0.480810	gh
390	9	0.517603	hi
420	9	0.519566	hi
450	9	0.529133	hij
480	9	0.534637	ijk
510	9	0.528970	hij
540	9	0.544283	ijkl
570	9	0.553825	ijkl
600	9	0.570898	jkl
630	9	0.582319	kl
660	9	0.582053	kl
690	9	0.588278	l
720	9	0.562824	ijkl

4.6.2 DIFERENCIAL DE ANCHO (cm)

A continuación se muestran los valores promedios de la variación del Ancho de los granos de haba en función del tiempo, sometidos a tres temperaturas de rehidratación 20,30 y 40 °C.

Tabla 20. Resultados del diferencial de Ancho a temperaturas de 20, 30 y 40°C

Tiempo (min)	T1 20°C	T2 30°C	T3 40°C
0	0	0	0
30	0.030±0.003	0.049±0.030	0.062±0.040
60	0.047±0.030	0.085±0.006	0.200±0.024
90	0.105±0.013	0.142±0.018	0.316±0.072
120	0.128±0.080	0.184±0.043	0.338±0.053
150	0.176±0.060	0.256±0.055	0.390±0.020
180	0.198±0.111	0.310±0.035	0.388±0.049
210	0.276±0.070	0.301±0.056	0.399±0.019
240	0.292±0.031	0.310±0.014	0.436±0.008
270	0.306±0.062	0.368±0.076	0.431±0.021
300	0.374±0.028	0.366±0.034	0.408±0.014
330	0.356±0.056	0.358±0.036	0.424±0.020
360	0.383±0.038	0.370±0.042	0.452±0.039
390	0.411±0.035	0.398±0.073	0.445±0.029
420	0.418±0.090	0.436±0.053	0.429±0.030
450	0.390±0.051	0.439±0.011	0.437±0.011
480	0.422±0.020	0.435±0.087	0.444±0.031
510	0.406±0.010	0.420±0.066	0.458±0.012
540	0.432±0.024	0.456±0.032	0.448±0.014
570	0.421±0.036	0.444±0.009	0.463±0.056
600	0.432±0.018	0.430±0.009	0.481±0.046
630	0.423±0.025	0.467±0.002	0.517±0.015
660	0.445±0.006	0.458±0.019	0.480±0.040
690	0.430±0.028	0.439±0.021	0.481±0.069
720	0.435±0.029	0.471±0.016	0.459±0.035

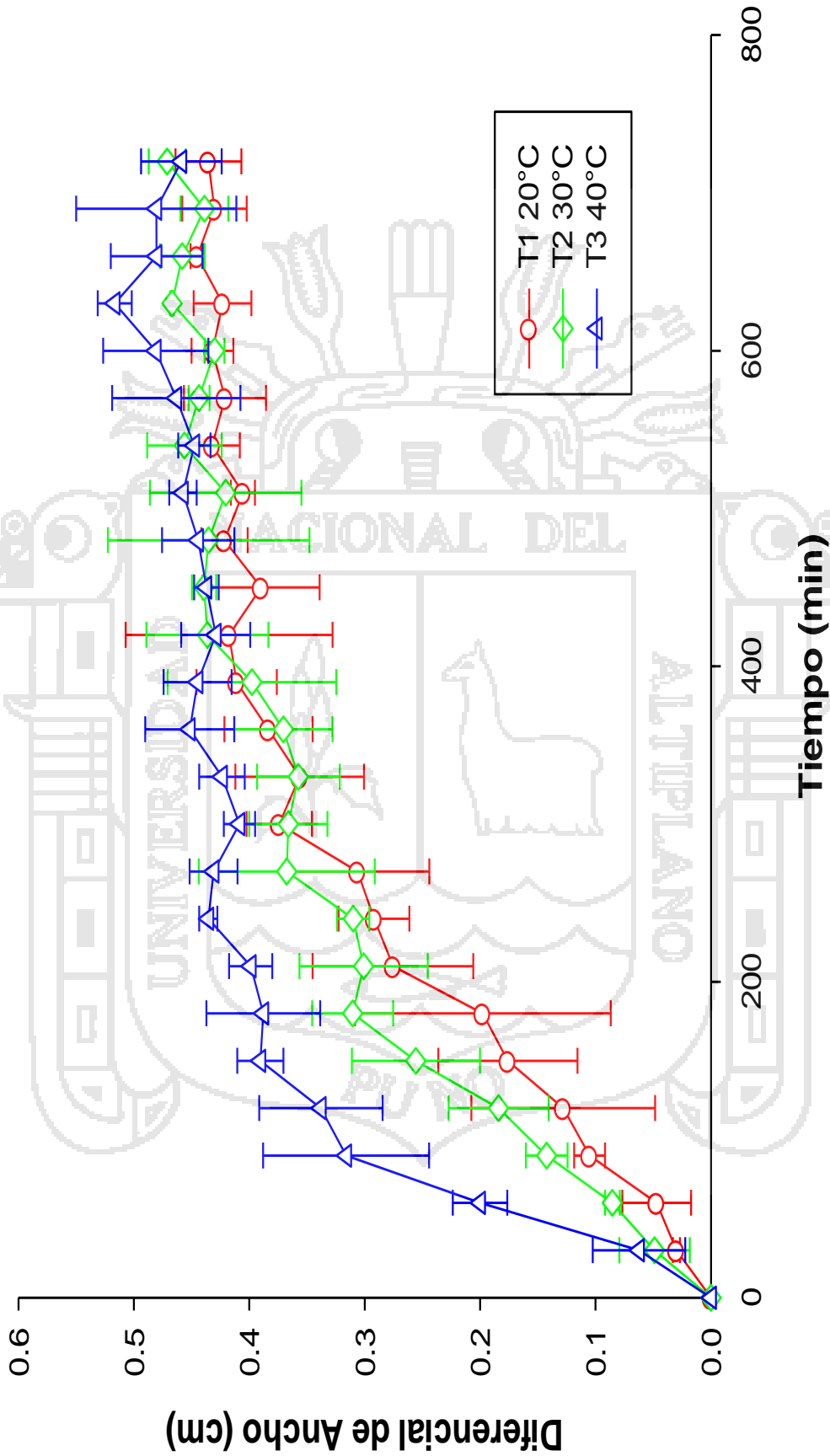


Fig 18. Curvas de diferencial de Ancho del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.

En la Tabla 21 se presenta el análisis de varianza (ANVA) para el incremento del Ancho de los granos de haba, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el factor temperatura, el factor tiempo y la interacción. Esto implica que existe dependencia de los factores temperatura y tiempo de rehidratación en el incremento del Ancho con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 21. Análisis de Varianza (ANVA) para el Ancho

F. de V.	G. L.	SC	CM	Fc	Significancia
Temperatura (A)	2	0.280	0.140	80.78	**
Tiempo (B)	24	3.914	0.163	93.78	**
A x B	48	0.204	0.004	2.44	**
Error experimental	150	0.260	0.001		
Total corregido	224	4.660			

Tabla 22. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el ancho según temperatura, $\alpha=0.05$.

Temperatura	N	Media	
20	75	0.3042±0.1498	a
30	75	0.3358±0.1420	b
40	75	0.3898±0.1286	c

En la Tabla 22, se presentan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor temperatura, los cuales nos indican que existe diferencia significativa entre las temperaturas de rehidratación, esto implica que estas influyen en la incremento del Ancho de los granos de haba.

En la Tabla 23, se presentan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor tiempo, en el cual se observa que existe una diferencia significativa en el incremento de la Longitud entre los tiempos 30, 60,90 y 150 minutos, mientras que en

los tiempos de 180 a 720 minutos, no existe diferencia estadísticamente significativa. Esto significa que en los primeros minutos existe un incremento acelerado del Ancho de los granos de haba, que luego empieza a disminuir y finalmente a mantenerse estable.

Tabla 23. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el ancho según el tiempo, $\alpha=0.05$.

TIEMPO	N	Media	Grupos Homogéneos
0	9	0	a
30	9	0.047020	b
60	9	0.110804	c
90	9	0.187789	d
120	9	0.203318	d
150	9	0.273963	e
180	9	0.298678	ef
210	9	0.325087	f
240	9	0.322489	f
270	9	0.368257	g
300	9	0.382943	gh
330	9	0.379206	gh
360	9	0.381838	gh
390	9	0.417871	hi
420	9	0.427667	ij
450	9	0.422088	hi
480	9	0.433707	ij
510	9	0.427852	ij
540	9	0.445321	ij
570	9	0.442628	ij
600	9	0.447698	ij
630	9	0.468927	j
660	9	0.461229	ij
690	9	0.449915	ij
720	9	0.455152	ij

4.6.3 DIFERENCIAL DE ESPESOR (cm)

A continuación se muestran los valores promedios de la variación del Espesor de los granos de haba en función del tiempo, sometidos a tres temperaturas de rehidratación 20,30 y 40 °C.

Tabla 24. Resultados del diferencial del Espesor a temperaturas de 20, 30 y 40°C

Tiempo (min)	T1 20°C	T2 30°C	T3 40°C
0	0	0	0
30	0.010±0.008	0.091±0.050	0.107±0.015
60	0.028±0.038	0.097±0.006	0.196±0.036
90	0.067±0.020	0.118±0.052	0.290±0.076
120	0.091±0.057	0.165±0.029	0.308±0.042
150	0.102±0.064	0.214±0.064	0.354±0.024
180	0.192±0.074	0.256±0.041	0.412±0.031
210	0.236±0.050	0.266±0.014	0.400±0.031
240	0.260±0.055	0.255±0.008	0.450±0.017
270	0.274±0.053	0.313±0.033	0.425±0.011
300	0.292±0.050	0.302±0.036	0.437±0.019
330	0.305±0.015	0.332±0.030	0.437±0.016
360	0.289±0.026	0.327±0.046	0.437±0.033
390	0.358±0.036	0.386±0.078	0.470±0.052
420	0.383±0.062	0.364±0.045	0.459±0.032
450	0.364±0.059	0.385±0.013	0.454±0.046
480	0.403±0.026	0.408±0.013	0.457±0.013
510	0.412±0.064	0.412±0.044	0.461±0.062
540	0.381±0.059	0.424±0.025	0.487±0.017
570	0.416±0.028	0.425±0.061	0.453±0.046
600	0.436±0.034	0.428±0.046	0.502±0.050
630	0.442±0.031	0.444±0.021	0.476±0.023
660	0.413±0.034	0.447±0.059	0.483±0.011
690	0.442±0.018	0.434±0.020	0.497±0.008
720	0.427±0.024	0.435±0.031	0.494±0.024

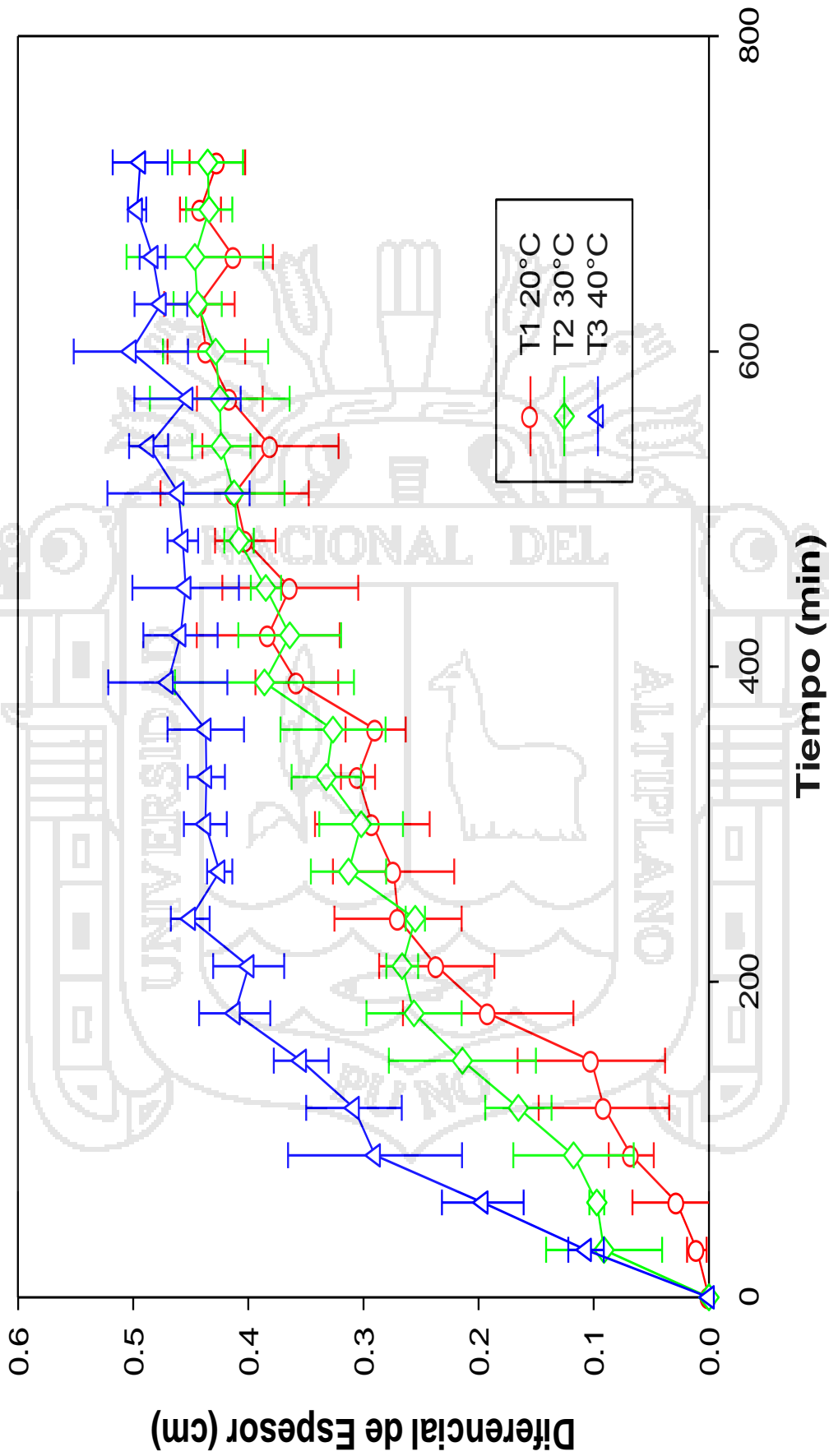


Fig 19. Curvas de diferencial del Espesor del grano de haba a temperaturas de 20, 30 y 40°C.

En la Tabla 25 se presenta el análisis de varianza (ANVA) para el incremento del Espesor de los granos de haba, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el factor temperatura, el factor tiempo y la interacción. Esto implica que existe dependencia de los factores temperatura y tiempo de rehidratación en el incremento del Espesor con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 25. Análisis de Varianza (ANVA) para el Espesor

F. de V.	G. L.	SC	CM	Fc	Significancia
Temperatura (A)	2	0.581733	0.290866	185.76	**
Tiempo (B)	24	3.80941	0.158726	101.37	**
A x B	48	0.220671	0.0045973	2.94	**
Error experimental	150	0.234874	0.00156583		
Total corregido	224	4.84669			

Tabla 26. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el espesor según temperatura, $\alpha=0.05$.

Temperatura	N	Media	
20	75	0.2777±0.1534	a
30	75	0.3092±0.1326	b
40	75	0.3978±0.1284	c

En la Tabla 26, se presentan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor temperatura, los cuales nos indican que existe diferencia significativa entre las temperaturas de rehidratación, esto implica que estas influyen en el incremento del Espesor de los granos de haba.

En la Tabla 27, se presentan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor tiempo, en el cual se observa que existe una diferencia significativa en el incremento de la Longitud entre los tiempos 30, 60,90 y 180 minutos, mientras que en los tiempos de 210 a 720 minutos, no existe diferencia estadísticamente significativa. Esto

significa que en los primeros minutos existe un incremento acelerado del Espesor de los granos de haba, que luego empieza a disminuir y finalmente a mantenerse estable.

Tabla 27. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el espesor según el tiempo, $\alpha=0.05$.

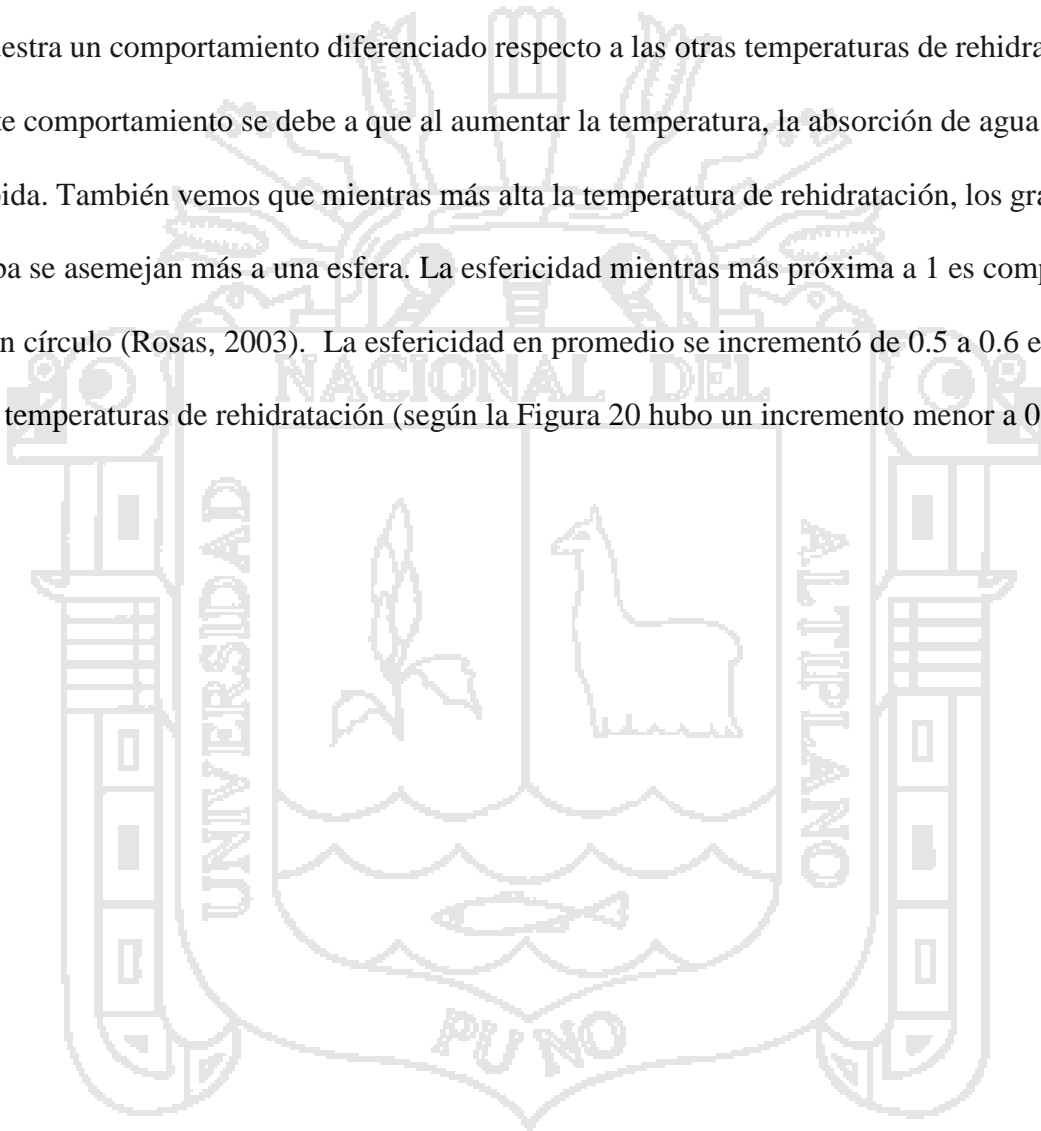
TIEMPO	N	Media	Grupos Homogéneos
0	9	0	a
30	9	0.069309	b
60	9	0.107175	c
90	9	0.158264	d
120	9	0.188239	de
150	9	0.223428	e
180	9	0.286484	f
210	9	0.300762	fg
240	9	0.295084	f
270	9	0.337265	gh
300	9	0.343920	h
330	9	0.357911	h
360	9	0.351028	h
390	9	0.404610	i
420	9	0.401925	i
450	9	0.400938	i
480	9	0.422567	ij
510	9	0.428340	ij
540	9	0.430322	ij
570	9	0.431260	ij
600	9	0.455652	j
630	9	0.454140	j
660	9	0.447414	j
690	9	0.457424	j
720	9	0.452076	j

En las Figuras 17, 18 y 19 se observan, la variación de las dimensiones ortogonales: longitud, ancho y espesor de los granos de haba. El comportamiento de las curvas en función del tiempo (en las tres dimensiones ortogonales), para las tres temperaturas de rehidratación (20, 30 y 40°C) son similares, durante los primeros 210 minutos de rehidratación de los granos de haba, presenta un rápido incremento de sus dimensiones, en este periodo los granos de haba rehidratados a 40°C alcanzaron un mayor incremento de su longitud ($L = 0.471$ cm), ancho ($W = 0.399$ cm) y espesor ($T = 0.400$ cm), seguido por los granos rehidratados a 30°C que tuvieron los siguientes datos: ($L = 0.372$ cm), ancho ($W = 0.301$ cm) y espesor ($T = 0.266$ cm), y finalmente los granos de haba rehidratados a 20°C con valores de ($L = 0.359$ cm), ancho ($W = 0.276$ cm) y espesor ($T = 0.236$ cm); luego de ese tiempo hasta los 420 minutos de rehidratación presenta un aumento poco creciente de las dimensiones, en este periodo los granos de haba para las tres temperaturas de rehidratación presentan una dinámica lenta en el incremento de sus dimensiones ortogonales; y finalmente en el intervalo de tiempo de 420 a 720 minutos presenta una estabilidad en el incremento de sus dimensiones para las tres temperaturas de rehidratación. Esto último se debe a que los granos de haba están alcanzando su humedad de equilibrio. Para las tres dimensiones ortogonales la rehidratación a 40°C presenta un mejor comportamiento respecto a las otras temperaturas de rehidratación (ver figuras 17,18 y 19).

La rehidratación de los granos de haba supone un incremento de su humedad, (Altuntas y Yildiz, 2007; Dursun y Dursun, 2005) manifiestan que un incremento de la humedad de la semilla genera un estiramiento de los tejidos proporcionalmente en sus tres planos longitudinales sin cambiar su forma.

4.7 DIFERENCIAL DE FORMA

A continuación en la Figura 20 se observa que para el incremento de la esfericidad del grano de haba en función del tiempo tiene un comportamiento similar a las dimensiones presentadas anteriormente, a un inicio un rápido incremento, luego el incremento decrece y al final permanece estable, esto para los tres tratamientos. Para la temperatura de 40°C se muestra un comportamiento diferenciado respecto a las otras temperaturas de rehidratación. Este comportamiento se debe a que al aumentar la temperatura, la absorción de agua es más rápida. También vemos que mientras más alta la temperatura de rehidratación, los granos de haba se asemejan más a una esfera. La esfericidad mientras más próxima a 1 es comparable a un círculo (Rosas, 2003). La esfericidad en promedio se incrementó de 0.5 a 0.6 en todas las temperaturas de rehidratación (según la Figura 20 hubo un incremento menor a 0.1).



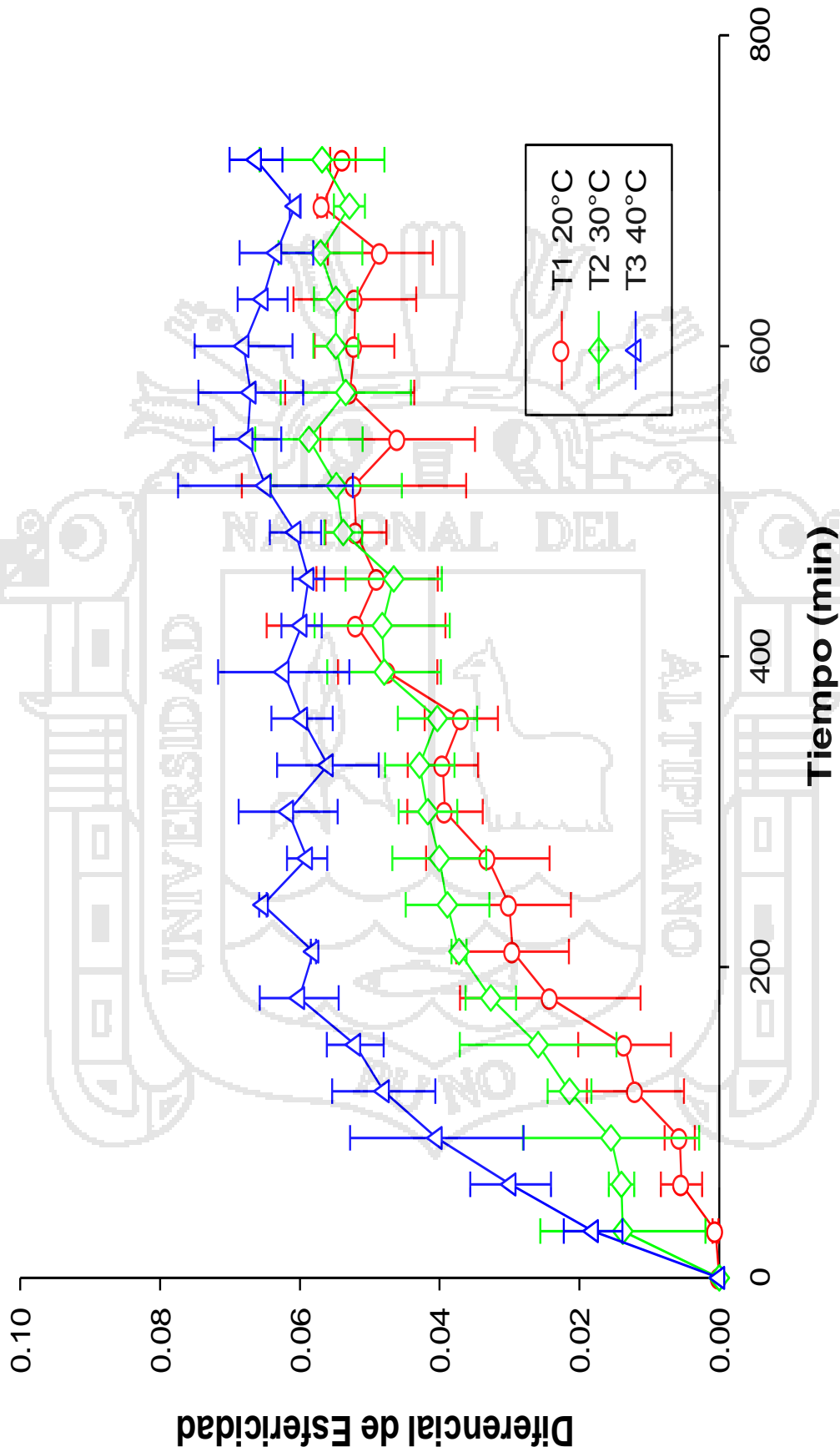


Fig 20. Curvas del incremento de la esfericidad de los granos de haba a diferentes temperaturas de rehidratación.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el experimento realizado, se concluye que:

- El modelo de Peleg se ajustó adecuadamente a los datos experimentales entre las temperaturas de rehidratación de 20 a 40 °C y presentó altos valores del coeficiente de determinación (R^2), y bajos valores del RMSE, lo cual indica un buen ajuste del modelo para determinar la cinética de rehidratación del grano de haba. En este estudio se observó que a medida que la temperatura de rehidratación aumentaba, la velocidad de transferencia de agua dada por la constante k_1 disminuyó, mientras que la constante k_2 se comportó de manera directa a la temperatura de rehidratación, resultado diferente a otras investigaciones, lo que indica que el efecto de la temperatura en la capacidad de absorción de agua de los materiales alimenticios es combinado y depende de su naturaleza. La energía de activación fue obtenida a partir de la ecuación de Arrhenius y su valor para los granos de haba fue de 28.88KJ/mol.
- Las dimensiones ortogonales (longitud, ancho y espesor) y las áreas frontal y lateral de los granos de haba tuvieron mejores resultados a la temperatura de rehidratación de 40 °C, en tanto que en el tiempo de rehidratación de 480 a 720 minutos, las dimensiones ortogonales y las áreas de los granos de haba tuvieron la tendencia de mantenerse constantes, esto debido a que alcanzaron su humedad de equilibrio.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer un estudio del efecto de la temperatura en la rehidratación de los granos de haba con diferentes valores de dureza de agua.
2. Se recomienda hacer estudios del efecto de la temperatura en la rehidratación de los granos de haba con diferentes variedades.



BIBLIOGRAFIA

- Abramoff, M. D., Magelhaes, P. J., and Ram, S. J. (2004). Image processing with Image J. *Biophotonics International*, v. 11, p. 36 – 42.
- Abu-ghannam, Nissreen and Mckenna, Brian. (1997) Hydration Kinetics of red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*. v. 62, n.3, p. 520-523.
- Aguilera, J. M., Cipriano, A., Eraña, M., Lillo, I., Mery, D., and Soto, A. (2006). Computer Vision for Quality Control in Latin American Food Industry, A Case Study. *Lecture Notes in Computer Science*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Altuntas, E. y Yildiz, M. (2007). Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba vean (*Vicia faba* L.) grains. *Journal of Food Engineering*. v. 78, n.1, p. 174-183.
- Augustin J., Klein B.P. (1989). Nutrient composition of raw, cooked, canned, and sprouted legumes. *Legumes: chemistry, technology, and human nutrition*. Matthews R.H. Ed., p. 187-217.
- Bayram, M., Kaya, A., & Öner, M. D., (2004). Changes in properties of soaking water during production of soy-bulgur. *Journal of Food Engineering*, v. 61, n. 2, 2 p. 221-230.
- Bello, M., Tolaba, M.P. And Suarez, C. (2004). Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. *Food Sci. Technol., Zürich*, v. 37, n. 8, p. 811-816
- Brennan, J. G. (2008). *Manual del procesado de los alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza (España).
- Canahua M. A. y Larico M. L. (1992). *Manual Tecnico de Waru Waru para Profesionales y Tecnicos*. CIMA. Puno, Peru.

- Calzetta- Resio, A., Aguerre, R., & Suarez, C., (2006). Hydration kinetics of amaranth grain. *Journal of Food Engineering*, v. 72, p. 247-253.
- Castro, Q. G. (1996). Propiedades físicas de los productos vegetales, su sentido físico y aplicaciones Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, p. 103.
- Cerning J., Saposnik A., Guilbot A. (1975). Carbohydrate composition of horse beans (*Vicia faba*) of different origins. *Cereal Chem.*, v.52, p. 125-138.
- Cetin, M. (2007). Physical properties of barbunia bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Barbunia') seed. *Journal of Food Engineering*; v. 80, p. 353-358.
- Chanona, P. (2004). Estudio morfométrico fractal de materiales sometidos a deshidratación y su aplicación en la descripción del secado convectivo de placas y esferas. Tesis de doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.
- Chavan J.K., Kute L.S., Kadam S.S. (1989). Broad bean. *Handbook of World Food Legumes: Nutritional Chemistry, Processing Technology, and Utilitation*.
- Chen-Jin., Da-Wen. (2004) Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation, *Trends in Food Science and Technology* (15): 230-249.
- Condori Q. M. (2002), Evaluación y Optimización del Tratamiento Térmico del Enlatado de Habas (*Vicia faba* L.), Tesis; UNALM Lima, Perú.
- Coutinho, M. R.; Omoto, E. S.; Andrade, C. M. G. e Jorge, L. M. M. (2005). Modegalem e Validação da Hhidratação de grãos de soja. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, n. 3, p. 603-610, Campinas.
- Cuadrado, C.; Burbano. C. (2006). Factores no-nutritivos en Fuentes Proteicas de Origen Vegetal. Su Implicación en Nutrición y Salud. *Braz. J. Food Technol.*

- Cubero, J. (1983). Leguminosa de granos, Ediciones Mundi Prensa Madrid, España., p. 211-213, 220.
- Cunningham, S. E.; McMinn, W. A. M.; Richardson, P. S. (2007). Modelling water adsorption of pasta during soaking. *Journal of Food Engineering*, v.82, p. 600-607.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*. 2a ed. New York: Oxford University Press, p. 89-103.
- Dantas, L. A.; Mata, M. E. R.; Duarte, M. E. M. Programa computacional dinamico para simulacao de secagem de graos e sementes de milho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.13, n. 3, p. 309-318.
- Devlin R. M. (1982). *Fisiología Vegetal*, Ediciones Omega, Barcelona, España., p. 137,189.
- Du, C. and Sun, D. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Food Science and Technology*, v.15, p. 230-249.
- Dursun, I.; Tugrul, K.M. y Dursun, E. (2007). Some physical properties of sugarbeet seed. *Journal of Stored Products Research*, v. 43, p.149–155.
- FAO (2006). *FAO Statistical Yearbook 2005-2006*. [On line] Available at: http://www.fao.org/statistics/yearbook/vol_1_1/index.asp.
- Ferraz, M. B. M. (2008). *Determinação da cinética de hidratação de ervilhas pisum sativum desidratadas*. Campinas, SP.Tese, Mestrado em Engenharia de Alimentos. Universidad Estadual de Campinas-UNICAMP, p. 125.
- Fracasso, A. F.; Pinto, H. B.; Marques B.; Martell, L. y Ribani, R. H. (2010). Estudio comparativo da influência da temperatura no processo de hidratação de soja transgênica e convencional. Univerddidade Federal do Paraná. Departamento de Ingenieria Quimica.

- Garnayak, D.K., Pradhan R.C., Naik, S.N. Y Bhatnagar N. (2008). Moisturedependent physical properties of jatropha seed (*Jatropha curcas* L.). Industrial crops and products. V. 2, n.7, p.123-129.
- Gowen, A.; Abu-Ghannam, N.; Frias, J. & Oliveira, J. (2007). Influence of preblanching on the water absorption Kinetics of soybeans, Journal of food Engineering, v. 78, p. 965-971.
- Hanelt P. (1972). Die infraspezifische Variabilität von *Vicia faba* und ihre Gliederung. Kulturpflanze, v.20, p. 276-284.
- Hebblethwaite, P. (1983). The faba bean (*Vicia faba* L.). University of Nottingham School of Agriculture, Cambridge, Great Britain. p. 573.
- Hung, T V.; Liu, L. H.; Black, R. G. y Trehwella, M. A. (1993). Water absorption in chickpea and field pea cultivars using the Peleg model, Journal of Food Science, v. 58, n.4, P. 848–852
- Impoco, G., Carrato, S., Caccamo, M., Tuminello, L. and Licitra, G. (2007). Quantitative analysis of cheese microstructure by scanning electron microscope images. In Department of Computer Science, Departamento de Matemáticas y Ciencias de la Computación, Catania.
- INIA. (2012). Programa Nacional de Investigación de Cultivos Andinos: *Granos de Haba*. Estación Experimental Agraria Andenes - Cusco.
- Jain, R.K. y Bal, S. (1997). Physical properties of pearl millet. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 66, p. 85-91.
- Jideaniand, V. A., & Mpotokwan, S. M., (2009). Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. Journal of Food Engineering, v. 92, n.2, p. 182-188.
- Josef S. (1974), Química de los Alimentos, 1º Edición, Alemania.

- Kadlec P., Dostalova J., Zatopkova M., Houska M., Strohalm J. (2004). The shelf life of germinated grain legume seeds treated by high pressure. En: 5th European Conference on Grain Legumes, Abstracts of posters n° 73.
- Karababa, (2006). Ersan. Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering*; v. 72, p. 100-107.
- Krokida M.K. Marinos-Kouris D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products, *J Food Engineering*, v. 57, p. 1-7.
- López, R. M. y Muciño, S. S. (2004). Tecnología de producción para el cultivo de haba. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del estado de México. Conjunto SEDAGRO, Metepec, México.
- Lopez, R.M. (2005). Manejo poscosecha de haba fresca. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. Conjunto SEDAGRO, Metepec, México.
- Marquardt R.R., McKirdy J.A., Ward T., Campbell L.D. (1975). Amino acid, hemagglutinin and trypsin inhibitor levels, and proximate analyses of faba beans (*Vicia faba*) and faba bean fractions. *Can. J. Anim. Sci.*, v.55, p. 421-429.
- Martínez, F. M. (2001). Diseño de un colorímetro triestímulo a partir de una cámara CCD-RGB. . *In universitat Politècnica de Catalunya*, p. 400, Catalunya.
- Mateo, J. (1961). Leguminosas de grano. Editorial Salvat. Barcelona, España, p. 550
- Maskan, M. (2002). Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. *Journal of Food Engineering*, v.52 p. 337-341.
- Mendizábal, J. A. y Goñi, V. (2001). Aplicaciones de la técnica de análisis de imagen en la determinación de la calidad de la canal y de la carne. *ETSIA*, p. 99 – 108.

- MINAG. (2014). Series Historicas de Produccion Agricola. Compendio Estadistico .
Obtenido de http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult
- MINSA (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA. Lima – Perú.
- Mohsenin, N., (1970). Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publisher. New York.
- Muratova V. (1931). Common bean *Vicia faba*. Bull. Appl. Bot. Genet. Pl. Breed., Suppl, v.50, p. 285.
- Muzquiz, M.; Pedrosa, M.; Varela, A.; Guillamón, E.; Goyoaga, C.; Kadlec P., Dostalova J., Zatopkova M., Houska M., Strohalm J. (2004). The shelf life of germinated grain legume seeds treated by high pressure. 5th European Conference on Grain Legumes, Abstracts of posters., n.73.
- Olvera, J.; Sánchez RJ.; Ochoa, R.; Rodríguez, F.; Roque, J.; Ortega, C.; Palacios, H.; Carrillo, LA. (2001). Claridades Agropecuarias, v. 93, p. 1-32.
- Ospina, M.; Julio, E. (2001). Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrícolas. Departamento de Ingeniería Agrícola Bogotá, p. 225.
- Paiva, A. F. O. (2005). Geracao Automatica de Modelos de simulacao de uma linha de producao na industria Textil. Engenharia Industrial, Universidade de Minho. Guimaraes. P. 239
- Pan, Z., and Tangratnavalee, W., (2003). Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, v. 36, p. 143-151.

- Paredes, E.; Quiroz, M.; Quispe, K.; Reyes, B.; Velasquez, L.; Zavalet, N. y Sanchez, J. (2012). Aplicación del modelo de Peleg para estudiar el efecto de la temperatura y dureza del agua durante la rehidratación de frijol caballero (*Phaseolus vulgaris*). Universidad Nacional de Trujillo. *Agroindustrial Science*, v. 1, p. 91-99.
- Pedreschi, F., Mery D, Mendoza (2004). Classification of potato chips using pattern recognition *Journal of Food Science* 69 (6) E1-E5.
- Peleg, M. (1988) An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Science*, v. 53, n. 4, p. 1216-1217 and 1219.
- Peñaloza, S. C. (2003). Evaluación de variedades de haba (*Vicia faba* L.) para la producción de fritura. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM. El Cerrillo, Toluca, Mexico
- Pilosof, A. M. R.; Bouquet, R.; Batholomai, G. B. (1985). Kinetics of water uptake by food powders, *Journal of Food Science*, v. 50, p. 278-282.
- Prieto, F., Callejas, J., Román, AD., Prieto, J.; Gordillo, AJ.; Méndez, MA. (2007). Acumulación de arsénico en el cultivo de habas (*Vicia faba*). *Agronomía Costarricense*, v.31, n.2, p. 101-109.
- Quicazán, Caicedo, Cuenca. (2012). Applying Peleg's equation to modelling the kinetics of solid hydration and migration during soybean soaking. *Ingeniería e Investigación*. v. 32, n. 3, p. 53-57.
- Rees, R.O., Richards, R., Faris, F. (2000). World and regional trade: quantity versus quality. Knight, R. Ed. *Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st century*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, p.143-154.
- Resende, O.; Corrêa, P. C. (2007). Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Maringá, v. 29 n. 3 p. 373-378.

- Resio, A C.; Aguirre, R J.; Suarez, C. (2006). Hydration kinetics of amaranth grain. *Journal of food Engineering*, v. 72, p. 247-253.
- Resio, A. C.; Faris, F.; Smith, K. (2005). Analysis of simultaneous water absorption and water-starch reaction during soaking of amaranth grain. *J. Food Eng.*, London, v. 68, n. 2, p. 265-270
- Resio, A. C. Aguirre, R. J., Suarez, C. (2003). Study of some factors affecting water absorption by amaranth grain during soaking. *J. Food Eng.*, London, v. 60, n. 4, p. 391-396
- Rizvi, S. S. H. (2005). Thermodynamic properties of foods in dehydration. In *Engineering Properties of Foods*, 190-193. M. A. Rao and S. S. H. Rizvi, eds. New York, N.Y: Marcel Dekker.
- Rojas, A. F. (2011). Caracterización Físico-mecánica de la semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*). Tesis Magister en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 134p.
- Sahin, S., Sumnu S. G. (2009). Propiedades físicas de los alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España.
- Sahoo. P. K. y Srivastava, A.P. (2002). Physical Properties of Okra Seed. *Biosystems Engineering*, v. 83, n. 4, p. 441-448.
- Salunkhe D.K., Sathé S.K., Reddy N.R. (1989). Lipids. *Handbook of World Food Legumes: Nutritional Chemistry, Processing Technology, and Utilization*. Salunkhe D.K., Kadam S. S. (Ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU, v. 1, p. 99-116.
- Sayar, S., Turhan, M., & Gunasekaran, S. (2001). Analysis of chickpea soaking by simultaneous water transfer and water-starch reaction. *Journal of Food Engineering*, v. 50, p. 91-98.

- Segura A. L. (2007). Efecto de la madurez de granos de haba (*Vicia faba* L.) en conserva, tesis presentado a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Selvi, C. K.; Pinar Y. and Yesiloglu, E. (2006). Some Physical Properties of Linseed. *Biosystems Engineering*. v. 95, n. 4, p. 607-612.
- Singh, B. P. N.; Kulshrestha, S. P. (1987). Kinetics of wáter sorption by soybean and pigionpea grains. *Journal of Food Science*, v. 52, n. 6, p. 1538-1542 e 1544.
- Sopade P. A.; Xun, P. Y.; Halley, P. J.; Hardin, M., (2007), Equivalence of the Peleg, Pilosof and Singh-Kulshrestha models for water absortion in food, *Journal of Food Engineering*, v. 78, p. 730-734
- Sopade, P. A., & Kaimur, K., (1999). Application of Peleg's equation indesorption of food systems.A case study with sago (Metroxy-lon sagu rottb.) starch. *Drying Technology*, v. 17, p. 975-989.
- Tapia, M., Fries, A.M., Mazar, I., Rosell, C. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. FAO-Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú. Lima,Perú. 209 p.
- Turhan, Mahir; Sayar, Sedat; Gunasekaran, Sundaram. (2002). Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food Engineering*. n. 53, p. 153-159.
- Vilca P. T. (1988). Ensayo rendimiento 22 líneas de haba (*Vicia faba* L.) en Camata y Camacani, Tesis presentado a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Waldroup, P. and Smith, K. (1989). Animal feed uses of legumes. *Legumes: Chemistry, Technology, and Human Nutrition*. R.H. Matthews, Ed. p. 245-337, Marcel Dekker, New York, NY.
- Zohary, D.; Hopf, M. (2000). *Domestication of Plants in the Old World*. New York, United States. p. 112-116.



ANEXO I

Informe de análisis de alimentos (análisis proximal)



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Ciudad Universitaria, Av. Sesquicentenario N° 1150, Telf.: (051)599430 / IP. 10301 / (051) 366080



LABORATORIO DE EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS Nro. 00068-2014

SOLICITANTE : BACH. Josue David, CCOPA MENDOZA
 PRODUCTO : HABA SECA ENTERA
 NOMBRE CIENTÍFICO : *Vicia faba L.*
 ANALISIS SOLICITADO : **FISICO QUIMICO**
 FECHA DE RECEPCION : 06-11-14
 FECHA DE ANALISIS : 06-11-14
 FECHA DE EMISION : 20-11-14

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FISICO QUIMICO DE HABAS CRUDA

REP.	% HUMEDAD	% CENIZA	% PROTEINA	% GRASA	% FIBRA	% CARBOHIDRATOS
1	10.81	2.46	31.68	1.42	1.32	52.31
2	10.66	2.45	31.69	1.06	1.34	52.80
3	10.73	2.47	31.71	1.69	1.32	52.08

CONCLUSIÓN : La muestra analizada se encuentra dentro de los límites permisibles, es Conforme según la Especificaciones Técnicas Nacionales.

Puno, C. U. 20 de Noviembre del 2014



[Signature]
Ing° OSWALDO ARPASI ALCA
 Control de Calidad de Alimentos
 LABORATORIO
 C.I.P. 160625



[Signature]
Ing° Roger Segura Peña M.Sc.
 JEFE DE LABORATORIO DE EVALUACIÓN
 NUTRICIONAL Y BIOTECNOLOGIA
 UNA-PUNO



ANEXO II

Datos de los pesos iniciales de las muestras para los tres tratamientos

Tiempo (min)	T1 20°C			T1 30°C			T1 40°C		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	28.6865	26.2123	26.6188	26.6210	29.6147	28.1425	26.0119	28.6544	29.5525
60	29.7686	28.8334	32.3873	28.8443	31.2943	30.7774	29.3943	29.6276	27.4775
90	29.9766	28.8634	27.8123	26.0723	27.1105	30.3684	30.2376	29.0423	28.4290
120	26.9603	28.2386	28.5615	27.8134	29.4109	31.0309	26.6187	30.0378	27.7601
150	26.4322	26.9889	27.7562	29.1965	30.4394	29.9913	28.8302	28.6398	28.8346
180	27.4718	28.0945	30.3213	30.1673	32.2583	30.1854	29.6348	30.3306	27.9426
210	27.1843	32.2835	26.5621	27.4111	29.4173	29.3526	28.2750	28.9230	28.7575
240	30.5921	29.4017	31.6947	27.8221	26.6235	30.2274	28.5269	27.4312	27.7927
270	28.9762	30.4116	33.9716	31.8643	29.7754	29.7987	32.0235	28.7324	27.6497
300	28.3036	30.5921	31.3145	26.8665	31.2140	31.1990	27.5721	29.0749	27.2703
330	29.0115	31.2805	33.2603	28.1576	29.9392	30.4702	28.7302	29.1761	29.0425
360	30.1904	28.7019	25.7841	32.3767	30.4233	28.7951	28.0708	28.1473	26.6527
390	30.1621	28.9836	33.5238	31.3175	25.9483	31.8373	29.4365	28.8409	29.5283
420	27.7274	30.0728	27.0615	28.5132	28.8976	28.9582	28.0139	29.9143	27.7609
450	29.9616	30.0532	28.703	27.8534	30.8821	29.7904	29.7681	27.8308	27.6401
480	27.2636	27.8874	30.1634	31.8842	30.5305	28.0344	27.9901	28.4303	27.0284
510	27.5632	28.9236	28.6955	29.5342	29.2231	27.7269	28.5871	28.1477	27.0236
540	29.3643	25.8101	29.7571	30.5942	29.3814	27.8502	28.7164	27.4721	28.0185
570	26.8801	28.0464	30.4738	28.3224	29.5809	29.9113	30.2432	28.2343	28.9574
600	31.0803	29.9107	28.1432	28.9242	27.5921	26.7660	28.4615	27.4974	28.1725
630	30.4942	28.0028	31.4801	27.1942	30.1176	27.4312	29.1879	29.4608	27.5646
660	27.1216	28.4601	28.3934	28.9154	27.5745	28.8887	29.7156	29.7146	26.9574
690	28.9241	28.5189	26.8807	28.3876	28.1536	28.9102	28.5707	28.1536	27.8663
720	27.7536	25.6533	30.2223	28.1387	28.9632	28.2889	29.3034	28.7778	30.2321

ANEXO III

Datos de los pesos después de la rehidratación de las muestras para los tres tratamientos

Tiempo (min)	T1 20°C			T1 30°C			T1 40°C		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	31.6235	28.3477	28.7812	29.9262	33.2662	31.3031	29.8383	33.3512	33.9256
60	33.8514	32.9454	37.9227	34.7421	36.8848	35.9962	38.9564	37.8933	35.3762
90	36.8034	35.3812	32.9077	33.4164	34.8293	38.5484	42.6389	42.2763	40.4273
120	34.4197	36.6978	37.2685	37.5775	39.3056	39.9675	41.9632	45.9574	41.6485
150	35.6578	36.7311	38.8138	41.2689	42.5602	41.1592	46.5053	46.9626	46.2596
180	38.6582	40.4155	42.6187	43.1431	46.5927	43.2203	47.8349	50.1796	46.1663
210	41.1857	47.5265	39.4979	41.6837	45.0992	44.6530	47.6902	49.7343	48.8274
240	45.7214	45.117	47.5253	44.1762	42.8555	46.3249	49.7133	47.3264	48.1685
270	44.8738	46.7984	52.0168	50.2384	48.1306	48.9344	54.9655	49.6663	48.6562
300	46.6164	49.9679	51.1555	45.6995	51.7817	52.0417	48.9823	50.9550	48.9874
330	47.9028	51.5245	53.9568	49.4503	50.6811	52.6586	51.2748	51.3800	51.9527
360	51.9113	49.2609	44.6559	55.4940	53.2083	50.6723	51.4334	52.4347	50.2324
390	52.9809	50.2064	57.8962	55.9155	48.7461	55.9404	54.3091	52.7752	55.4812
420	50.7826	55.5372	51.2427	53.7476	53.1894	54.2862	53.4301	55.7128	52.4584
450	55.9652	55.2068	53.6670	52.5644	57.3726	55.8103	55.9409	53.2382	53.1607
480	51.9236	52.9526	56.5966	59.4789	57.1582	54.3300	53.9296	55.0705	52.1796
510	52.2668	55.4264	53.7845	56.9533	56.3493	54.0965	56.5836	54.4775	53.7685
540	56.4936	50.4819	57.5729	58.9032	57.0638	54.4201	55.6535	54.5647	55.3622
570	53.0557	54.1636	58.4662	54.6847	57.8647	58.2596	59.5245	55.6248	56.9114
600	60.2756	58.5572	54.5568	57.1260	55.6500	53.6480	58.0577	55.3593	57.1200
630	59.3753	54.6863	61.0379	54.3873	58.9805	56.2493	57.5227	61.1437	56.0889
660	54.4211	56.9263	57.9766	58.1584	55.1693	58.1013	59.5845	60.2803	55.1974
690	58.1995	57.6411	54.2103	57.0883	57.0737	58.1589	58.8477	58.1200	56.3375
720	56.2554	52.5667	60.7377	58.2492	59.2243	57.4556	58.9314	58.7631	60.4362

ANEXO IV

Datos de la diferencia de peso para los tres tratamientos

Tiempo (min)	T1 20°C			T1 30°C			T1 40°C		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	2.9370	2.1354	2.1624	3.3052	3.6515	3.1606	3.8264	4.6968	4.3731
60	4.0828	4.1120	5.5354	5.8978	5.5905	5.2188	9.5621	8.2657	7.8987
90	6.8268	6.5178	5.0954	7.3441	7.7188	8.1800	12.4013	13.2340	11.9983
120	7.4594	8.4592	8.7070	9.7641	9.8947	8.9366	15.3445	15.9196	13.8884
150	9.2256	9.7422	11.0576	12.0724	12.1208	11.1679	17.6751	18.3228	17.4250
180	11.1864	12.3210	12.2974	12.9758	14.3344	13.0349	18.2001	19.8490	18.2237
210	14.0014	15.2430	12.9358	14.2726	15.6819	15.3004	19.4152	20.8113	20.0699
240	15.1293	15.7153	15.8306	16.3541	16.2320	16.0975	21.1864	19.8952	20.3758
270	15.8976	16.3868	18.0452	18.3741	18.3552	19.1357	22.9420	20.9339	21.0065
300	18.3128	19.3758	19.8410	18.8330	20.5677	20.8427	21.4102	21.8801	21.7171
330	18.8913	20.2440	20.6965	21.2927	20.7419	22.1884	22.5446	22.2039	22.9102
360	21.7209	20.5590	18.8718	23.1173	22.7850	21.8772	23.3626	24.2874	23.5797
390	22.8188	21.2228	24.3724	24.5980	22.7978	24.1031	24.8726	23.9343	25.9529
420	23.0552	25.4644	24.1812	25.2344	24.2918	25.3280	25.4162	25.7985	24.6975
450	26.0036	25.1536	24.9640	24.7110	26.4905	26.0199	26.1728	25.4074	25.5206
480	24.6600	25.0652	26.4332	27.5947	26.6277	26.2956	25.9395	26.6402	25.1512
510	24.7036	26.5028	25.0890	27.4191	27.1262	26.3696	27.9965	26.3298	26.7449
540	27.1293	24.6718	27.8158	28.3090	27.6824	26.5699	26.9371	27.0926	27.3437
570	26.1756	26.1172	27.9924	26.3623	28.2838	28.3483	29.2813	27.3905	27.9540
600	29.1953	28.6465	26.4136	28.2018	28.0579	26.8820	29.5962	27.8619	28.9475
630	28.8811	26.6835	29.5578	27.1931	28.8629	28.8181	28.3348	31.6829	28.5243
660	27.2995	28.4662	29.5832	29.2430	27.5948	29.2126	29.8689	30.5657	28.2400
690	29.2754	29.1222	27.3296	28.7007	28.9201	29.2487	30.2770	29.9664	28.4712
720	28.5018	26.9134	30.5154	30.1105	30.2611	29.1667	29.6280	29.9853	30.2041

ANEXO V

Datos iniciales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 20°C

Tiempo (min)	R1										R2										R3											
	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ
30	5.672	2.114	3.330	2.180	0.886	2.132	1.860	0.558	5.361	1.946	3.230	2.123	0.838	2.064	1.791	0.555	5.279	1.980	3.217	2.103	0.858	2.059	1.797	0.559								
60	5.572	2.055	3.252	2.192	0.870	2.105	1.837	0.565	5.558	2.067	3.271	2.172	0.869	2.104	1.834	0.561	6.504	2.181	3.569	2.338	0.858	2.255	1.928	0.540								
90	5.897	2.046	3.387	2.224	0.844	2.152	1.852	0.547	5.398	2.064	3.229	2.141	0.898	2.089	1.838	0.569	5.483	2.018	3.231	2.174	0.866	2.090	1.825	0.565								
120	5.298	1.957	3.226	2.101	0.836	2.054	1.783	0.553	5.862	2.017	3.376	2.225	0.837	2.146	1.845	0.547	5.583	2.057	3.376	2.109	0.830	2.105	1.808	0.536								
150	5.200	1.903	3.171	2.098	0.843	2.037	1.777	0.560	5.409	1.952	3.186	2.176	0.853	2.071	1.808	0.568	5.566	2.067	3.242	2.197	0.879	2.106	1.843	0.568								
180	5.347	2.001	3.264	2.098	0.859	2.074	1.805	0.553	5.487	2.054	3.238	2.167	0.851	2.085	1.814	0.560	6.127	1.835	3.425	2.290	0.798	2.171	1.843	0.538								
210	5.391	1.984	3.237	2.133	0.859	2.076	1.810	0.559	6.221	2.230	3.489	2.291	0.890	2.223	1.923	0.551	5.257	1.893	3.173	2.123	0.833	2.043	1.777	0.560								
240	6.143	2.179	3.480	2.264	0.877	2.207	1.904	0.547	5.761	2.068	3.364	2.191	0.862	2.139	1.852	0.551	6.001	2.229	3.431	2.242	0.895	2.189	1.902	0.554								
270	5.578	2.040	3.283	2.178	0.857	2.106	1.830	0.557	6.086	2.121	3.405	2.291	0.870	2.189	1.893	0.556	6.598	2.388	3.621	2.336	0.918	2.292	1.981	0.547								
300	5.663	1.976	3.335	2.172	0.822	2.110	1.813	0.544	5.940	2.101	3.370	2.255	0.870	2.165	1.877	0.557	6.226	2.085	3.485	2.284	0.844	2.204	1.887	0.542								
330	5.614	2.052	3.289	2.184	0.860	2.111	1.835	0.558	5.746	1.974	3.381	2.174	0.829	2.128	1.827	0.540	5.896	2.033	3.461	2.185	0.831	2.159	1.845	0.533								
360	6.086	2.128	3.441	2.263	0.868	2.191	1.891	0.549	5.974	2.025	3.491	2.190	0.835	2.172	1.855	0.531	5.763	1.979	3.288	2.247	0.854	2.130	1.848	0.562								
390	6.036	2.278	3.461	2.230	0.919	2.203	1.921	0.555	5.415	1.892	3.194	2.172	0.828	2.065	1.791	0.561	6.074	2.105	3.435	2.264	0.873	2.191	1.894	0.551								
420	5.124	1.998	3.177	2.065	0.856	2.033	1.778	0.560	5.738	2.038	3.323	2.205	0.862	2.130	1.848	0.556	5.246	1.968	3.205	2.097	0.836	2.046	1.778	0.555								
450	5.521	2.004	3.255	2.168	0.861	2.095	1.825	0.561	6.046	2.053	3.372	2.292	0.856	2.173	1.877	0.557	5.801	2.007	3.400	2.185	0.826	2.137	1.831	0.539								
480	6.342	2.312	3.557	2.288	0.922	2.255	1.958	0.550	5.960	2.024	3.367	2.264	0.854	2.161	1.867	0.554	5.517	1.902	3.245	2.176	0.830	2.083	1.803	0.556								
510	5.733	1.991	3.407	2.145	0.857	2.136	1.843	0.541	5.430	2.008	3.268	2.115	0.849	2.077	1.804	0.552	5.543	1.946	3.240	2.190	0.823	2.084	1.800	0.556								
540	5.622	2.052	3.292	2.184	0.843	2.107	1.823	0.554	5.549	2.106	3.354	2.115	0.875	2.115	1.837	0.548	5.638	1.961	3.321	2.169	0.839	2.109	1.821	0.548								
570	5.503	1.871	3.256	2.165	0.805	2.076	1.784	0.548	6.254	2.041	3.490	2.297	0.880	2.222	1.918	0.550	5.849	2.133	3.370	2.220	0.882	2.157	1.875	0.557								
600	5.859	2.069	3.365	2.232	0.857	2.151	1.860	0.553	5.461	1.898	3.281	2.132	0.813	2.075	1.785	0.544	5.365	1.854	3.195	2.150	0.813	2.052	1.774	0.555								
630	5.630	2.019	3.328	2.165	0.843	2.112	1.824	0.548	5.843	2.027	3.399	2.200	0.850	2.149	1.852	0.545	5.691	1.924	3.300	2.206	0.817	2.108	1.812	0.549								
660	5.799	2.121	3.340	2.224	0.886	2.150	1.874	0.561	5.918	2.049	3.321	2.278	0.876	2.158	1.878	0.566	5.493	2.102	3.213	2.193	0.853	2.086	1.818	0.566								
690	5.297	1.995	3.219	2.107	0.839	2.055	1.785	0.555	5.452	1.908	3.258	2.143	0.809	2.070	1.781	0.547	5.447	1.945	3.181	2.189	0.834	2.068	1.797	0.565								
720	5.444	1.953	3.258	2.139	0.849	2.082	1.809	0.555	6.051	1.846	3.394	2.280	0.820	2.165	1.852	0.545	5.634	2.157	3.274	2.204	0.886	2.121	1.856	0.567								



ANEXO VI

Datos finales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 20°C

Tiempo (min)	R1										R2										R3											
	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ
30	5.844	2.246	3.380	2.213	0.890	2.161	1.881	0.559	5.491	2.038	3.262	2.154	0.845	2.087	1.811	0.555	5.446	2.069	3.280	2.129	0.878	2.096	1.830	0.560								
60	5.813	2.189	3.344	2.228	0.872	2.148	1.866	0.568	5.740	2.166	3.340	2.196	0.878	2.138	1.860	0.565	6.954	2.534	3.690	2.419	0.931	2.347	2.025	0.549								
90	6.383	2.412	3.507	2.316	0.926	2.250	1.959	0.551	5.946	2.463	3.396	2.245	0.973	2.205	1.950	0.574	6.014	2.342	3.333	2.293	0.911	2.179	1.909	0.573								
120	5.781	2.283	3.408	2.169	0.900	2.159	1.881	0.560	6.467	2.388	3.570	2.322	0.889	2.260	1.946	0.555	6.714	2.740	3.658	2.328	0.986	2.324	2.032	0.556								
150	6.081	2.212	3.395	2.281	0.884	2.187	1.899	0.569	6.070	2.380	3.389	2.288	0.950	2.209	1.946	0.574	6.741	2.797	3.542	2.429	1.047	2.339	2.081	0.587								
180	6.956	2.931	3.672	2.424	1.061	2.385	2.113	0.576	6.208	2.498	3.441	2.304	0.964	2.236	1.970	0.572	6.919	2.825	3.662	2.420	1.058	2.380	2.109	0.576								
210	7.120	3.212	3.651	2.489	1.145	2.428	2.183	0.598	7.610	3.233	3.866	2.530	1.126	2.507	2.225	0.575	6.365	2.698	3.458	2.354	1.019	2.277	2.024	0.585								
240	7.263	3.123	3.720	2.489	1.065	2.424	2.144	0.576	7.035	3.026	3.684	2.442	1.093	2.406	2.142	0.582	6.963	2.860	3.659	2.432	1.016	2.369	2.083	0.569								
270	7.327	3.203	3.708	2.517	1.117	2.448	2.185	0.589	7.445	3.163	3.761	2.525	1.099	2.462	2.185	0.581	8.491	3.797	4.046	2.681	1.250	2.659	2.385	0.589								
300	7.339	2.927	3.727	2.514	1.059	2.433	2.149	0.577	7.979	3.514	3.850	2.649	1.203	2.567	2.307	0.599	8.219	3.383	3.929	2.671	1.152	2.584	2.295	0.584								
330	7.739	3.319	3.804	2.603	1.154	2.520	2.252	0.592	7.481	3.112	3.806	2.513	1.151	2.490	2.225	0.584	7.541	3.187	3.869	2.497	1.130	2.499	2.218	0.573								
360	7.910	3.316	3.911	2.589	1.158	2.553	2.272	0.581	7.880	3.327	3.945	2.551	1.151	2.549	2.262	0.573	7.203	2.967	3.624	2.531	1.117	2.424	2.172	0.599								
390	8.031	3.677	3.932	2.613	1.274	2.606	2.357	0.599	7.387	3.214	3.673	2.572	1.151	2.466	2.216	0.603	8.336	3.687	3.925	2.714	1.268	2.636	2.382	0.607								
420	7.027	3.762	3.655	2.452	1.271	2.459	2.250	0.616	8.339	3.313	3.906	2.724	1.173	2.601	2.319	0.594	6.935	3.696	3.620	2.444	1.259	2.441	2.233	0.617								
450	7.620	3.443	3.758	2.593	1.224	2.525	2.285	0.608	7.764	3.250	3.776	2.624	1.161	2.520	2.257	0.598	7.933	3.577	3.907	2.597	1.249	2.584	2.332	0.597								
480	8.586	3.995	4.058	2.710	1.312	2.693	2.435	0.600	8.061	3.636	3.871	2.665	1.239	2.592	2.338	0.604	7.759	3.640	3.791	2.617	1.262	2.557	2.322	0.613								
510	7.996	3.379	4.002	2.552	1.197	2.583	2.304	0.576	7.455	3.702	3.778	2.510	1.281	2.523	2.299	0.608	7.611	3.729	3.736	2.605	1.287	2.543	2.322	0.622								
540	7.970	3.675	3.853	2.642	1.260	2.585	2.341	0.607	7.804	3.401	3.923	2.543	1.187	2.551	2.279	0.581	7.814	3.771	3.871	2.579	1.251	2.567	2.320	0.599								
570	7.463	3.543	3.720	2.565	1.228	2.504	2.271	0.611	8.789	3.685	4.078	2.759	1.265	2.701	2.424	0.594	7.930	4.091	3.872	2.621	1.322	2.605	2.376	0.614								
600	8.221	3.874	3.922	2.684	1.278	2.628	2.379	0.606	7.626	3.758	3.825	2.552	1.288	2.555	2.325	0.608	7.504	3.485	3.754	2.573	1.226	2.511	2.275	0.609								
630	7.912	3.804	3.905	2.588	1.251	2.581	2.330	0.597	8.115	3.836	3.915	2.648	1.316	2.626	2.389	0.610	7.777	3.687	3.822	2.604	1.270	2.565	2.330	0.610								
660	8.088	4.092	3.884	2.667	1.337	2.629	2.401	0.618	8.356	3.731	3.911	2.730	1.277	2.639	2.389	0.611	7.817	3.787	3.802	2.635	1.238	2.558	2.315	0.609								
690	7.574	3.866	3.773	2.570	1.263	2.535	2.305	0.611	7.598	3.703	3.805	2.556	1.250	2.537	2.299	0.604	7.627	3.740	3.744	2.604	1.293	2.547	2.327	0.622								
720	7.485	3.613	3.766	2.544	1.263	2.524	2.296	0.610	8.607	3.632	4.016	2.741	1.275	2.677	2.412	0.601	7.868	3.948	3.806	2.644	1.298	2.583	2.355	0.619								

ANEXO VII

Datos iniciales de las propiedades físicas medidos por el método de imágenes para la temperatura de 30°C

Tiempo (min)	R1										R2										R3											
	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	AI	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	AI	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	AI	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ
30	5.208	1.941	3.151	2.116	0.847	2.038	1.780	0.565	5.715	1.956	3.298	2.219	0.832	2.117	1.826	0.554	5.740	1.905	3.383	2.175	0.799	2.119	1.805	0.534	5.740	1.905	3.383	2.175	0.799	2.119	1.805	0.534
60	5.866	2.042	3.360	2.234	0.853	2.149	1.857	0.553	6.021	2.098	3.448	2.235	0.846	2.176	1.868	0.542	6.016	2.035	3.401	2.262	0.850	2.171	1.870	0.550	6.016	2.035	3.401	2.262	0.850	2.171	1.870	0.550
90	5.255	1.921	3.216	2.088	0.830	2.045	1.773	0.551	5.513	1.810	3.272	2.156	0.784	2.071	1.768	0.541	5.863	2.030	3.431	2.185	0.825	2.147	1.836	0.535	5.863	2.030	3.431	2.185	0.825	2.147	1.836	0.535
120	5.619	1.959	3.311	2.173	0.833	2.106	1.817	0.549	6.024	1.987	3.396	2.269	0.830	2.165	1.856	0.547	6.336	2.195	3.598	2.253	0.879	2.243	1.924	0.535	6.336	2.195	3.598	2.253	0.879	2.243	1.924	0.535
150	5.886	2.176	3.365	2.235	0.910	2.170	1.898	0.564	5.767	2.038	3.405	2.168	0.865	2.146	1.855	0.545	5.643	2.017	3.298	2.190	0.865	2.118	1.842	0.558	5.643	2.017	3.298	2.190	0.865	2.118	1.842	0.558
180	5.778	2.107	3.360	2.199	0.878	2.146	1.865	0.555	6.143	2.147	3.390	2.316	0.879	2.195	1.904	0.562	6.030	2.082	3.369	2.295	0.868	2.177	1.886	0.560	6.030	2.082	3.369	2.295	0.868	2.177	1.886	0.560
210	5.526	1.949	3.274	2.161	0.825	2.087	1.801	0.550	5.842	1.941	3.391	2.207	0.808	2.135	1.822	0.537	5.757	1.966	3.360	2.196	0.827	2.127	1.827	0.544	5.757	1.966	3.360	2.196	0.827	2.127	1.827	0.544
240	5.589	1.948	3.296	2.167	0.828	2.097	1.809	0.549	5.463	1.834	3.272	2.134	0.787	2.064	1.764	0.539	5.759	2.038	3.336	2.207	0.864	2.136	1.853	0.555	5.759	2.038	3.336	2.207	0.864	2.136	1.853	0.555
270	6.076	2.210	3.459	2.252	0.896	2.202	1.911	0.553	5.753	2.095	3.369	2.191	0.875	2.145	1.862	0.553	5.635	1.957	3.385	2.128	0.823	2.112	1.809	0.535	5.635	1.957	3.385	2.128	0.823	2.112	1.809	0.535
300	5.413	1.985	3.205	2.159	0.865	2.076	1.816	0.566	5.967	2.121	3.400	2.242	0.870	2.171	1.879	0.553	6.443	2.107	3.541	2.334	0.833	2.236	1.903	0.537	6.443	2.107	3.541	2.334	0.833	2.236	1.903	0.537
330	5.709	2.054	3.306	2.212	0.870	2.129	1.853	0.561	6.058	2.167	3.460	2.239	0.886	2.195	1.901	0.549	6.400	2.302	3.585	2.290	0.893	2.256	1.943	0.542	6.400	2.302	3.585	2.290	0.893	2.256	1.943	0.542
360	5.786	2.042	3.305	2.240	0.870	2.138	1.860	0.563	5.623	2.085	3.300	2.178	0.876	2.118	1.847	0.560	5.237	1.923	3.163	2.117	0.828	2.036	1.770	0.560	5.237	1.923	3.163	2.117	0.828	2.036	1.770	0.560
390	5.902	2.097	3.399	2.221	0.854	2.158	1.861	0.548	5.287	1.970	3.223	2.097	0.856	2.059	1.795	0.557	6.338	2.267	3.529	2.302	0.903	2.245	1.943	0.551	6.338	2.267	3.529	2.302	0.903	2.245	1.943	0.551
420	5.591	1.836	3.232	2.212	0.806	2.083	1.793	0.555	5.720	2.113	3.361	2.185	0.890	2.145	1.870	0.556	5.833	1.837	3.325	2.248	0.809	2.127	1.822	0.548	5.833	1.837	3.325	2.248	0.809	2.127	1.822	0.548
450	5.501	2.152	3.231	2.180	0.919	2.110	1.863	0.577	5.842	2.070	3.362	2.225	0.876	2.154	1.871	0.557	5.731	2.042	3.345	2.188	0.832	2.122	1.826	0.546	5.731	2.042	3.345	2.188	0.832	2.122	1.826	0.546
480	5.637	2.000	3.355	2.152	0.836	2.114	1.821	0.543	5.167	1.871	3.148	2.103	0.834	2.029	1.768	0.562	6.132	2.233	3.509	2.237	0.897	2.214	1.917	0.546	6.132	2.233	3.509	2.237	0.897	2.214	1.917	0.546
510	5.521	1.971	3.263	2.165	0.834	2.087	1.806	0.553	5.875	2.001	3.325	2.259	0.863	2.149	1.865	0.561	5.565	2.030	3.329	2.146	0.843	2.106	1.819	0.546	5.565	2.030	3.329	2.146	0.843	2.106	1.819	0.546
540	5.924	2.224	3.406	2.227	0.896	2.176	1.894	0.556	5.744	2.018	3.335	2.204	0.866	2.135	1.853	0.556	5.522	1.920	3.287	2.151	0.829	2.089	1.803	0.549	5.522	1.920	3.287	2.151	0.829	2.089	1.803	0.549
570	6.147	1.971	3.417	2.302	0.848	2.189	1.882	0.551	5.534	2.196	3.273	2.163	0.875	2.104	1.836	0.561	5.882	2.046	3.328	2.266	0.848	2.147	1.856	0.558	5.882	2.046	3.328	2.266	0.848	2.147	1.856	0.558
600	5.683	2.054	3.297	2.202	0.855	2.118	1.838	0.557	5.282	2.125	3.228	2.095	0.887	2.070	1.817	0.563	5.704	1.993	3.324	2.197	0.838	2.120	1.829	0.550	5.704	1.993	3.324	2.197	0.838	2.120	1.829	0.550
630	5.878	2.185	3.383	2.229	0.882	2.165	1.881	0.556	6.179	1.985	3.493	2.261	0.846	2.200	1.884	0.539	5.536	2.307	3.290	2.151	0.888	2.110	1.845	0.561	5.536	2.307	3.290	2.151	0.888	2.110	1.845	0.561
660	6.320	2.245	3.562	2.272	0.870	2.234	1.916	0.538	5.531	1.917	3.274	2.164	0.834	2.091	1.808	0.552	6.020	1.979	3.364	2.292	0.833	2.163	1.859	0.553	6.020	1.979	3.364	2.292	0.833	2.163	1.859	0.553
690	5.788	2.095	3.351	2.211	0.880	2.147	1.868	0.557	5.641	2.058	3.281	2.206	0.878	2.122	1.852	0.565	5.574	1.946	3.262	2.191	0.834	2.095	1.813	0.556	5.574	1.946	3.262	2.191	0.834	2.095	1.813	0.556
720	5.421	2.086	3.190	2.178	0.890	2.086	1.835	0.575	5.135	1.977	3.141	2.087	0.817	2.015	1.750	0.557	5.806	1.953	3.361	2.206	0.841	2.136	1.841	0.548	5.806	1.953	3.361	2.206	0.841	2.136	1.841	0.548

ANEXO VIII

Datos finales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 30°C

Tiempo (min)	R1										R2										R3									
	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ						
30	5.375	2.057	3.224	2.135	0.881	2.080	1.823	0.566	6.106	2.442	3.396	2.299	0.963	2.220	1.959	0.577	6.013	2.279	3.469	2.223	0.907	2.200	1.912	0.551						
60	6.285	2.426	3.479	2.316	0.949	2.248	1.970	0.566	6.519	2.479	3.581	2.328	0.937	2.282	1.984	0.554	6.450	2.406	3.514	2.344	0.955	2.271	1.989	0.566						
90	5.910	2.234	3.413	2.210	0.887	2.170	1.885	0.552	6.213	2.359	3.445	2.302	0.927	2.224	1.944	0.564	6.692	2.589	3.644	2.343	0.978	2.322	2.029	0.557						
120	6.739	2.635	3.612	2.391	1.012	2.338	2.060	0.570	7.098	2.700	3.668	2.467	1.016	2.384	2.095	0.571	7.036	2.735	3.780	2.388	1.011	2.393	2.090	0.553						
150	7.158	3.049	3.680	2.470	1.115	2.422	2.164	0.588	7.377	3.156	3.796	2.486	1.146	2.476	2.212	0.583	6.741	2.708	3.599	2.404	1.019	2.341	2.066	0.574						
180	7.185	3.103	3.708	2.473	1.111	2.431	2.168	0.585	7.731	3.223	3.738	2.628	1.110	2.492	2.217	0.593	7.881	3.393	3.817	2.640	1.171	2.543	2.277	0.597						
210	7.262	2.998	3.700	2.507	1.100	2.436	2.169	0.586	7.063	2.953	3.691	2.446	1.058	2.398	2.122	0.575	7.364	3.013	3.749	2.514	1.101	2.455	2.181	0.582						
240	7.149	2.930	3.710	2.461	1.082	2.418	2.146	0.578	6.982	2.883	3.632	2.450	1.051	2.378	2.107	0.580	7.388	3.128	3.729	2.526	1.111	2.456	2.188	0.587						
270	8.336	3.732	3.942	2.706	1.241	2.630	2.366	0.600	7.531	3.305	3.822	2.525	1.189	2.512	2.256	0.590	7.294	3.095	3.816	2.442	1.102	2.453	2.174	0.570						
300	7.316	3.211	3.664	2.552	1.146	2.454	2.205	0.602	7.724	3.368	3.833	2.570	1.151	2.518	2.246	0.586	8.602	3.713	4.059	2.713	1.177	2.650	2.349	0.579						
330	7.712	3.497	3.780	2.610	1.237	2.543	2.302	0.609	7.867	3.541	3.873	2.580	1.195	2.550	2.286	0.590	8.250	3.737	4.030	2.623	1.214	2.623	2.342	0.581						
360	7.918	3.690	3.828	2.648	1.249	2.575	2.330	0.609	7.591	3.430	3.792	2.557	1.179	2.509	2.253	0.594	6.798	2.987	3.567	2.442	1.126	2.378	2.140	0.600						
390	8.476	4.049	4.014	2.702	1.313	2.677	2.424	0.604	7.185	3.530	3.734	2.462	1.250	2.482	2.257	0.604	8.174	3.711	3.940	2.649	1.207	2.599	2.327	0.591						
420	8.081	3.269	3.819	2.705	1.174	2.566	2.297	0.602	7.597	3.905	3.788	2.572	1.297	2.552	2.329	0.615	8.071	3.146	3.859	2.677	1.127	2.554	2.266	0.587						
450	7.794	3.764	3.828	2.607	1.309	2.581	2.355	0.615	8.095	3.685	3.860	2.668	1.246	2.591	2.341	0.606	8.044	3.770	3.896	2.635	1.226	2.586	2.326	0.597						
480	7.569	3.575	3.822	2.532	1.244	2.533	2.292	0.600	7.112	3.427	3.645	2.493	1.230	2.456	2.236	0.613	8.956	4.155	4.124	2.773	1.319	2.739	2.471	0.599						
510	7.376	3.404	3.752	2.513	1.195	2.487	2.242	0.598	8.283	3.778	3.870	2.736	1.300	2.635	2.396	0.619	7.733	3.784	3.834	2.581	1.282	2.566	2.332	0.608						
540	8.420	4.123	3.964	2.715	1.293	2.657	2.405	0.607	7.995	3.711	3.842	2.662	1.293	2.599	2.365	0.616	7.561	3.664	3.764	2.574	1.276	2.538	2.312	0.614						
570	8.541	3.383	3.975	2.747	1.203	2.642	2.360	0.594	7.744	4.265	3.810	2.597	1.333	2.580	2.363	0.620	8.260	3.917	3.898	2.717	1.310	2.642	2.403	0.616						
600	7.923	3.684	3.836	2.641	1.232	2.570	2.320	0.605	7.497	4.131	3.812	2.517	1.353	2.560	2.350	0.617	8.072	3.837	3.927	2.627	1.280	2.611	2.364	0.602						
630	8.370	4.023	3.982	2.694	1.348	2.675	2.436	0.612	8.789	3.844	4.115	2.730	1.289	2.711	2.437	0.592	7.968	4.249	3.885	2.618	1.312	2.605	2.372	0.610						
660	8.902	4.257	4.139	2.753	1.301	2.731	2.456	0.593	7.786	3.597	3.817	2.613	1.230	2.553	2.306	0.604	8.468	4.135	3.966	2.737	1.345	2.683	2.444	0.616						
690	8.276	3.985	3.962	2.670	1.321	2.651	2.409	0.608	7.937	3.948	3.847	2.646	1.328	2.607	2.382	0.619	7.705	3.652	3.787	2.608	1.245	2.547	2.308	0.610						
720	7.887	3.637	3.786	2.667	1.292	2.582	2.354	0.622	7.445	3.949	3.716	2.554	1.281	2.517	2.299	0.619	8.113	3.813	3.878	2.664	1.281	2.608	2.365	0.610						

ANEXO IX

Datos iniciales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 40°C

Tiempo (min)	R1										R2										R3										
	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg
30	5.477	1.840	3.287	2.128	0.786	2.067	1.765	0.537	5.586	1.920	3.259	2.194	0.842	2.098	1.819	0.558	5.571	1.934	3.263	2.184	0.847	2.098	1.821	0.558							
60	5.830	1.997	3.429	2.179	0.829	2.146	1.837	0.536	5.762	1.949	3.376	2.184	0.816	2.125	1.819	0.539	5.512	1.888	3.227	2.183	0.819	2.076	1.794	0.556							
90	5.883	2.040	3.398	2.220	0.861	2.160	1.866	0.549	5.777	1.948	3.367	2.189	0.826	2.127	1.826	0.542	5.756	1.945	3.308	2.228	0.833	2.123	1.831	0.554							
120	5.317	1.864	3.237	2.102	0.811	2.050	1.767	0.546	5.697	1.931	3.319	2.200	0.813	2.111	1.811	0.546	5.542	1.837	3.195	2.219	0.804	2.073	1.786	0.559							
150	5.840	1.979	3.308	2.258	0.839	2.135	1.843	0.557	5.690	1.937	3.372	2.161	0.820	2.118	1.814	0.538	5.739	1.842	3.333	2.204	0.792	2.110	1.799	0.540							
180	5.773	1.962	3.307	2.235	0.824	2.122	1.826	0.552	5.987	1.928	3.431	2.233	0.794	2.153	1.825	0.532	5.335	1.851	3.225	2.114	0.797	2.045	1.758	0.545							
210	5.638	1.861	3.330	2.159	0.770	2.086	1.769	0.531	5.798	1.857	3.299	2.249	0.803	2.117	1.813	0.550	5.680	1.893	3.288	2.205	0.832	2.108	1.820	0.554							
240	5.619	1.856	3.323	2.165	0.787	2.092	1.782	0.536	5.485	1.898	3.287	2.132	0.816	2.079	1.789	0.544	5.696	1.812	3.262	2.233	0.789	2.094	1.791	0.549							
270	6.031	2.090	3.436	2.247	0.867	2.183	1.885	0.548	5.877	1.914	3.387	2.214	0.798	2.133	1.815	0.536	5.512	1.822	3.194	2.205	0.815	2.072	1.791	0.561							
300	5.545	1.885	3.326	2.132	0.805	2.088	1.788	0.537	5.741	1.990	3.320	2.208	0.843	2.124	1.835	0.553	5.359	1.795	3.197	2.145	0.790	2.044	1.757	0.549							
330	5.688	1.935	3.298	2.206	0.828	2.111	1.820	0.552	5.665	1.995	3.313	2.186	0.854	2.117	1.835	0.554	5.818	1.955	3.442	2.163	0.813	2.139	1.822	0.529							
360	5.682	1.887	3.322	2.185	0.807	2.105	1.803	0.543	5.578	1.895	3.238	2.200	0.824	2.087	1.804	0.557	5.541	1.809	3.282	2.165	0.793	2.080	1.779	0.542							
390	5.793	1.950	3.305	2.243	0.831	2.126	1.833	0.555	5.587	1.887	3.274	2.179	0.807	2.087	1.792	0.547	5.736	1.901	3.310	2.219	0.825	2.118	1.823	0.551							
420	5.580	1.953	3.270	2.183	0.834	2.096	1.812	0.554	5.916	2.016	3.323	2.276	0.858	2.152	1.865	0.561	5.466	1.799	3.211	2.170	0.794	2.058	1.769	0.551							
450	5.706	1.996	3.309	2.206	0.856	2.124	1.842	0.557	5.668	1.869	3.294	2.203	0.809	2.102	1.804	0.548	5.540	1.791	3.237	2.191	0.780	2.069	1.769	0.547							
480	5.649	1.912	3.281	2.202	0.812	2.099	1.804	0.550	5.789	1.946	3.357	2.206	0.833	2.132	1.834	0.546	5.750	1.879	3.279	2.241	0.808	2.109	1.811	0.552							
510	5.478	1.896	3.278	2.144	0.788	2.070	1.769	0.540	5.516	1.913	3.297	2.142	0.831	2.090	1.804	0.547	5.652	1.876	3.307	2.183	0.821	2.104	1.810	0.547							
540	5.748	1.923	3.362	2.191	0.825	2.126	1.825	0.543	5.305	1.808	3.184	2.132	0.763	2.026	1.730	0.543	5.740	1.794	3.304	2.223	0.789	2.105	1.796	0.544							
570	5.475	2.148	3.247	2.156	0.882	2.095	1.834	0.565	5.514	1.844	3.225	2.185	0.800	2.070	1.780	0.552	5.807	1.991	3.392	2.193	0.852	2.145	1.850	0.546							
600	5.605	1.987	3.331	2.153	0.828	2.104	1.811	0.544	5.808	1.770	3.429	2.170	0.799	2.133	1.812	0.528	5.660	1.882	3.279	2.211	0.807	2.099	1.802	0.550							
630	5.969	1.941	3.438	2.221	0.813	2.157	1.838	0.535	5.366	1.993	3.271	2.101	0.808	2.060	1.771	0.541	6.487	1.847	3.611	2.301	0.824	2.245	1.899	0.526							
660	5.725	1.985	3.334	2.203	0.847	2.128	1.839	0.552	5.379	1.938	3.234	2.130	0.812	2.058	1.775	0.549	5.893	1.816	3.403	2.216	0.811	2.143	1.829	0.537							
690	5.708	1.880	3.320	2.204	0.817	2.114	1.815	0.547	5.455	1.913	3.311	2.111	0.858	2.093	1.817	0.549	5.549	1.795	3.256	2.177	0.806	2.080	1.788	0.549							
720	6.024	1.978	3.364	2.284	0.822	2.156	1.848	0.549	5.628	1.902	3.315	2.170	0.812	2.099	1.801	0.543	5.850	1.942	3.343	2.235	0.818	2.132	1.828	0.547							



ANEXO X

Datos finales de las propiedades físicas medidos por el método de análisis de imágenes para la temperatura de 40°C

Tiempo (min)	R1										R2										R3																											
	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ	A1	A2	L	W	T	Da	Dg	Φ																
30	5.961	2.275	3.421	2.227	0.905	2.184	1.903	0.556	5.894	2.326	3.329	2.264	0.952	2.182	1.929	0.579	5.728	2.251	3.326	2.203	0.936	2.155	1.900	0.571	6.876	2.952	3.678	2.388	1.061	2.376	2.105	0.572	6.774	2.694	3.603	2.402	0.977	2.327	2.037	0.565	6.432	2.710	3.481	2.356	1.015	2.284	2.027	0.582
60	7.730	3.372	3.836	2.583	1.169	2.529	2.262	0.590	7.537	3.289	3.775	2.541	1.182	2.499	2.246	0.595	6.941	2.810	3.609	2.462	1.040	2.370	2.098	0.582	6.993	3.207	3.637	2.460	1.165	2.421	2.185	0.601	6.992	2.998	3.645	2.456	1.087	2.396	2.135	0.586	6.855	2.988	3.497	2.499	1.102	2.366	2.127	0.608
120	7.829	3.301	3.750	2.668	1.166	2.528	2.268	0.605	7.605	3.324	3.816	2.551	1.186	2.518	2.260	0.592	7.610	3.264	3.775	2.575	1.161	2.504	2.243	0.594	7.696	3.458	3.747	2.622	1.234	2.534	2.297	0.613	8.207	3.642	3.937	2.672	1.237	2.615	2.352	0.597	7.051	3.317	3.667	2.454	1.178	2.433	2.197	0.599
150	7.485	3.262	3.753	2.545	1.135	2.478	2.213	0.590	7.877	3.593	3.804	2.640	1.228	2.557	2.310	0.607	7.764	3.481	3.773	2.625	1.241	2.546	2.308	0.612	7.803	3.677	3.854	2.593	1.247	2.565	2.318	0.602	7.566	3.524	3.766	2.567	1.247	2.527	2.293	0.609	7.944	3.594	3.792	2.677	1.249	2.573	2.332	0.615
180	8.382	3.887	3.968	2.701	1.304	2.658	2.409	0.607	8.026	3.544	3.879	2.639	1.219	2.579	2.319	0.598	7.594	3.499	3.707	2.619	1.232	2.519	2.287	0.617	7.706	3.589	3.853	2.556	1.246	2.552	2.307	0.599	7.819	3.692	3.830	2.609	1.260	2.566	2.326	0.607	7.293	3.456	3.659	2.545	1.244	2.483	2.263	0.618
210	8.075	3.699	3.900	2.653	1.252	2.602	2.349	0.602	7.830	3.653	3.859	2.596	1.284	2.580	2.343	0.607	7.955	3.786	3.952	2.579	1.268	2.599	2.346	0.594	7.884	3.612	3.850	2.611	1.209	2.557	2.299	0.597	7.991	3.625	3.788	2.696	1.265	2.583	2.346	0.619	7.799	3.599	3.853	2.597	1.261	2.570	2.328	0.604
240	7.974	3.705	3.840	2.659	1.247	2.582	2.335	0.608	7.860	3.819	3.825	2.623	1.326	2.591	2.370	0.619	8.215	3.907	3.905	2.694	1.299	2.633	2.391	0.612	7.726	3.774	3.831	2.582	1.328	2.580	2.359	0.616	8.339	3.956	3.898	2.735	1.310	2.648	2.408	0.618	7.603	3.498	3.726	2.600	1.225	2.517	2.281	0.612
270	8.158	4.068	3.936	2.654	1.354	2.648	2.418	0.614	7.934	3.748	3.849	2.639	1.268	2.585	2.344	0.609	7.686	3.478	3.758	2.618	1.186	2.521	2.268	0.604	7.952	3.746	3.831	2.654	1.257	2.580	2.338	0.610	8.302	3.916	3.964	2.677	1.289	2.643	2.391	0.603	7.899	3.794	3.802	2.651	1.279	2.577	2.345	0.617
300	7.774	4.009	3.818	2.606	1.320	2.581	2.359	0.618	7.808	3.647	3.867	2.586	1.252	2.568	2.322	0.600	7.931	3.614	3.816	2.650	1.251	2.572	2.330	0.611	8.030	3.848	3.917	2.625	1.303	2.615	2.375	0.606	7.627	3.757	3.750	2.594	1.269	2.538	2.311	0.616	8.070	3.734	3.861	2.669	1.265	2.598	2.353	0.610
330	7.664	3.924	3.791	2.587	1.285	2.554	2.354	0.614	7.733	3.580	3.760	2.616	1.261	2.546	2.315	0.616	8.654	4.141	4.077	2.720	1.346	2.714	2.462	0.604	7.664	3.924	3.791	2.587	1.285	2.554	2.327	0.614	7.733	3.580	3.760	2.616	1.261	2.546	2.315	0.616	8.654	4.141	4.077	2.720	1.346	2.714	2.462	0.604
360	7.811	3.854	3.860	2.583	1.276	2.573	2.334	0.605	8.505	3.930	4.055	2.686	1.345	2.695	2.447	0.603	8.264	3.985	3.896	2.708	1.319	2.641	2.405	0.617	6.630	3.968	4.041	2.733	1.267	2.680	2.410	0.596	7.879	4.184	3.872	2.606	1.307	2.595	2.363	0.610	9.334	3.916	4.217	2.834	1.299	2.783	2.495	0.592
390	8.512	4.061	3.999	2.729	1.342	2.690	2.446	0.612	7.724	3.929	3.828	2.582	1.284	2.565	2.333	0.609	8.275	3.829	3.938	2.680	1.293	2.637	2.390	0.607	8.521	3.867	3.991	2.737	1.309	2.679	2.427	0.608	8.118	3.997	3.971	2.618	1.364	2.651	2.420	0.609	7.789	3.756	3.851	2.579	1.299	2.576	2.345	0.609
420	8.437	4.027	3.926	2.743	1.323	2.664	2.425	0.618	7.851	3.960	3.871	2.594	1.325	2.597	2.370	0.612	8.416	3.970	3.941	2.729	1.285	2.651	2.399	0.609	7.774	4.009	3.818	2.606	1.320	2.581	2.359	0.618	7.808	3.647	3.867	2.586	1.252	2.568	2.322	0.600	7.931	3.614	3.816	2.650	1.251	2.572	2.330	0.611
450	8.030	3.848	3.917	2.625	1.303	2.615	2.375	0.606	7.627	3.757	3.750	2.594	1.269	2.538	2.311	0.616	8.070	3.734	3.861	2.669	1.265	2.598	2.353	0.610	7.664	3.924	3.791	2.587	1.285	2.554	2.327	0.614	7.733	3.580	3.760	2.616	1.261	2.546	2.315	0.616	8.654	4.141	4.077	2.720	1.346	2.714	2.462	0.604
480	7.811	3.854	3.860	2.583	1.276	2.573	2.334	0.605	8.505	3.930	4.055	2.686	1.345	2.695	2.447	0.603	8.264	3.985	3.896	2.708	1.319	2.641	2.405	0.617	6.630	3.968	4.041	2.733	1.267	2.680	2.410	0.596	7.879	4.184	3.872	2.606	1.307	2.595	2.363	0.610	9.334	3.916	4.217	2.834	1.299	2.783	2.495	0.592
510	8.512	4.061	3.999	2.729	1.342	2.690	2.446	0.612	7.724	3.929	3.828	2.582	1.284	2.565	2.333	0.609	8.275	3.829	3.938	2.680	1.293	2.637	2.390	0.607	8.521	3.867	3.991	2.737	1.309	2.679	2.427	0.608	8.118	3.997	3.971	2.618	1.364	2.651	2.420	0.609	7.789	3.756	3.851	2.579	1.299	2.576	2.345	0.609
540	8.437	4.027	3.926	2.743	1.323	2.664	2.425	0.618	7.851	3.960	3.871	2.594	1.325	2.597	2.370	0.612	8.416	3.970	3.941	2.729	1.285	2.651	2.399	0.609	7.774	4.009	3.818	2.606	1.320	2.581	2.359	0.618	7.808	3.647	3.867	2.586	1.252	2.568	2.322	0.600	7.931	3.614	3.816	2.650	1.251	2.572	2.330	0.611
570	7.664	3.924	3.791	2.587	1.285	2.554	2.327	0.614	7.733	3.580	3.760	2.616	1.261	2.546	2.315	0.616	8.654	4.141	4.077	2.720	1.346	2.714	2.462	0.604	7.664	3.924	3.791	2.587	1.285	2.554	2.327	0.614	7.733	3.580	3.760	2.616	1.261	2.546	2.315	0.616	8.654	4.141	4.077	2.720	1.346	2.714	2.462	0.604
600	7.811	3.854	3.860	2.583	1.276	2.573	2.334	0.605	8.505	3.930	4.055	2.686	1.345	2.695	2.447	0.603	8.264	3.985	3.896	2.708	1.319	2.641	2.405	0.617	6.630	3.968	4.041	2.733	1.267	2.680	2.410	0.596	7.879	4.184	3.872	2.606	1.307	2.595	2.363	0.610	9.334	3.916	4.217	2.834	1.299	2.783	2.495	0.592
630	8.512	4.061	3.999	2.729	1.342	2.690	2.446	0.612	7.724	3.929	3.828	2.582	1.284	2.565	2.333	0.609	8.275	3.829	3.938	2.680	1.293	2.637	2.390	0.607	8.521	3.867	3.991	2.737	1.309	2.679	2.427	0.608	8.118	3.997	3.971	2.618	1.364	2.651	2.420	0.609	7.789	3.756	3.851	2.579	1.299	2.576	2.345	0.609
660	8.437	4.027	3.926	2.743	1.323	2.664	2.425	0.618	7.851	3.960	3.871	2.594	1.325	2.597	2.370	0.612	8.416	3.970	3.941	2.729	1.285	2.651	2.399	0.609	7.774	4.009	3.818	2.606	1.320	2.581	2.359	0.618	7.808	3.647	3.867	2.586	1.252	2.568	2.322	0.600	7.931	3.614	3.816	2.650	1.251	2.572	2.330	0.611
690	7.664	3.924	3.791	2.587	1.285	2.554	2.327	0.614	7.733	3.580	3.760	2.616	1.261	2.546	2.315	0.616	8.654	4.141	4.077	2.720	1.346	2.714	2.462	0.604	7.664	3.924	3.791	2.587	1.285	2.554	2.327	0.614	7.733	3.580	3.760	2.616	1.261	2.546	2.315	0.616	8.654	4.141	4.077	2.720	1.346	2.714	2.462	0.604
720	7.811	3.854	3.860	2.583	1.276	2.573	2.334	0.605	8.505	3.930	4.055	2.686	1.345	2.695	2.447	0.603	8.264	3.985	3.896	2.708	1.319	2.641	2.405	0.617	6.630	3.968	4.041	2.733	1.267	2.680	2.410	0.596	7.879	4.184	3.872	2.606	1.307	2.595	2.363	0.610	9.334	3.916	4.217	2.834	1.299	2.783	2.495	0.592
750	8.512	4.061	3.999	2.729	1.342	2.690	2.446	0.612	7.724	3.929	3.828	2.582	1.284	2.565	2.333	0.609	8.275	3.829	3.938	2.680	1.293	2.637	2.390	0.607	8.521	3.867	3.991	2.737	1.309	2.679	2.427	0.608	8.118	3.997	3.971	2.618	1.364	2.651	2.420	0.609	7.789	3.756	3.851	2.579	1.299	2.576	2.345	0.609
780	8.437	4.027																																														

ANEXO XI

Curvas del incremento del diámetro aritmético y diámetro geométrico

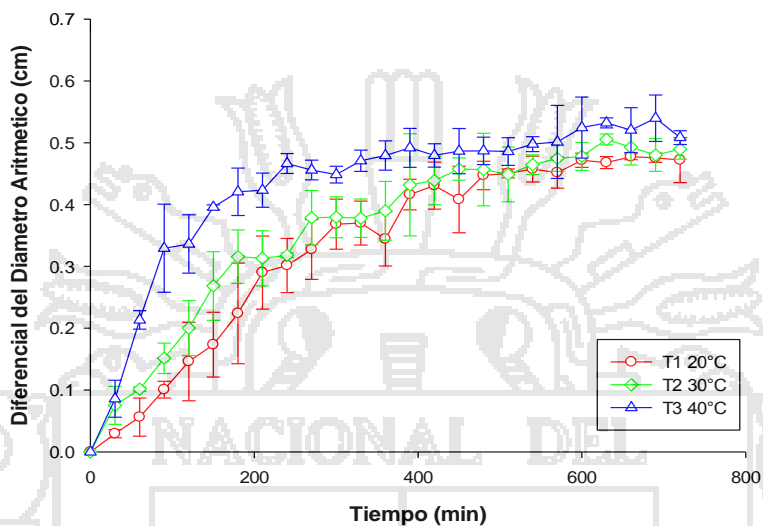


Figura 21: Curvas del incremento del Diámetro Aritmético a diferentes temperaturas de rehidratación.

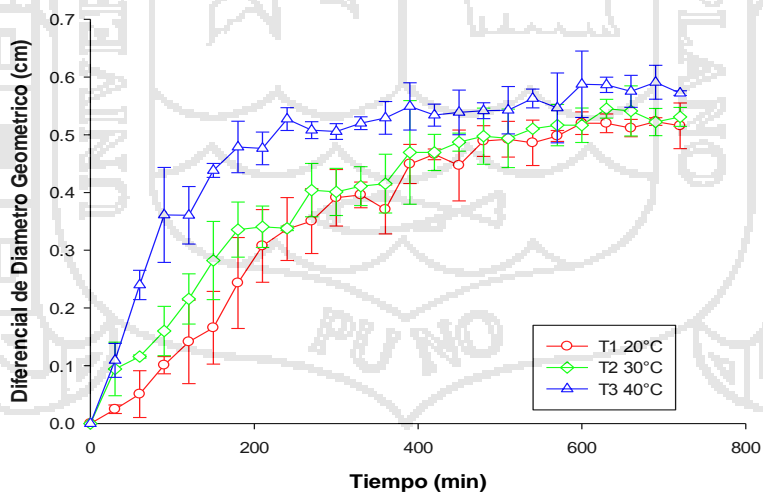


Figura 22: Curvas del incremento del Diámetro Geométrico a diferentes temperaturas de rehidratación