

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COCCIÓN DE TRES
VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) PERUANA
UTILIZANDO ANÁLISIS DE IMÁGENES**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RUBEN ANGEL VILCA CCASA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO – PERU

2013

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

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COCCIÓN DE TRES VARIEDADES DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) PERUANA UTILIZANDO ANÁLISIS DE IMÁGENES

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RUBEN ANGEL VILCA CCASA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

.....
Ph.D. Juan Marcos ARO ARO

PRIMER MIEMBRO

:

.....
Ing. M.Sc. Florentino V. CHOQUEHUANCA CÁCERES

SEGUNDO MIEMBRO

:

.....
Ing. M.Sc. Roger SEGURA PEÑA

DIRECTOR DE TESIS

:

.....
Dr. Wenceslao Teddy MEDINA ESPINOZA

ASESOR DE TESIS

:

.....
Dra. María Paz Asunción LUNA ARRIAGADA


PUNO – PERU

2013

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

DEDICATORIA



*A mis queridos padres con cariño Mariano Vilca y
Rosaría Ccasa, quienes me brindaron todo su apoyo
y confianza. A ellos mi eterna gratitud.*

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por haber contribuido en mi formación profesional, mediante la enseñanza de los docentes.

A mis padres y hermanos(as) quienes me impulsaron a seguir adelante y me dieron ánimo y fuerza en todo momento.

A mi director de tesis Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza por haber confiado en mi persona, por su disposición y apoyo incondicional brindado y a la Dra. María Paz Asunción Luna Arriagada por su asesoramiento durante la ejecución de este trabajo de investigación.

A los miembros del jurado Ph.D. Juan Marcos Aro Aro por sus valiosos comentarios y acertadas sugerencias, al Ing. M.Sc. F. Víctor Choquehuanca Cáceres por su atenta lectura y correcciones de este trabajo de investigación y al Ing. M.Sc. Roger Segura Peña.

Al Sr. Rufino Aroni Acero por su disposición y apoyo durante la ejecución de este trabajo de investigación.

A mis amigos: Edhy, Deysi, Mirian, Edwin, Jesús, Helmer, Pelayo, Paul, Elvis, Heliam, Beatriz, Vidman y de más amigos quienes me apoyaron y dieron su aliento durante la realización de este trabajo de investigación. Siempre los tendré presente.

Gracias a todos...!

ÍNDICE GENERAL

Pág.

ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE SIGLAS	
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. LA PAPA (<i>Solanum tuberosum</i> L.).....	4
2.1.1. GENERALIDADES.....	4
2.1.2. DESCRIPCIÓN.....	4
2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PAPA	5
2.2. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	5
2.3. ETAPAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	6
2.3.1. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES.....	7
2.3.1.1. Características de toma de una imagen	7
2.3.1.1.1. Iluminación	8
2.3.1.1.2. Contraste	8
2.3.1.1.3. Dinámica	8
2.3.2. PRE-PROCESAMIENTO DE IMAGEN.....	9
2.3.3. SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES.....	9
2.3.4. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS.....	10
2.3.4.1. Área en una imagen	10

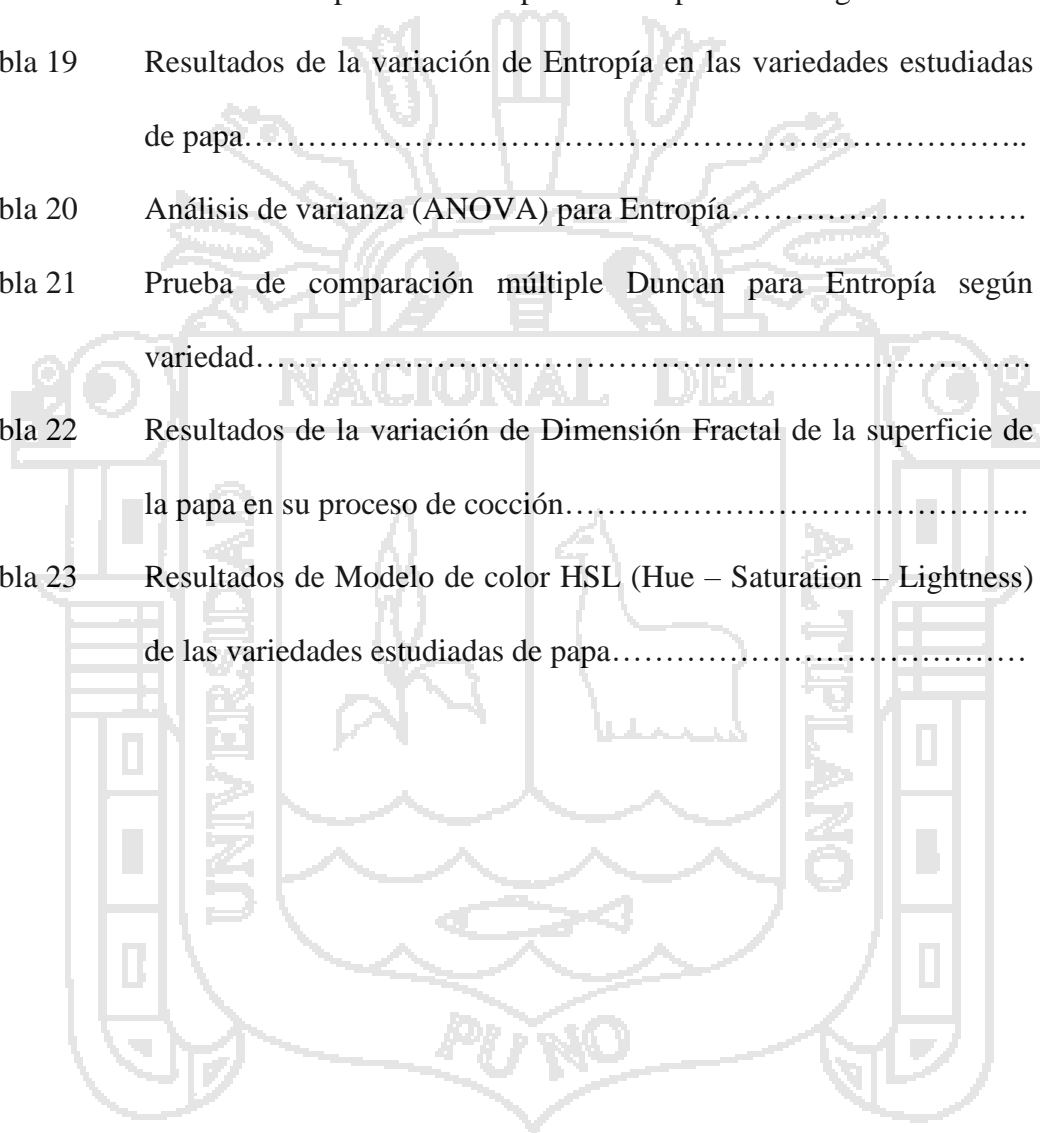
2.3.4.2. Características texturales	11
2.3.4.2.1. Matriz de Co-ocurrencia en Nivel de Gris o Grey Level Co- occurrence Matrix (GLCM).....	12
2.3.4.2.2. Dimensión Fractal.....	16
2.3.4.3. Características de color	16
2.3.4.3.1. Imágenes RGB	17
2.3.4.3.2. Modelo de color HSL.....	19
2.3.4.3.3. Conversión de RGB a HLS.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	21
3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL.....	22
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	22
3.3.1. Materiales	22
3.3.2. Equipos de laboratorio.....	23
3.3.3. Software.....	23
3.3.4. Sistema de iluminación.....	23
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	24
3.4.1. Descripción del proceso experimental.....	25
3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	28
3.5.1. Determinación del perfil de cocimiento	28
3.5.2. Determinación de descriptores estadísticos de textura	29
3.5.3. Determinación de color RGB	30
3.6. UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES.....	30
3.6.1. Variables de estudio	30
3.6.2. Variables de respuesta.....	31

3.6.3. Indicadores	31
3.7. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DEL ÁREA COCIDA DE LAS VARIEDADES ESTUDIADAS DE PAPA.....	34
4.2. DETERMINACIÓN DE DESCRIPTORES ESTADÍSTICOS DE TEXTURA	39
4.2.1. Segundo Momento Angular	42
4.2.2. Contraste.....	46
4.2.3. Momento Inverso de Diferencia	50
4.2.4. Entropía.....	54
4.2.5. Determinación de Dimensión Fractal.....	57
4.3. DETERMINACION DEL MODELO DE COLOR HSL.....	59
V. CONCLUSIONES.....	63
VI. RECOMENDACIONES	64
VII. BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Composición química promedio de la papa.....	5
Tabla 2	Valores de las coordenadas en cubo de color.....	18
Tabla 3	Características generales de las variedades de papa utilizadas en el estudio.....	21
Tabla 4	Formato para recolección de datos.....	33
Tabla 5	Parámetros de la Ecuación de Peleg utilizada en el ajuste de los datos de la proporción del área cocida de papas Variedad Ccompis, Imilla Negra y Peruanita a una temperatura de cocción de $84.5 \pm 2^{\circ}\text{C}$	37
Tabla 6	Análisis de varianza (ANOVA) para proporción cocida.....	38
Tabla 7	Prueba de comparación múltiple Duncan para proporción de área cocida según tiempo.....	38
Tabla 8	Resultados de la variación del Segundo Momento Angular durante el proceso de cocción de variedades estudiadas de papa.....	42
Tabla 9	Análisis de varianza (ANOVA) para Segundo Momento Angular.....	44
Tabla 10	Prueba de comparación múltiple Duncan para ASM según tiempo....	45
Tabla 11	Resultados de la variación de Contraste en las variedades estudiadas de papa.....	46
Tabla 12	Análisis de varianza (ANOVA) para Contraste.....	48
Tabla 13	Prueba de comparación múltiple Duncan para contraste según variedad.....	49
Tabla 14	Prueba de comparación múltiple Duncan para contraste según tiempo.....	49

Tabla 15	Resultados de la variación de parámetro de homogeneidad Momento Inverso de Diferencia en las variedades estudiadas de papa.....	50
Tabla 16	Análisis de varianza (ANOVA) para IDM.....	52
Tabla 17	Prueba de comparación múltiple Duncan para IDM según variedad....	53
Tabla 18	Prueba de comparación múltiple Duncan para IDM según variedad....	53
Tabla 19	Resultados de la variación de Entropía en las variedades estudiadas de papa.....	54
Tabla 20	Análisis de varianza (ANOVA) para Entropía.....	56
Tabla 21	Prueba de comparación múltiple Duncan para Entropía según variedad.....	57
Tabla 22	Resultados de la variación de Dimensión Fractal de la superficie de la papa en su proceso de cocción.....	57
Tabla 23	Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de las variedades estudiadas de papa.....	59



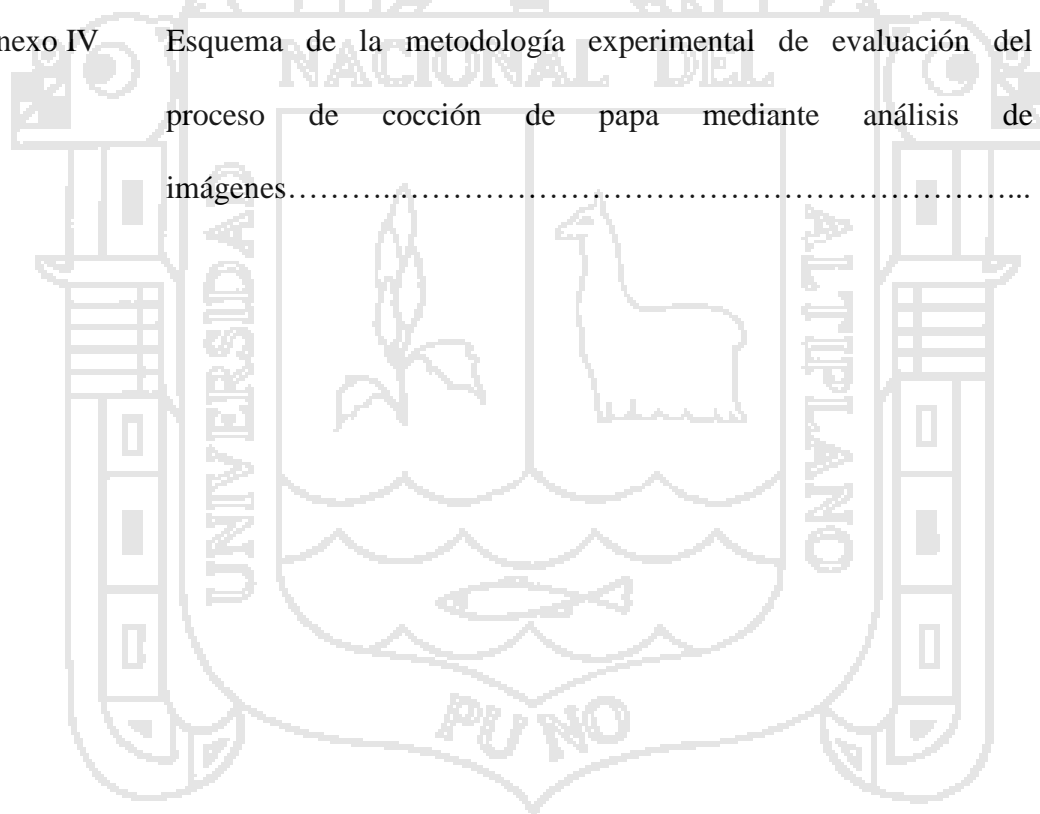
ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Representación de una imagen digital.....	6
Figura 2	Etapas de procesamiento digital de imágenes.....	7
Figura 3	Códigos de cadena basados en las vecindades 4-vecinos (a) y 8-vecinos (b).....	10
Figura 4	Ejemplo de la matriz de co-ocurrencia de nivel de grises (GLCM)...	13
Figura 5	Representación del espacio de color RGB como cubo unitario.....	18
Figura 6	Modelo de color HSL (Tonalidad, Saturación y Luminosidad).....	19
Figura 7	Diagrama de flujo para el estudio del proceso de cocción de papa con análisis de imágenes.....	24
Figura 8	Sistema de adquisición de imágenes.....	27
Figura 9	Procedimiento para determinar la proporción cocida. (a) imagen original, (b) imagen filtrada, (c) imagen ajustada, (d) filtro Canny, (e) imagen dilatada, (f) imagen con función holes, (g) imagen binaria y (h) área total.....	28
Figura 10	Procedimiento utilizado en la determinación de los descriptores de textura, (a) imagen original, (b) área seleccionada y (c) área en escala de grises.....	29
Figura 11	Determinación de color RGB, (a) área seleccionada, (b) analices de medias de RGB y (c) resultados.....	30
Figura 12	Resultados de la determinación de la proporción de área cocida de papas (variedades Ccompis, Imilla Negra y Peruanita) durante su proceso de cocción en agua a una temperatura de $84.5 \pm 2^{\circ}\text{C}$	35

Figura 13	Resultados experimentales de la proporción de área cocida de papas variedades Ccompis, Imilla Negra y Peruanita en función del tiempo de cocción y ajuste de los datos experimentales al Modelo de Peleg.....	36
Figura 14	Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción, (a) imagen original y (b) imagen en escala de grises.....	41
Figura 15	Variación del Segundo Momento Angular durante el tiempo de cocción de papas de las variedades Ccompis, Imilla Negra y Peruanita.....	43
Figura 16	Variación de la evaluación de Contraste durante el tiempo de cocción de las variedades de papa estudiadas.....	47
Figura 17	Variación de la evaluación del Momento Inverso de Diferencia durante el tiempo de cocción.....	53
Figura 18	Variación de Entropía de las variedades estudiadas de papa Ccompis, Imilla Negra y Peruanita durante el tiempo de cocción....	55
Figura 19	Variación de Dimensión Fractal de las variedades estudiadas de papa Ccompis, Imilla Negra y Peruanita durante su proceso de cocción.....	57
Figura 20	Parámetros de color de las tres variedades de papa a diferentes tiempos de cocción. Luminancia y Tonalidad (°).....	60
Figura 21	Parámetros de color de las tres variedades de papa a diferentes tiempos de cocción. Saturación (%) y Tonalidad (°).....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.	
Anexo I	Resultados de la segmentación de imágenes de cada papa a diferentes tiempos de cocción, obtenidas de la implementación de algoritmo en MATLAB.....	72
Anexo II	Resultados de la segmentación de color RGB en ImageJ. de las tres variedades estudiadas y convertidas a modelo HSL.....	73
Anexo III	Rangos de diámetro (D) mayor (mm), menor (mm) y peso (g) según el calibre y la variedad de papa.....	75
Anexo IV	Esquema de la metodología experimental de evaluación del proceso de cocción de papa mediante análisis de imágenes.....	76



ÍNDICE DE SIGLAS

ANOVA	: Analysis Of Variance; Análisis de Varianza
ASM	: Angular Second Moment; Segundo Momento Angular
CIP	: Centro Internacional de la Papa
CM	: Cuadrados Medios
CT	: Contraste
DF	: Dimensión Fractal
ET	: Entropía
GLCM	: Grey Level Co-occurrence Matrix; Matriz de Co-ocurrencia en Nivel de Gris
HSL	: Hue-Saturation-Lightness; Tonalidad-Saturación-Luminosidad
IDM	: Inverse Difference Moment; Momento Inverso de Diferencia
LED	: Light Emiting Diode Technology
LS	: Limite de Significancia
RGB	: Red (R), Green (G) y Blue (B)
RMSE	: Root Mean Square Error; Error cuadrático medio

RESUMEN

El Perú es un país con la mayor diversidad de variedades nativas de papa, siendo tradicional de la sierra peruana donde sus variedades llegan a más de 4000. Una de las formas de consumo de papas es a través del proceso de cocción, lo que causa modificaciones en su estructura interna. El objetivo general del presente trabajo de investigación fue evaluar los cambios en las características físicas internas de la papa durante el proceso de cocción a diferentes tiempos mediante análisis de imágenes. El método empleado fue la cocción de unidades individuales de papa de cada variedad y el registro de la variación de los cambios de su textura interna entre los 0 y 33 minutos de cocción determinando la proporción de área cocida, la variación de su textura mediante el ASM, CT, IDM, ET y DF determinados por el método de GLCM y la variación del color en escala HSL. Los resultados obtenidos indican que la variedad Peruanita alcanza la mayor proporción de área cocida en 15 minutos de proceso y es la que con facilidad se cuece completamente a los 21 minutos. Las variedades Ccompis e Imilla Negra alcanzan el perfil completo a los 12 minutos de cocción y completándose la cocción a los 33 y 30 minutos respectivamente. Los descriptores estadísticos de textura para la Peruanita están entre ASM 0.003 y 0.011, CT 3.354 y 8.673, IDM 0.508 y 0.683, ET 2.243 y 2.724 y DF -2.104 y -2.461 siendo la variedad menos uniforme, muy heterogénea y desordenada en su estructura interna y los valores de Ccompis e Imilla Negra varían de manera similar ASM 0.004 y 0.009, CT 2.114 y 7.839, IDM 0.575 y 0.731, ET 2.256 y 2.701 y DF -2.114 y -2.519 presentando uniformidad y homogeneidad en su textura y siendo la Ccompis la que menos se desordena. La Tonalidad (H) de las tres variedades de papa está entre 55° y 60°, la Saturación (S) de Ccompis e Imilla Negra esta entre 20 y 43% y de la Peruanita 53 y 65% por tener un color amarillento intenso o más puro y los valores de Luminosidad (L) varían entre 153 a 203 siendo el color de la papa entre el amarillo pálido a amarillo intenso.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es uno de los países con la mayor diversidad mundial de variedades de papa, este cultivo es tradicional de la sierra peruana donde sus variedades llegan a más de 4000, constituyendo un hábitat apropiado para este tipo de cultivo donde su cultivo va desde los 3500 a los 4200 m.s.n.m.

La papa constituye una de las potencialidades del sector agroindustrial en los procesos productivos del sector rural andina. La demanda de consumo de la papa se debe a que es un alimento saludable, económico y proporciona un elevado porcentaje de hidratos de carbono (18-30%), proteínas (2%), vitamina C, potasio y baja cantidad de grasa.

La papa una vez cosechada se destina tanto para consumo fresco e industrial, entre las formas de consumo fresco están: el sancochado, la fritura, el horneado y la elaboración de puré y en el uso industrial en las formas de prefritas, congeladas y deshidratadas.

El sancochado o cocción es considerada como la operación capaz de modificar la estructura físico y/o químico, la apariencia, el aspecto, la textura, el color conforme transcurre el tiempo. El presente estudio se efectuó con la finalidad de evaluar estos cambios físicos que se producen en la estructura interna de la papa durante el proceso de cocción mediante análisis de imágenes; que es una técnica que consiste en la digitalización de imágenes que son convertidas en matrices de puntos y una imagen puede ser definida como una función bidimensional de intensidad de luz $f(x,y)$, donde x e y representan las coordenadas espaciales y el valor de f en un punto cualquiera (x, y) es proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto. Una imagen digital es una imagen $f(x,y)$ que se ha discretizado tanto en las coordenadas espaciales como en el brillo; y puede considerarse como una matriz cuyos índices de fila y de columna identifican un punto de la imagen y el valor del correspondiente elemento de la matriz indica el nivel de gris en ese

punto, se evaluaron las características de perfil de cocimiento, texturales y cromáticas, para diferenciarlo de otras variedades nativas y sea útil como base para establecer una caracterización estructural de perfil de cocción de la papa.

Para tal fin se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar los perfiles de cocimiento de papa variedad Ccompis, Imilla Negra y Peruanita a diferentes tiempos de cocción.
2. Determinar los cambios de textura de papa variedad Ccompis, Imilla Negra y Peruanita a diferentes tiempos de cocción.
3. Determinar los cambios en el color de papa variedad Ccompis, Imilla Negra y Peruanita a diferentes tiempos de cocción.



II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.)

2.1.1. GENERALIDADES

Los agricultores de las zonas alto andinas de Perú, Bolivia y Ecuador cultivan tradicionalmente cientos de variedades diferentes de papas nativas. Seleccionadas durante siglos por su sabor, textura, forma y color, estas variedades de papa están muy bien adaptadas a las duras condiciones de los Andes a alturas máximas de 4200 m.s.n.m. Por lo general, los agricultores producen estas variedades nativas, sin usar agroquímicos o usándolos en cantidades mínimas (CIP, 2009).

De acuerdo a la evidencia encontrada en sitios cercanos a Ayacucho, al centro sur de los Andes, se encuentran dentro del centro de origen de la papa apoyado en los estudios que indican una gran riqueza de especies silvestres en el norte y centro del Perú (en el actual departamento de Ancash, el sur de Cajamarca, La Libertad y Lima) y en el área del departamento del Cusco al sur del Perú (Cowan y Watson, 1992). Una investigación más reciente realizada por Watanabe *et al.*, (2008) proporcionó mayor evidencia sobre un lugar más específico de origen en el Perú al norte del lago Titicaca.

2.1.2. DESCRIPCIÓN

Es una herbácea anual que alcanza una altura aproximadamente de un metro y produce un tubérculo (papa), con tan abundante contenido de almidón que ocupa el cuarto lugar mundial en importancia como alimento después del maíz, el trigo y el arroz. La papa pertenece a la familia de floríferas de las solanáceas, del género *Solanum*. El *S. tuberosum*, es tuberosa, perenne a través de sus tubérculos, caducifolia (ya que pierde sus hojas y tallos aéreos en la estación fría), de tallo erecto o semi – decumbente (Lujan, 1990).

2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PAPA

La composición química de la papa depende principalmente de las características genéticas, sin embargo, tubérculos de la misma planta pueden diferir notablemente en la composición química. Además, la composición se ve afectada por varios factores como: variedad, zonas de crecimiento, formas de cultivo, almacenamiento, madurez de cosecha etc. (Anderson, 1994). En la Tabla 1 se presentan la composición química de la papa.

Tabla 1. Composición química promedio de la papa

Sustancias	Rango (%)	Promedio (%)
Agua	63,2 - 86,9	77,5
Materia seca	13,1 - 36,8	23,7
Almidón	8,0 - 29,4	20
Proteína cruda	0,69 - 4,63	2
Cenizas	0,44 - 1,87	1,1
Fibra cruda	0,17 - 3,48	0,71
Ácidos orgánicos	0,4 - 1,0	0,6
Azúcares totales	0,05 - 8,0	0,5
Nitrógeno total	0,11 - 0,74	0,32
Azúcares reductores	0 - 0,5	0,3
Lípidos	0,02 - 0,2	0,12
Sustancias pépticas	0,2 - 1,5	-

Fuente: Anderson (1994).

2.2. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El campo del procesamiento de imágenes deriva en dos áreas principalmente: mejorar la información pictórica para la percepción humana, incluyendo la impresión y transmisión y procesar los datos de una escena para la percepción autónoma por una máquina. Una imagen digital se define como una imagen descrita por la función $f(x, y)$, donde x e y son las coordenadas espaciales y f representa la intensidad de esas

coordenadas. Las coordenadas espaciales se relacionan con la resolución de la imagen entre mayor sea el valor que adquieran, mayor será la resolución. De esta forma $x \in [1, x^{max}]$ y $y \in [1, y^{max}]$. También puede considerarse como una matriz cuyos índices de fila y columna identifican un punto de la imagen y el valor correspondiente al elemento de la matriz indica el nivel de color en ese punto y los elementos de esa distribución digital se conocen como píxeles (García, 2010) como se muestra en la Figura 1. La cantidad de valores empleados para describir un píxel depende de cuanta información es empleada para representar el color de tales elementos de la imagen (Barrera, 2010).

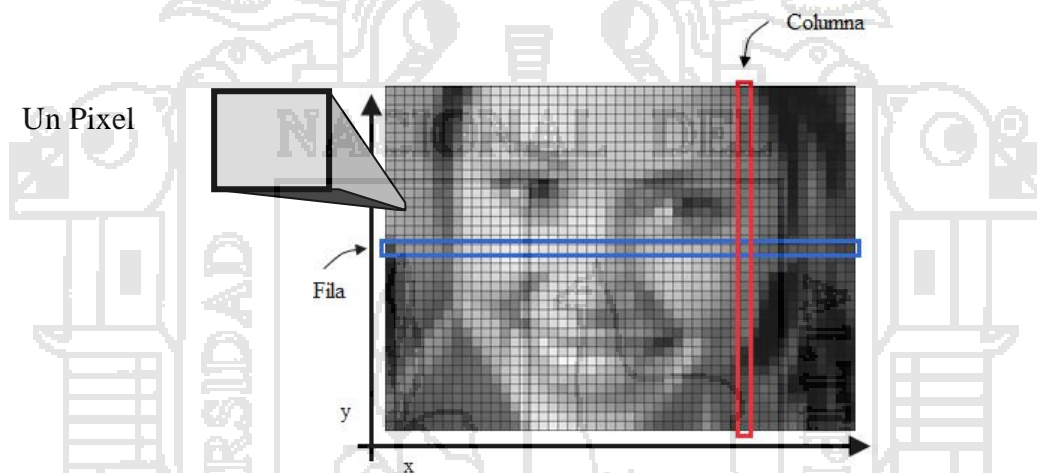


Fig. 1. Representación de una imagen digital (García, 2010)

Cuando las imágenes son en blanco y negro solo se requiere de una función y los valores de un píxel son 0 (negro) y 1 (blanco). En una imagen en escala de grises, permite 256 niveles de grises, donde, 0 es negro y 256 blanco. En cambio una imagen a color necesita de tres funciones independientes f_1 , f_2 y f_3 , en las cuales se representa la intensidad del píxel para cada componente (RGB) (Barrera, 2010; García, 2010).

2.3. ETAPAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El proceso de análisis de imágenes consta de cinco etapas descrito por Du y Sun (2004), como se muestra en la Figura 2, que es (1) operaciones de adquisición de imagen

para convertir imágenes en forma digital; (2) pre-procesamiento operaciones para obtener una imagen mejorada con las mismas dimensiones como la imagen original; (3) las operaciones de segmentación de imagen para dividir en partes una imagen digital en regiones disjuntas y poco imbricadas; (4) las operaciones de medida del objeto para medir las características de objetos, como el tamaño, la forma, el color y la textura; y (5) las operaciones de clasificación e interpretación de características.

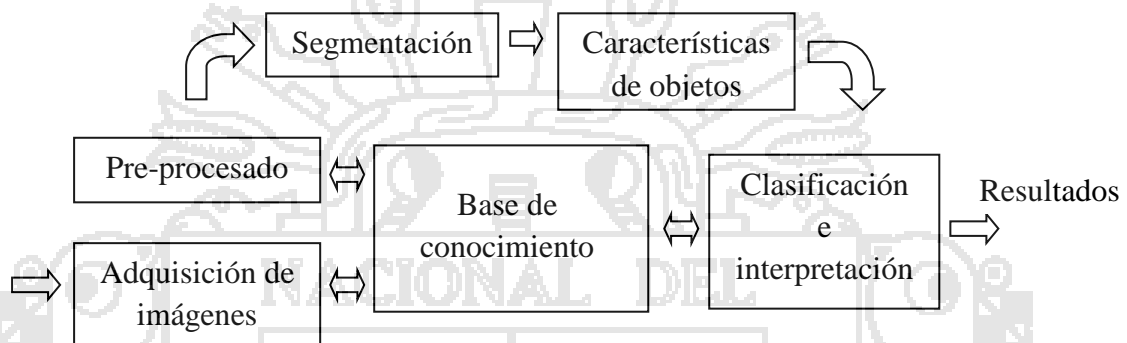


Fig. 2. Etapas de procesamiento digital de imágenes (Mery y Pedreschi, 2005)

2.3.1. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

El proceso se inicia con la etapa de adquisición de imágenes, donde el objeto en estudio es capturado y almacenado en el computador. Cuando se adquieren imágenes, es importante considerar el efecto de la intensidad de la iluminación y la orientación relativa de la muestra a la fuente de iluminación, ya que el nivel de gris de los píxeles está determinado no sólo por las características físicas de la superficie, sino también por esos dos parámetros (Pedreschi *et al.*, 2006).

2.3.1.1. Características de toma de una imagen

Cuevas *et al.*, (2010) mencionan que el contraste y la dinámica, son problemas que son producidos durante la toma de la imagen y generan consecuencias para las siguientes etapas de procesamiento:

2.3.1.1.1. Iluminación

Los errores de la iluminación son reconocidas en el histograma porque la región final o inicial de la escala de intensidad no es utilizada, mientras que en las otras regiones del histograma son ocupadas por valores de intensidad de píxeles.

2.3.1.1.2. Contraste

Como contraste se entiende el campo de valores de intensidad que en una imagen concreta son utilizadas, en pocas palabras la diferencia entre máximo y mínimo valor de intensidad de los píxeles presentes en la imagen. Una imagen con un contraste completo utiliza el intervalo completo de niveles de intensidad definidos para la imagen $a = a_{\min} \dots a_{\max} = 0 \dots K - 1$ (de negro a blanco). El contraste de una imagen se observa a través de un histograma y el histograma producido.

2.3.1.1.3. Dinámica

Bajo el término de dinámica se entiende el número de píxeles diferentes que son utilizados en la imagen. El caso ideal para una imagen resulta cuando es utilizado el rango completo de valores de intensidad disponibles K para la imagen en cuestión, en este caso la región de valores es cubierta completamente. Una imagen cubra una región de valores de intensidad $a = a_{\min} \dots a_{\max}$ más pequeña que la completa con:

$$a_{\min} > 0 \text{ y } a_{\max} < 255 \quad (1)$$

La cual alcanza su máximo rango dinámico cuando todos los valores de intensidad en ese intervalo están presentes en la imagen. Una dinámica alta presenta para una imagen una ventaja porque se reduce el riesgo de perder calidad en la imagen a través de las siguientes etapas de procesamiento.

2.3.2. PRE-PROCESAMIENTO DE IMAGEN

A través del pre-procesamiento, la calidad de las imágenes digitales es mejorada antes de que sean analizadas. Algunas de las técnicas empleadas en el pre-procesamiento son eliminación de ruidos de la imagen y mejora del contraste a través del filtrado digital, problemas que son causados por deficiencias en la iluminación. Además, en esta etapa la imagen en color se convierte en una imagen en escala de grises, con la finalidad de mejorar la calidad de la imagen (Castleman, 1996).

2.3.3. SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES

La segmentación subdivide una imagen en sus partes constituyentes u objetos, con el fin de separar las partes de interés del resto de la imagen, por lo tanto el nivel al que se lleva a cabo esta subdivisión depende del problema a resolver. En el proceso de detectar las partes en una imagen se identifican bordes de la imagen, o se segmenta está en regiones, líneas o curvas, etc. Otra definición considera a la segmentación como la clasificación de los puntos de la imagen (píxeles), indicando las clases a la que pertenecen los diferentes píxeles. Los atributos básicos de segmentación de una imagen son: la luminancia en imágenes monocromáticas, los componentes de color en imágenes en color, textura, forma, etc. (Gonzales y Woods, 1996).

La intensidad de la imagen se utiliza para identificar regiones disjuntas de la imagen con el fin de separar la parte de interés del fondo. Esta imagen segmentada es una imagen binaria compuesta sólo de píxeles blanco y negro, donde "0" (negro) y "1" (blanco) significan fondo y objeto, respectivamente (Morales, 2008).

Dentro de las metodologías para realizar la segmentación de una imagen, se encuentra:

Segmentación basada en características:

- Segmentación por niveles de gris
- Segmentación de imágenes en color
- Segmentación por texturas

2.3.4. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

2.3.4.1. Área en una imagen

Cuevas *et al.*, (2010) mencionan que un objeto O de una imagen binaria puede ser interpretada como una distribución de puntos de valor uno $\mathbf{x}_i = (x, y)$ en una rejilla bidimensional, esto es:

$$O = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_N\} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\} \quad (2)$$

El cálculo de características geométricas es bajo un criterio de vecindad, como se muestra en la Figura 3.

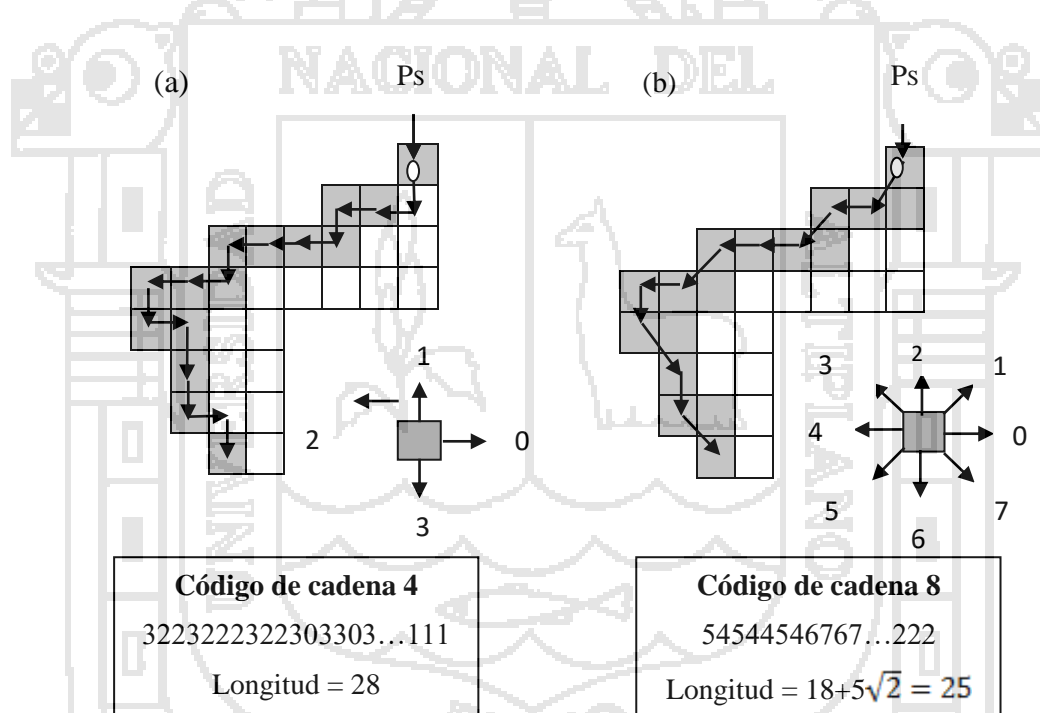


Fig. 3. Códigos de cadena basados en las vecindades 4-vecinos (a) y 8-vecinos (b) (Cuevas *et al.*, 2010)

Para el cálculo de los códigos de cadena es necesario recorrer el contorno a partir del punto de inicio o de referencia P_s . La posición relativa de los píxeles vecinos pertenecientes al contorno, basados en alguna vecindad, determinan el valor de dirección codificado.

En el caso de una vecindad 8 – vecinos los movimientos horizontales y verticales [véase Figura 3 (b)] del contorno tienen una distancia de 1, mientras que las diagonales una distancia de $\sqrt{2}$. Para un contorno definido mediante un código de cadena basado en la vecindad 8 – vecinos $C_c = (c_1, c_2, \dots, c_M)$.

El área de un objeto O puede ser calculada sencillamente mediante el número de píxeles que lo conforman. Esto es:

$$Area(O) = N = |O| \quad (3)$$

Cuando el objeto al cual se le desea determinar su área no se encuentra descrito por un conjunto agrupado de píxeles, sino por el contorno que lo rodea es posible aproximar el área del contorno exterior cerrado (sólo si esta no contiene contornos interiores), mediante la aplicación de la ecuación.

$$Area(O) = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^M (x_i * y_{[(i+1) \bmod M]} - x_{[(i+1) \bmod M]} * y_i) \right| \quad (4)$$

Donde x_i e y_i son las coordenadas de los puntos x_1, \dots, x_M que forman parte del contorno cerrado que conforma el objeto. El contorno descrito por estos puntos es descrito mediante el código de cadena $C_c = (c_1, c_2, \dots, c_M)$.

2.3.4.2. Características texturales

La textura de las materias primas cambia a menudo durante el procesado. Los cambios de textura se deben a causas muy diversas que incluyen la pérdida de agua, desnaturalización de las proteínas que da lugar a la pérdida de la capacidad de retención de agua, o a la coagulación, hidrólisis y solubilización de las proteínas. La gelatinización del

almidón, la hidrólisis de las pectinas y la disolución de las hemicelulosas causan también el ablandamiento de los tejidos (Brennan, 2008).

La textura de la papa cocida está asociada con el contenido en sólidos secos, amilasa, azúcares, almidón, materias pécticas, proteínas y contenido en nitrógeno total del tubérculo (Kaur *et al.*, 2002). Siendo el almidón la sustancia predominante en la papa, las variaciones de textura durante la cocción se deben principalmente a los cambios producidos en él y en las materias pécticas. Se produce la gelatinización y retrogradación de almidón y una degradación enzimática y no enzimática de las pectinas que constituyen la pared celular.

Para caracterizar la textura existen básicamente tres formas de procesar la imagen y extraer su información como: los descriptores de frecuencia, descriptores estructurales y descriptores probabilísticos González y Woods (2002); Cocquerez y Philipp (1997). Históricamente, el método más común para describir la información de la textura es el enfoque estadístico, el cual incluye los métodos estadísticos de primer orden, segundo orden y órdenes más altos. Estos métodos analizan la distribución de propiedades específicas de la imagen usando el valor de sus píxeles. Particularmente, nosotros estamos interesados en el método de segundo orden porque toma en cuenta la distribución de las intensidades de los píxeles y además su posición espacial sin sacrificar mucho tiempo en los cálculos, siendo el caso de los métodos de órdenes más altos.

2.3.4.2.1. Matriz de Co-ocurrencia en Nivel de Gris o Grey Level Co-occurrence

Matrix (GLCM)

Haralick *et al.*, (1973) propuso la matriz de co-ocurrencia, donde define como una matriz de frecuencias relativas, $P_{\delta}(i, j)$ en la cual dos píxeles, separados por un vector, ocurren en una imagen, el primero con una intensidad i y el segundo con una intensidad j .

Esto es, el valor de la matriz de co-ocurrencia P_{δ} en la posición (i, j) indica cuantas veces j coocurre con el valor i en alguna relación espacial designada por el vector d , el cual es un vector de desplazamiento (dr, dc) , donde dr es un desplazamiento en filas (hacia abajo), y dc es un desplazamiento en columnas (hacia la derecha). Así, la matriz de co-ocurrencia de tipo asimétrico para una imagen en escala de grises I , está definida por:

$$P_{\delta}(i, j) = \left| \left\{ (r, c) \mid \begin{array}{l} I(r, c) = i \text{ y} \\ I(r + dr, c + dc) = j \end{array} \right\} \right| \quad (5)$$

La dimensión de un GLCM es determinada por el máximo valor de gris de un pixel. El número de niveles de grises es un factor importante en computación de GLCM. Más niveles querían decir más información extraída precisa del textural, con costos computacionales aumentados. La complejidad computacional de método GLCM es altamente sensible al número de niveles de grises y es proporcional a 0 (Clausí, 2002).

La Figura 4 ilustra un ejemplo de GLCM, donde la distancia d es definida como l y la dirección θ es definida como 0° .

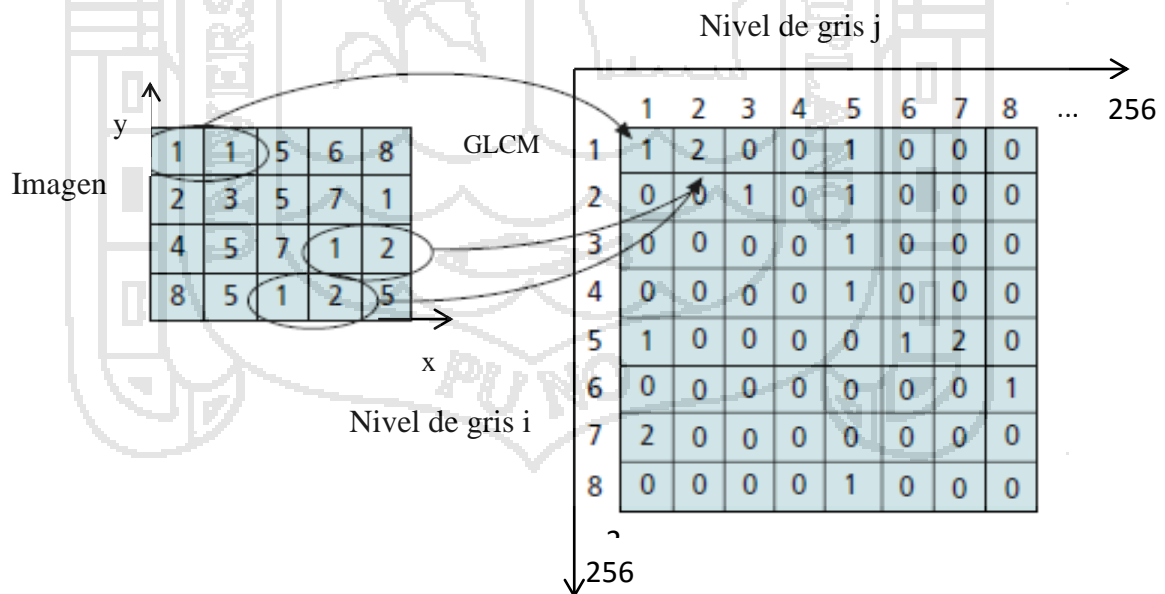


Fig. 4. Ejemplo de la matriz de co-ocurrencia de nivel de grises (GLCM) (Pérez, 2010)

Por otro lado, la GLCM presenta un problema cuando el número de diferentes niveles de gris en una región R incrementa, tornándose difícil manejar la información o usarla directamente, debido a las dimensiones que tendría la matriz. Afortunadamente, la información codificada en la GLCM puede ser expresada por un conjunto de descriptores estadísticos que son relevantes para caracterizar la textura de una imagen. Estos descriptores son extraídos de $P_{\delta}(i, j)$ dando como resultado diferentes tipos de información acerca de su textura. Tales descriptores pueden ser definidos en el dominio espacial extrayéndolos directamente de la GLCM (Haralick *et al.*, 1973; Bevk y Kononenko, 2002):

a. Segundo Momento Angular o Angular Second Moment (ASM)

Esta estadística es también llamada uniformidad. Mide la uniformidad de una imagen. Cuanto más suave es la textura, mayor valor toma el ASM. Esto detecta desorden en la textura. El ASM alcanza un máximo valor equivalente a 1. Un valor alto de ASM ocurre cuando la distribución de nivel de gris es constante o forma periódica. El ASM tiene un rango normalizado (Gadkari, 2004; Haralick *et al.*, 1973)

$$f_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \{P_{\delta}(i, j)\}^2 \quad (6)$$

b. Contraste (CT)

Este descriptor de estadística mide la frecuencia espacial de una imagen y la diferencia de momento GLCM. Esto es la diferencia entre los valores superior e inferior de un continuo grupo de píxeles. Estas medidas suman la variación local presente en la imagen. Un pequeño contraste presente en la imagen GLCM durante la concentración acerca de la diagonal principal y características pequeñas de frecuencia espacial Gadkari (2004). Es lo opuesto a la homogeneidad. El contraste es una medida de la diferencia entre los valores de intensidad de los píxeles vecinos (Pérez, 2010).

$$f_2 = \sum_{k=0}^{n-1} k^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{\delta}(i,j) \quad (7)$$

$$|i - j| = k$$

c. Momento inverso de diferencia o Inverse Difference Moment (IDM)

Esta estadística también es llamada homogeneidad, esto mide la homogeneidad de la imagen cuando este asume valores altos por pequeños tonos de gris diferentes en un par de elementos. Esto es más sensitivo a la presencia de diagonal cerca de elementos en GLCM. Esto tiene un valor máximo cuando todos los elementos en la imagen son iguales (Gadkari, 2004)

$$f_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{1 + (i - j)^2} P_{\delta}(i,j) \quad (8)$$

d. Entropía (ET)

Es un término común en termodinámica o mecánica estadística. La entropía es una medida del nivel de desorden en un sistema. Las imágenes que contienen escenas altamente homogéneas tienen una entropía asociada muy baja, mientras que las escenas heterogéneas tienen una medida de entropía muy alta (Pérez, 2010; Gadkari, 2004).

La medida de entropía se obtiene de la siguiente manera:

$$f_4 = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{\delta}(i,j) \log\{P_{\delta}(i,j)\} \quad (9)$$

2.3.4.2.2. Dimensión Fractal

La dimensión fractal es una propiedad que caracteriza la desigualdad (aspereza) o uniformidad (suavidad) de una superficie en una imagen (Pentland, 1984). La Dimensión Fractal (DF) para perfiles en dos dimensiones se tiene que $1 < DF < 2$, donde 1 corresponde a una superficie lisa y 2 a una superficie altamente rugosa (Vargas *et al.*, 2006).

La DF de una imagen se puede determinar usando el método de Fourier Fractal (Chan, 1995; Quevedo *et al.*, 2008) donde para determinar los valores del área, la imagen se convierte a escala de grises. La superficie del área se calcula en función a la frecuencia. Si la variación lineal es establecida del log (coeficiente de magnitudes Fourier)² entre log (frecuencias). La DF viene indicada por la pendiente de la recta que relaciona el logaritmo de la longitud medida del perfil con el logaritmo del intervalo de frecuencias. Esta pendiente será negativa para dimensiones fractales mayores que la unidad (Gallart y Pardini, 1996)

2.3.4.3. Características de color

El color y su uniformidad son componentes vitales de la calidad visual de los alimentos frescos y tienen un papel muy importante en la elección del consumidor. Sin embargo, pueden tener menos importancia a baja temperatura en el caso de las materias primas para el procesado. En los tratamientos a baja temperatura tales como el enfriamiento, la congelación o la liofilización, el color cambia poco durante el procesado, y por ello el color de las materias primas representa una buena guía en cuanto a su utilidad para el procesado. En casos de procesos largos, el color cambia claramente durante la cocción. Por ejemplo algunas frutas pierden su color durante el enlatado, mientras que las peras adquieren un tinte rosado, las papas se pardean durante el tratamiento con calor debido a la reacción de Maillard. Por esto, algunos productos se prestan mejor a la fritura

en la que el pardeamiento es deseable, que al enlatado en que el pardeamiento constituirá un gran problema (Brennan, 2008).

2.3.4.3.1. Imágenes RGB

Cuevas *et al.*, (2010), describen el modelo de color RGB, basándose en la combinación de los colores primarios rojo (R), verde (G) y azul (B) (ver Figura 4). El origen de este modelo se encuentra en la tecnología de la televisión y puede ser combinada como la representación fundamental del color en las computadoras, cámaras digitales y escáneres, así como en el almacenamiento de imágenes. La mayoría de los programas para el procesamiento de imágenes y de representación gráfica utilizan este modelo para la representación interna del color.

El modelo RGB es un formato de color aditivo, lo que significa que la combinación de colores se basa en la adición de los componentes individuales considerando como base el negro. Este proceso puede imaginarse como el traslape de 3 rayos de luz de colores rojo, verde y azul. La intensidad de los diferentes componentes de color determina tanto el tono como la iluminación de color resultante. El blanco y el gris o tonalidades de gris son producidos de igual manera a través de la combinación de los tres correspondientes colores primarios RGB.

El modelo RGB forma un cubo, cuyos ejes de coordenadas corresponden a 3 colores primarios R, G y B. los valores RGB son positivos y sus valores se encuentran restringidos al intervalo de $[0, V_{\max}]$, en donde normalmente $V_{\max} = 255$. Cada posible color C_i corresponde a un punto dentro del cubo RGB, con los componentes:

$$C_i = (R_i, G_i, B_i) \quad (10)$$

Donde $0 \leq R_i, G_i, B_i \leq V_{\max}$. Normalmente el intervalo de valores de los componentes de color son normalizados al intervalo $[0,1]$ como se muestra en la Tabla 2, de tal forma que el espacio de colores quedaría representado por el cubo unitario mostrado en la Figura 5. El punto $N = (0,0,0)$ corresponde al negro, $W = (1,1,1)$ corresponde al blanco y todos los puntos que se encuentran en la línea entre S y W son las tonalidades a escala de grises donde los componentes R, G y B son iguales.

Tabla 2. Valores de las coordenadas en cubo de color

Punto	Color	R	G	B
N	Negro	0	0	0
R	Rojo	1	0	0
A	Amarillo	1	1	0
G	Verde	0	1	0
C	Cyan	0	1	1
B	Azul	0	0	1
M	Magenta	1	0	1
W	Blanco	1	1	1
K	Gris	0.5	0.5	0.5

Fuente: Cuevas *et al.*, (2010).

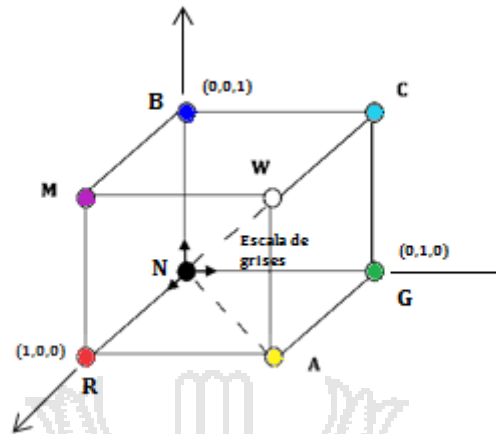


Fig. 5. Representación del espacio de color RGB como cubo unitario. Los colores primarios rojo (R), verde (G) y azul (B) constituyen los ejes coordenadas. Los colores puros rojo (R), verde (G) y azul (B), cyan (C), magenta (M) y amarillo (A) se encuentran ubicados en las esquinas del cubo de color. Todos los valores de intensidad de grises, tal como (K) se ubican sobre la diagonal trazada de (N) a (W) (Cuevas *et al.*, 2010).

2.3.4.3.2. Modelo de color HSL

El modelo de color HSL (Tonalidad, Luminancia y Saturación; “Hue”, “Luminance”, “Saturation”) los parámetros de luminancia y saturación corresponden al eje vertical y al radio que se establece entre el eje de luminancia y el valor del color en cuestión. La representación de este modelo HSL que es común encontrar es la de la doble pirámide (ver Figura 6). Donde los puntos negros y blancos en este modelo se encuentran ubicados en la parte baja y alta de la pirámide. Los colores básicos rojo, verde y azul así como sus combinaciones se encuentran ubicados en la base donde se juntan ambas pirámides (Gonzales y Woods, 2002).

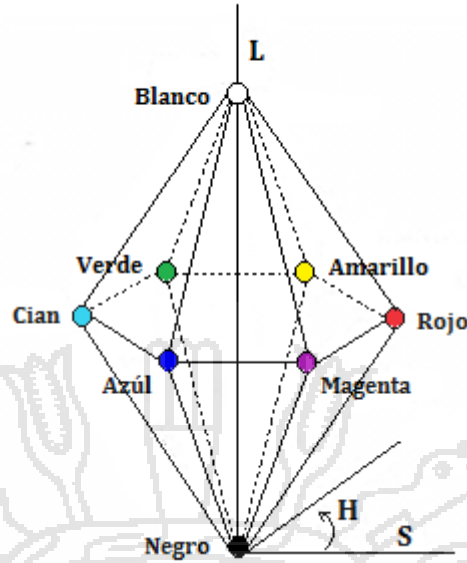


Fig. 6. Modelo de color HSL. (Tonalidad, Saturación y Luminosidad) (Gonzales y Woods, 2002)

2.3.4.3.3. Conversión de RGB a HLS

Para realizar la conversión del modelo RGB al definido por el HLS, el cálculo de la componente H, el procedimiento es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 Max &= \max(R, G, B) \\
 Min &= \min(R, G, B) \\
 D &= Max - Min
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Luego se define la tonalidad que es el total del plano y tres vectores añadidos son usados:

$$R = G = \exp\left(\frac{2i\pi}{3}\right) \quad B = \exp\left(\frac{-2i\pi}{3}\right)
 \tag{12}$$

El valor resultante de H es el argumento de la suma de estos vectores:

$$H = \begin{cases} \operatorname{Arctan} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}(G-B)}{R-0.5(G+B)} & \text{si } R - \frac{G+B}{2} > 0 \\ \pi + \operatorname{Arctan} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}(G-B)}{R-0.5(G+B)} & \text{si no} \end{cases} \quad (13)$$

Los parámetros restantes S y L son calculados de la siguiente manera:

Primero para L,

$$L = \frac{(R+G+B)}{3} \quad (14)$$

Después para S,

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{L} \quad (15)$$

La componente H es la tonalidad, es el ángulo en la etapa cercano al “rueda de color”. La componente S representa la saturación, es la distancia del centro hasta la rueda. Este describe el grado a cual un color puro es diluido por la luz blanca (0 – 1). La luminancia L indica la luminosidad de la imagen. Esto es ortogonal a (H, S) y marca la rueda del color por un doble cono como estos ápices negro (Luminancia es 0) y blanco (luminancia es 255) (Medina *et al.*, 2010).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se ejecutó en el laboratorio de Ingeniería, sección de adquisición 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. en la ciudad del mismo nombre.

3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

Se utilizaron las variedades de papa Ccompis, Imilla Negra y Peruanita. Obtenidas del Instituto Nacional de Investigación Agraria – Salcedo Puno. Cada variedad estudiada tiene unas características específicas que la hace más apropiado para un determinado uso, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Características generales de las variedades de papa utilizadas en el estudio

VARIEDAD	FORMA	PIEL	PULPA
Ccompis	Redondeada	Rosado	Blanca amarillento
Imilla Negra	Redondeada	Morado a oscuro	Blanca
Peruanita	Oval Redondeado	Rojo con amarillo	Amarillo intenso

Fuente: NTP.011.119. (2010)

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. Materiales

- Recipientes para lavado
- Escobillones con mango de madera
- Pinzas
- Olla de cocción

- Cocina eléctrica Ohaus con conexión eléctrica a la red de 220V
- Tabla para cortar
- Tela negra
- Caja de muestra 0.2x0.2x0.3 m de material madera
- Pañuelos Kleen Pal
- Cutter manual

3.3.2. Equipos de laboratorio

- Cámara fotográfica digital D7000 4F – S DX con objetivo micro Nikkor 40 mm marca Nikon
- Computador Intel (R) Core (TM) i7-2600 CPU @ 3,40 GHz.
- Calibre digital de 6” (150 mm) marca Stanley
- Probeta graduada, con pie hexagonal y pico de 1000 ml: precisión ± 10 ml altura 460 mm. x ϕ 65 mm.
- Termómetro con funda de alambre marca AMARELL 300 mm. largo x ϕ 30 mm. -30...100°C
- Cronometro.

3.3.3. Software

- Camera Control Pro 2 versión 2.8.001
- **MATLAB**[®] (The Language of Technical Computing) versión 7.14.0.739 (R2012a)
- SigmaPlot 12.0 (Exact Graphs and Data Analysis)
- Statgraphics Plus 5.1 (Statistical Graphics Corp.)

3.3.4. Sistema de iluminación

- 4 LEDs ALGU103WCW de 3,1W 220-240V con una temperatura de color 6400°K.
- Soportes y conexión eléctrica a la red de 220V.

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se ha realizado según el diagrama experimental mostrado en la Figura 7.

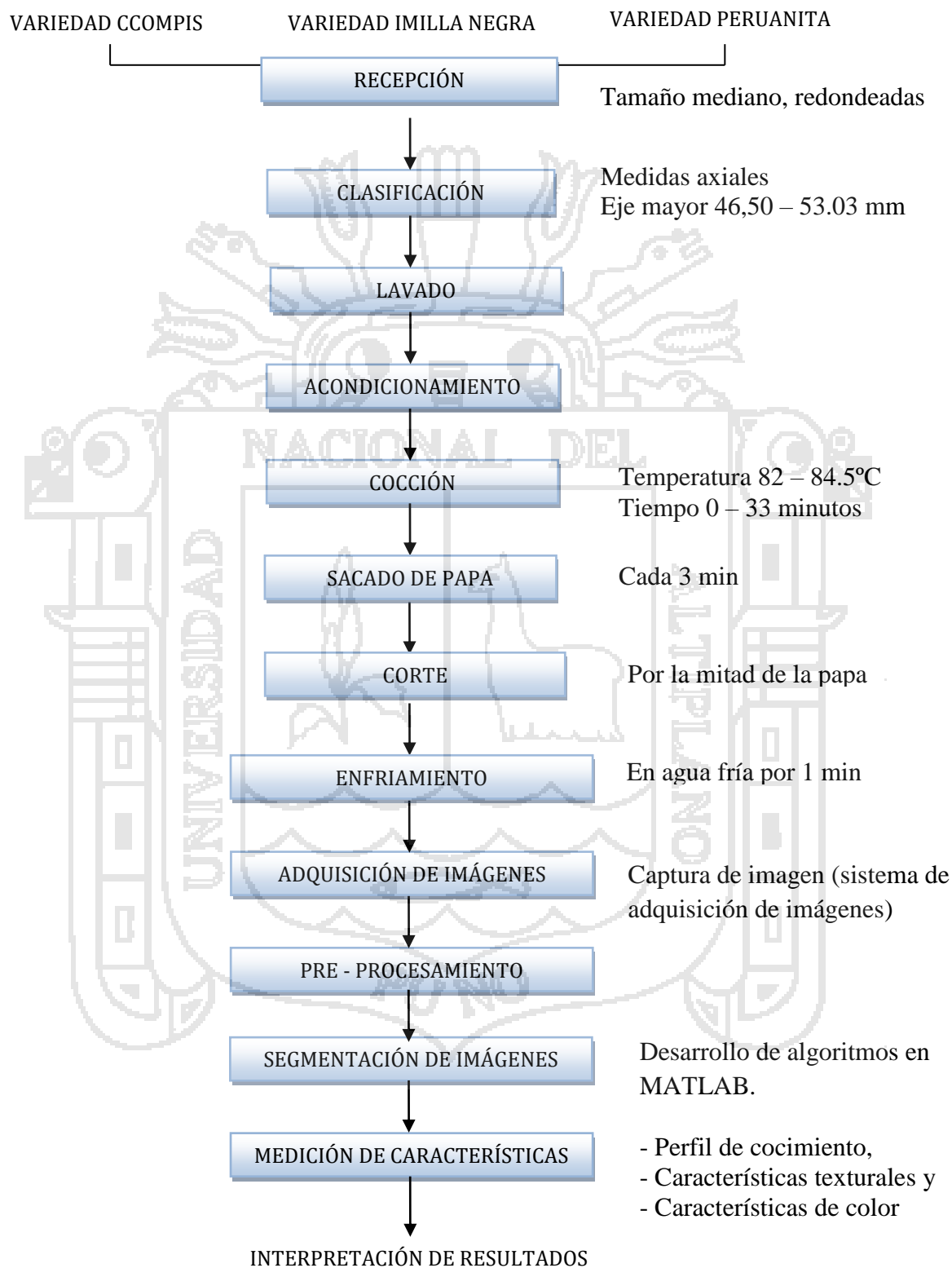


Fig. 7. Diagrama de flujo para el estudio del proceso de cocción de papa con análisis de imágenes

3.4.1. Descripción del proceso experimental

Recepción de la materia prima.

En esta etapa se realizó la recepción de las papas de las variedades Ccompis, Imilla Negra y Peruanita.

clasificación

En esta etapa se seleccionaron y clasificaron las variedades de papa de tamaño mediano, forma redondeada con un diámetro mayor promedio 46.50 – 53.03 mm basado en NTP.011.119 (2010), y las papas fueron colocados en diferentes recipientes, separados por variedad.

Lavado

En esta operación se eliminaron todas las impurezas que existían en la superficie de las papas, empleando para ello una escobilla y abundante agua.

Acondicionamiento

En un recipiente para hervir (olla) se añadieron 1.5 litros de agua destilada para la cocción y paralelamente se tuvo listo el sistema de adquisición de imágenes.

Cocción y Corte

Se empezó la cocción de cada variedad de papa a una temperatura de $84.5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ Los tubérculos fueron sumergidos en agua al comenzó del hervor y a intervalos de tres minutos se extraía una papa, la cual fue cortada a la mitad, enfriada por un minuto y llevada al sistema de adquisición de imágenes donde se capturó la imagen; esta operación se repite hasta que la papa este cocida completamente.

Adquisición de imágenes

La obtención de la imagen digital de la papa en proceso de cocción se realizó mediante un montaje de un sistema de visión computacional y captura similar al desarrollado por León *et al.*, (2006). Como se muestra en la Figura 8, el sistema consiste en una caja de color negro con un soporte para la cámara digital modelo NIKON D7000 con objetivo micro Nikkor 40 mm, ubicada verticalmente a 22.5 cm. de distancia de la muestra con un ángulo de 45° entre el eje de la cámara y las fuentes de iluminación light-emitting diode technology (LED). 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 píxeles). A continuación se presentan los ajustes realizados en la cámara fotográfica:

Ajustes de disparo

- Flash: Apagado obligatorio
- Velocidad ISO: ISO – 100
- Diafragma: f/22
- Modo de medición: Matricial
- Modo de enfoque: AF – S
- Tamaño/Calidad: Buena.
- Distancia focal: 40 mm

Pre-procesamiento

Una vez obtenida las imágenes se comienza a mejorar la calidad, para esto, se emplearon ciertos filtros digitales que eliminan el ruido en la imagen o bien aumentan el contraste.

Segmentación de imágenes

La imagen pre-procesada es segmentada, para esto se utilizó una rutina desarrollada en el software MATLAB (The MathWorks, Inc.) donde se desarrolló algoritmos que traten que la computadora simule hasta cierto grado el proceso de visión biológica.

Medición o Extracción de características

En esta etapa se realizó principalmente la medición tanto de las características de proporción de área cocida, características texturales y de color en la estructura interna de la papa.

Interpretación de resultados

Finalmente se interpretó las características extraídas de cada variedad de papa a diferentes tiempos de cocción.

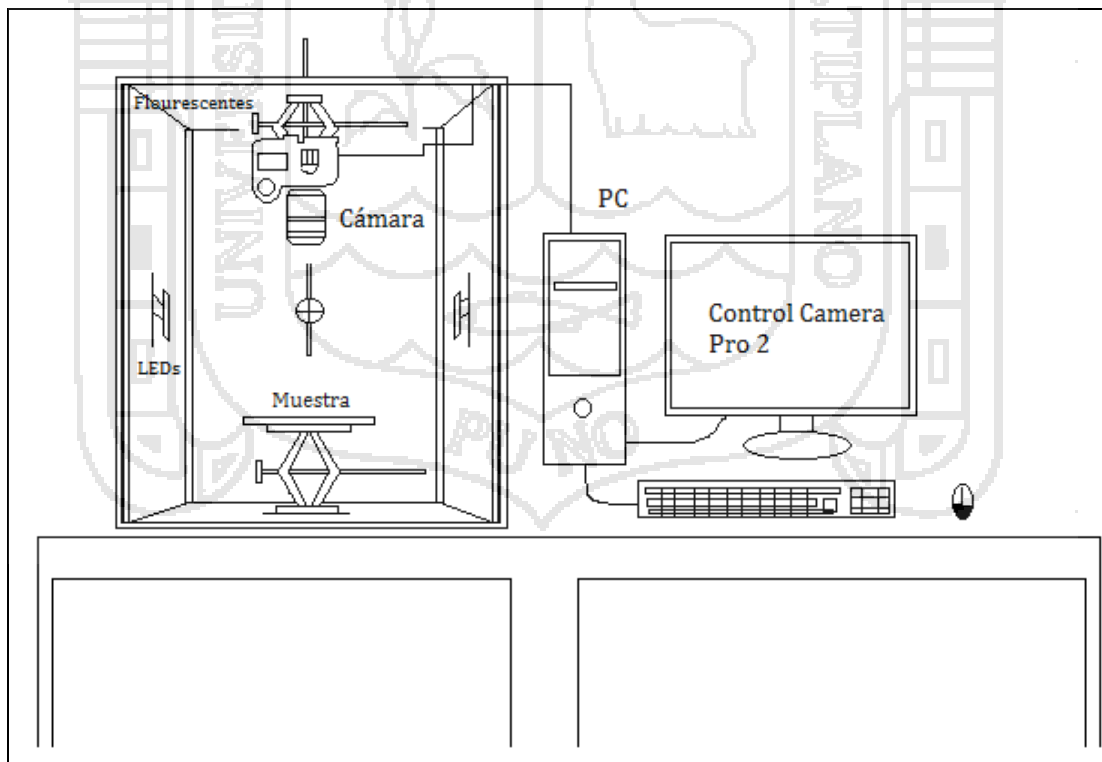


Fig. 8. Sistema de adquisición de imágenes

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.5.1. Determinación del perfil de cocimiento

El procedimiento para procesar y analizar las imágenes se basó en el algoritmo desarrollado por Leiva *et al.*, (2012), en el Software MATLAB (The MathWorks, Inc.), como lenguaje de programación para encontrar la proporción de área cocida de imágenes binarias, en las tres variedades estudiadas de papa tal como se muestra en el esquema presentado en la Figura 9.

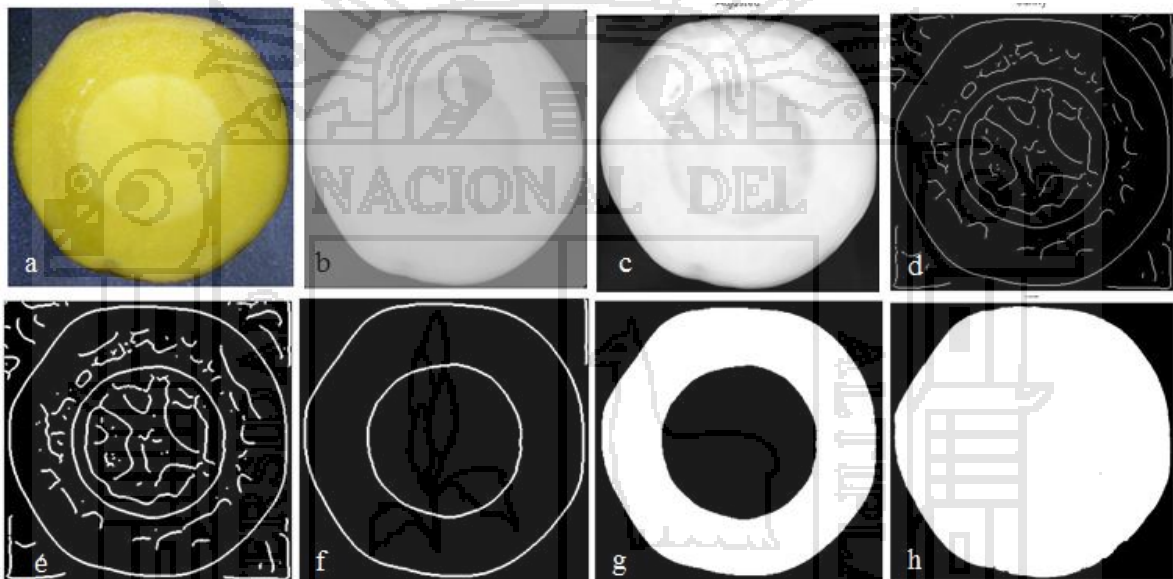


Fig. 9. Procedimiento para determinar la proporción cocida: (a) imagen original, (b) imagen filtrada, (c) imagen ajustada, (d) filtro Canny, (e) imagen dilatada, (f) imagen con función holes, (g) imagen binaria y (h) área total.

La proporción de área cocida se determinó realizando lo siguiente:

$$\text{área cocida} = \text{área total} - \text{área no cocida}$$

Entonces:

$$\text{Proporción de área cocida} = \frac{\text{área cocida}}{\text{área total}}$$

Los datos experimentales obtenidos de la proporción de área cocida fueron graficados en función del tiempo y ajustados de acuerdo al Modelo de Peleg (1988).

$$Y = Y_0 + \frac{X}{(a + b * X)} \quad (16)$$

Siendo Y la proporción de área cocida, aun tiempo dado X (*min*), Y_0 es la proporción inicial de área cocida y a constante inversamente relacionada con la variedad de papa y b constante relacionada con la velocidad de cocción.

3.5.2. Determinación de descriptores estadísticos de textura

La metodología utilizada para determinar los descriptores estadísticos de textura, se basó en el trabajo de Haralick *et al.*, (1973) donde las imágenes son convertidas a escala de grises con la función $\tau=rgb2gray$ en una rutina desarrollado en una hoja script (MATLAB) y de ahí se va armando GLCM de donde se obtienen las características que describen la textura tales como: ASM, CT, IDM, ET y DF. La Figura 10 indica el esquema seguido en el presente trabajo de investigación.

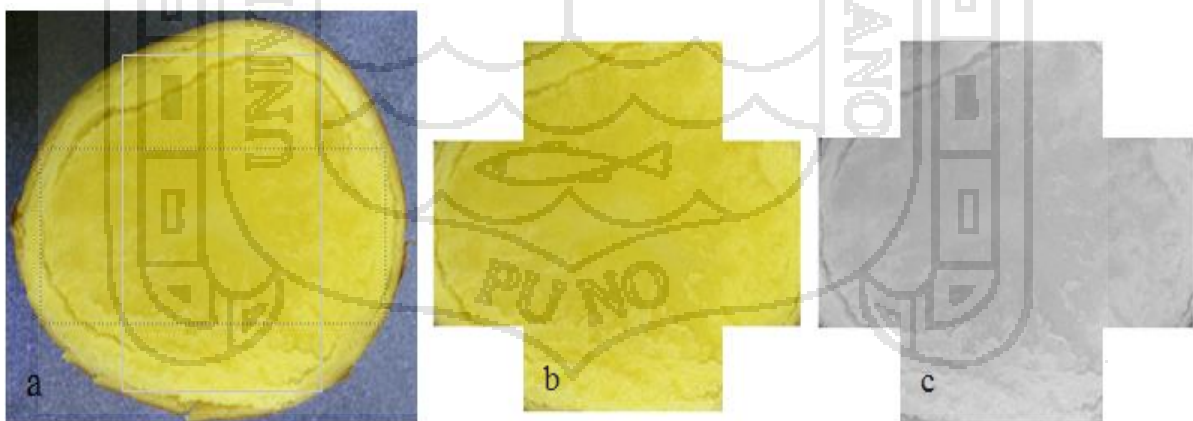


Fig. 10. Procedimiento utilizado en la determinación de los descriptores estadísticos de textura: (a) imagen original, (b) área seleccionada y (c) área en escala de grises.

3.5.3. Determinación de color RGB

Las medidas de color en escala RGB: (R) rojo, (G) verde y (B) azul fueron extraídas utilizando el Software ImageJ. (Abrámoff *et al.*, 2004). Como se observa en la Figura 11. Entre las posibles bases de representación para el color, está el modelo la Tonalidad – Saturación – Luminancia (HSL) bien adaptado a nuestro problema ya que este modelo es cercano a la percepción de color humano que RGB.

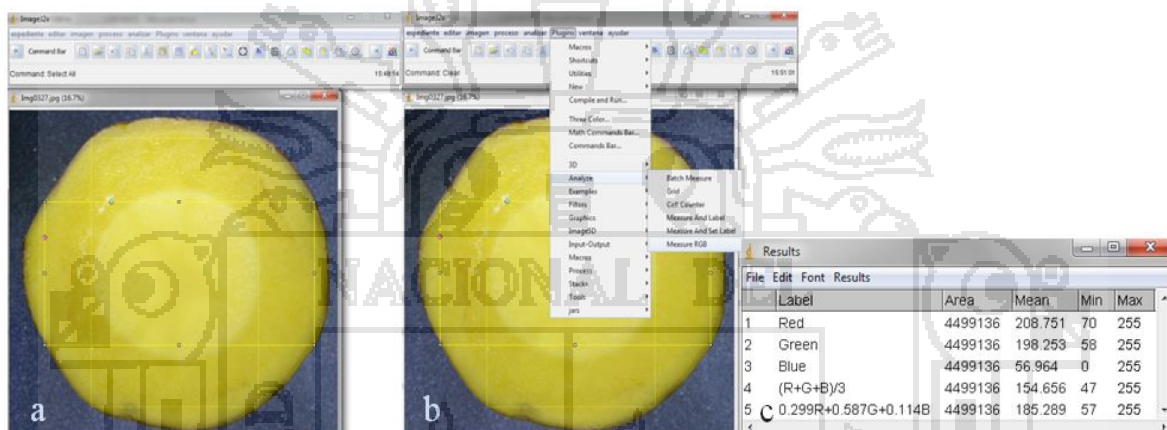


Fig. 11. Determinación de color RGB: (a) área seleccionada, (b) analisis de medias de RGB y (c) resultados

Para convertir las medias de color RGB a modelo HSL, se insertaron las formulas (11), (12), (13), (14) y (15) en una hoja de cálculo Excel (Medina *et al.*, 2010).

3.6. UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES

3.6.1. Variables de estudio

a. Variedades de papa

- Variedad Ccompis (T1)
- Variedad Imilla Negra (T2)
- Variedad Peruanita (T3)

b. Tiempos de cocción

- (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 y 33 minutos) para la variedad Ccompis.
- (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 y 30 minutos) para variedad Imilla Negra.
- (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21 minutos) para variedad Peruanita.

3.6.2. Variables de respuesta

- a. Perfil de cocimiento.
- b. Características texturales.
- c. Características de color.

3.6.3. Indicadores

- a. Variación de perfil de cocimiento
 - Proporción de área cocida
- b. Descriptores estadísticos de textura
 - Segundo Momento Angular
 - Contraste
 - Entropía
 - Momento Inverso de Diferencia
 - Dimensión Fractal
- c. Modelo de Color HSL (Hue-Saturation-Lightness o Tonalidad-Saturación-Luminosidad)
 - H (°)
 - S (%)
 - L

3.7. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para procesar los datos obtenidos durante la investigación se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de significancia y el test de Duncan ($P \geq 0.05$) para determinar las posibles diferencias entre las muestras de las variedades. Se trabajó con el programa estadístico Statgraphics Plus 5.1 (Statistical Graphics Corp.).

Las variables de estudio fueron las variedades de papa y tiempo de cocción. Se utilizó un experimento factorial bajo el diseño completo al azar (DCA) con 3 repeticiones, ajustado al siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (17)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, 12$ (tiempos de cocción)

$j = 1, 2, 3$ (variedad)

$k = 1, 2, 3$ (observaciones)

Donde:

Y_{ijk} = es la variable de respuesta del k -ésimo observación bajo el j -ésimo variedad sujeto al i -ésimo tiempo de cocción.

μ = constante, media de la población a la cual pertenecen las observaciones.

α_i = efecto del i -ésimo nivel de tiempos de cocción.

β_j = efecto del j -ésimo variedad

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción del i -ésimo nivel de tiempo, en el j -ésimo nivel de variedad

ε_{ijk} = efecto del error experimental.

Para la recolección de datos se utilizó el formato mostrado en la Tabla 4, donde se registraron todos los datos experimentales para cada variable de respuesta.

Tabla 4. Formato para recolección de datos

VARIEDAD	T1			T2			T3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0									
3									
6									
9									
12									
15									
18									
21									
24									
27									
30									
33									

Donde:

T1, T2 y T3 = tratamientos por variedad (Ccompis, Imilla Negra y Peruanita)

1, 2 y 3 = número de repeticiones.

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DEL ÁREA COCIDA DE LAS VARIEDADES ESTUDIADAS DE PAPA.

En la Figura 12 y 13 se presentan los valores promedios de la determinación de la proporción del área cocida durante el proceso de cocción de las tres variedades de papa estudiadas (Ccompis, Imilla Negra y Peruanita) en agua a $84.5 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Los datos completos se reportan en el Anexo I.



Tiempo y proporción de área cocida	VARIEDAD CCOMPIS		VARIEDAD IMILLA N.		VARIEDAD PERUANITA	
	Imagen Original	Imagen Binaria	Imagen Original	Imagen Binaria	Imagen Original	Imagen Binaria
0 minutos 0.000 ± 0.000						
3 minutos 0.200 ± 0.001						
6 minutos 0.519 ± 0.022						
9 minutos 0.767 ± 0.015						
12 minutos 1.000 ± 0.000						
15 minutos 1.000 ± 0.000						

Fig. 12. Resultados de la determinación de la proporción de área cocida de papas (variedades Ccompis, Imilla Negra y Peruanita) durante su proceso de cocción en agua a una temperatura de $84.5 \pm 2^\circ\text{C}$

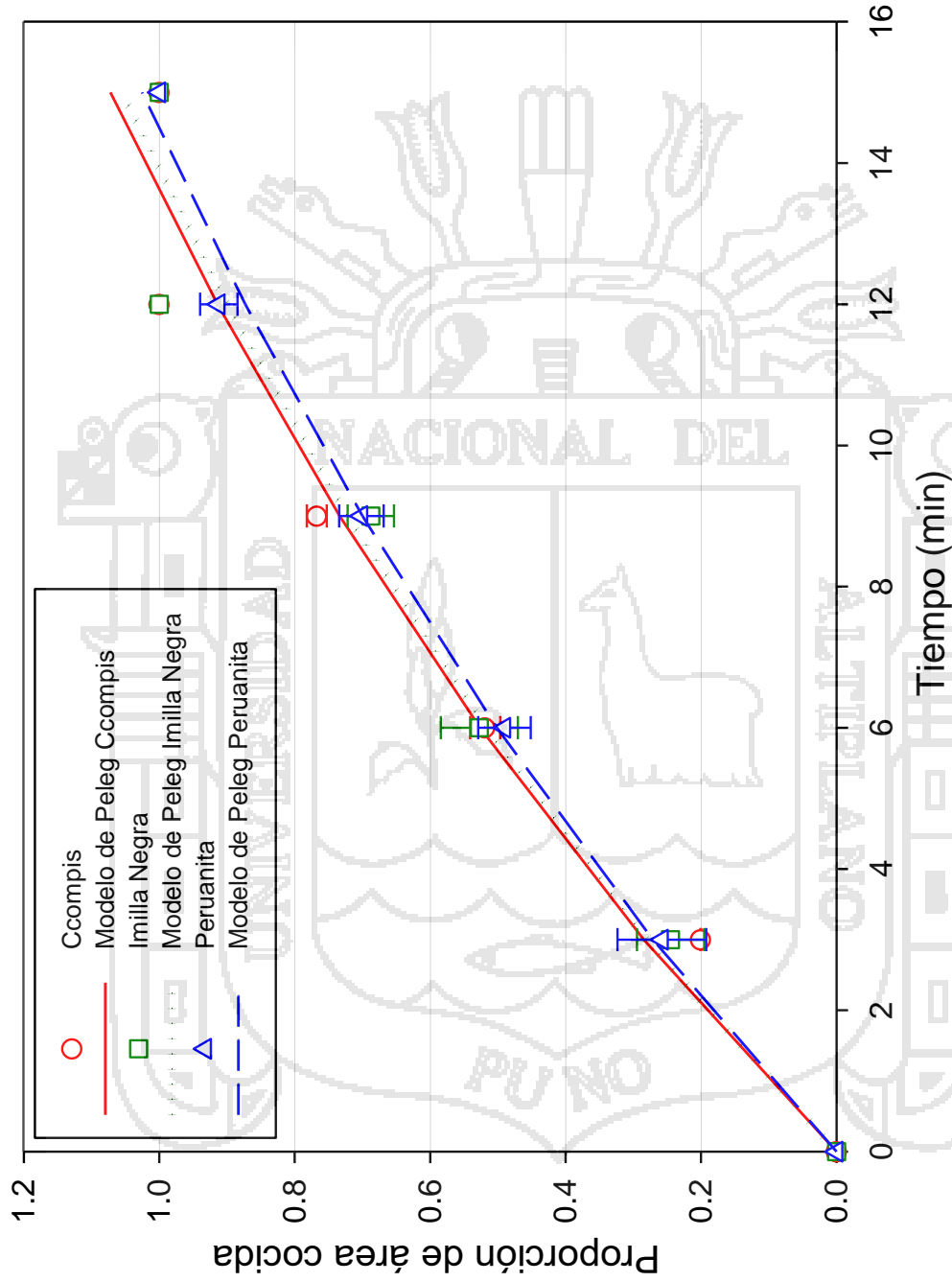


Fig. 13. Resultados experimentales de la proporción de área cocida de papas variedades Ccompis, Imilla Negra y Peruanita en función del tiempo de cocción y ajuste de los datos experimentales al Modelo de Peleg.

Durante los primeros tres minutos de cocción las tres variedades de papa estudiadas presentan aproximadamente la misma proporción de área cocida, observándose después de este tiempo una ligera diferencia entre las variedades Ccompis e Imilla Negra las que aparentemente presentan mayor proporción de área cocida que la variedad Peruanita.

La variedad Peruanita alcanza una proporción completa de área de cocción a los 15 minutos de proceso, estando cocido completamente el producto a los 21 minutos. Las variedades Ccompis e Imilla Negra alcanzan el perfil completo a los 12 minutos de cocción y completándose la cocción a los 33 y 30 minutos respectivamente.

Las diferencias en los tiempos de cocción y avance del perfil de cocimiento podría deberse a los contenidos de almidón en cada variedad el que se encuentra relacionado a la firmeza (Andersson *et al.*, 1994).

Los valores de los parámetros de ajuste de los datos experimentales al Modelo de rehidratación de Peleg (Peleg, 1988) se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de la Ecuación de Peleg utilizada en el ajuste de los datos de la proporción del área cocida de papas variedades Ccompis, Imilla Negra y Peruanita a una temperatura de cocción de $84.5 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Variedad de papa	Parámetros de la Ecuación de Peleg		
	a	b	RMSE
Ccompis	9.684	0.287	0.0723
Imilla Negra	9.800	0.294	0.0625
Peruanita	10.200	0.295	0.0248

Los valores de las constantes a (10.200 versus 9.800 y 9.684) y b (0.295 versus 0.294 y 0.287) del Modelo de Peleg son mayores para la variedad Peruanita indicando que esta variedad es la que presenta mayor facilidad en su cocción que las variedades Ccompis e Imilla Negra.

En el Tabla 6 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la determinación de la proporción de área cocida, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.01$) para el factor tiempo de cocción. Esto implica que el factor es independiente con respecto a la proporción de área cocida con un 95.0% de nivel de significancia.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para proporción cocida

F. de V.	G.L.	SC	CM	Fc	Significancia
VARIEDAD(A)	2	0.00431	0.00215	2.55	n.s.
TIEMPO(B)	5	7.27733	1.45547	1721.83	**
AxB	10	0.02969	0.00296	3.51	n.s.
Error Exp.	36	0.03043	0.00084		
TOTAL	53	7.34178			

CV=0.282

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan (ver Tabla 7). Los resultados de esta prueba señalan que no existen diferencias significativas entre los tiempos de cocción en los perfiles de cocimiento de las variedades Ccompis e Imilla Negra y estas entre la variedad Peruanita. En consecuencia el perfil de cocimiento de la variedad Peruanita es alcanzado a los 15 minutos y las variedad Ccompis e Imilla Negra en 12 minutos de cocción.

Tabla 7. Prueba de comparación múltiple Duncan para proporción de área cocida según tiempo, $\alpha = 0.05$

TIEMPO (min)	Media LS
15	1.000 ± 0.0000a
12	0.971 ± 0.0153b
9	0.719 ± 0.0148c
6	0.512 ± 0.0133d
3	0.234 ± 0.0162e
0	0.000 ± 0.0000f

n=9

4.2. DETERMINACIÓN DE DESCRIPTORES ESTADÍSTICOS DE TEXTURA

Los cambios en las características de textura fueron evaluados de acuerdo a la variación de la escala de grises de las imágenes de las tres variedades de papa estudiadas en los diferentes tiempos de cocción, tal como se presenta en la Figura 14 y a través de la evaluación del Segundo Momento Angular, Contraste, Momento Inverso de Diferencia, Entropía y Dimensión Fractal como descriptores estadísticos de análisis de textura.



Tiempo (min)	VARIEDAD CCOMPIS		VARIEDAD IMILLA NEGRA		VARIEDAD PERUANITA	
	Imagen original	Imagen en escala de grises	Imagen original	Imagen en escala de grises	Imagen original	Imagen en escala de grises
0						
3						
6						
9						
12						
15						

Continua

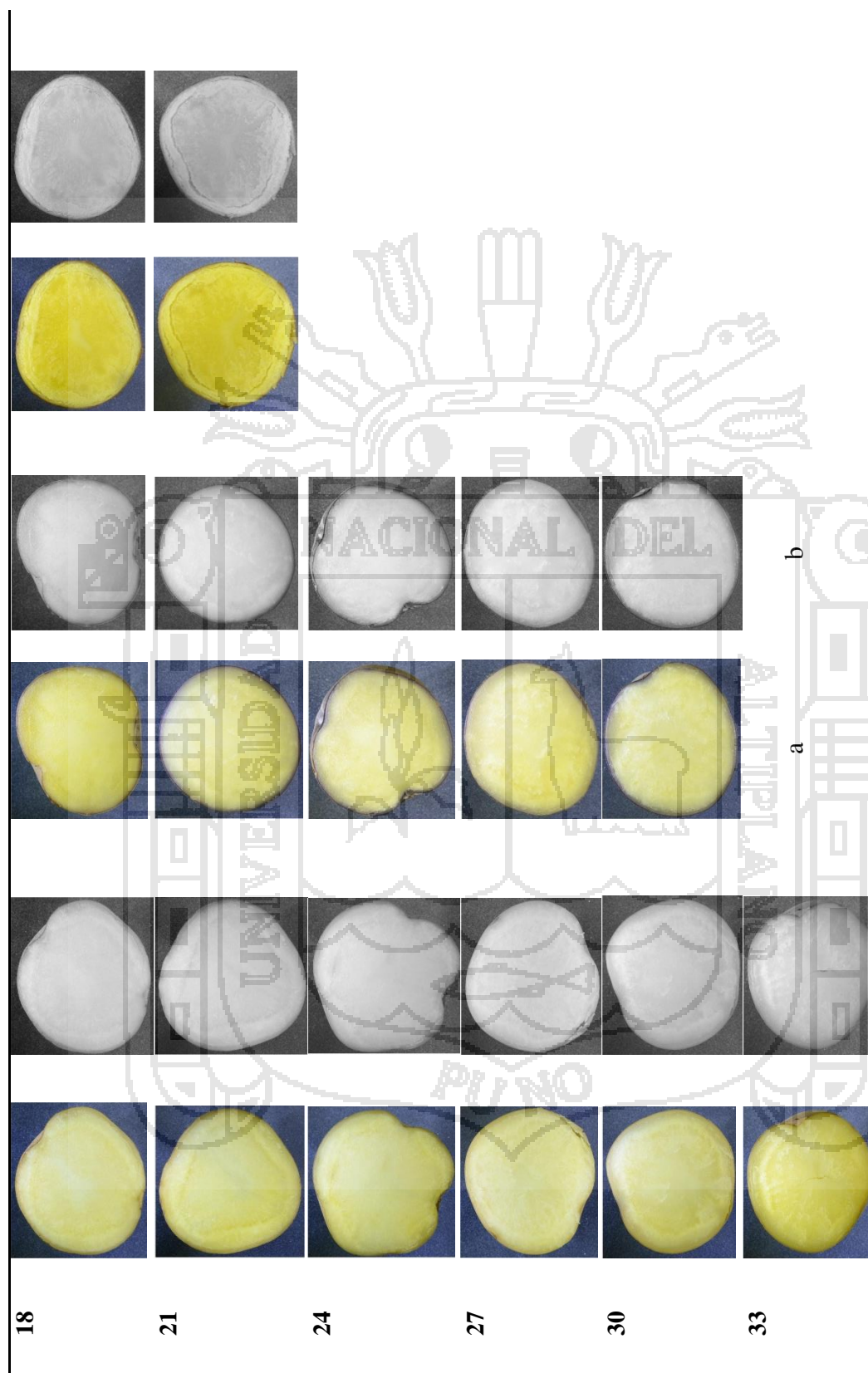


Fig. 14. Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción: (a) imagen original y (b) imagen en escala de grises

4.2.1. Segundo Momento Angular

En la Tabla 8 y en la Figura 15 se presentan los valores promedios de la variación de la uniformidad de la muestra a través del cálculo del Segundo Momento Angular (ASM) como parámetro de evaluación de textura, en función del tiempo de cocción de las variedades de papa Ccompis, Imilla Negra y Peruanita.

Tabla 8. Resultados de la variación del Segundo Momento Angular durante el proceso de cocción de variedades estudiadas de papa

Tiempo (min)	Ccompis	Imilla Negra	Peruanita
0	0.009 ± 0.002	0.009 ± 0.002	0.011 ± 0.003
3	0.010 ± 0.003	0.008 ± 0.002	0.008 ± 0.001
6	0.005 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.005 ± 0.001
9	0.005 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.003 ± 0.001
12	0.006 ± 0.002	0.005 ± 0.001	0.005 ± 0.001
15	0.006 ± 0.002	0.007 ± 0.001	0.008 ± 0.003
18	0.007 ± 0.003	0.006 ± 0.002	0.005 ± 0.001
21	0.006 ± 0.001	0.005 ± 0.001	0.005 ± 0.001
24	0.004 ± 0.001	0.007 ± 0.003	
27	0.008 ± 0.003	0.006 ± 0.003	
30	0.005 ± 0.002	0.006 ± 0.001	
33	0.005 ± 0.003		

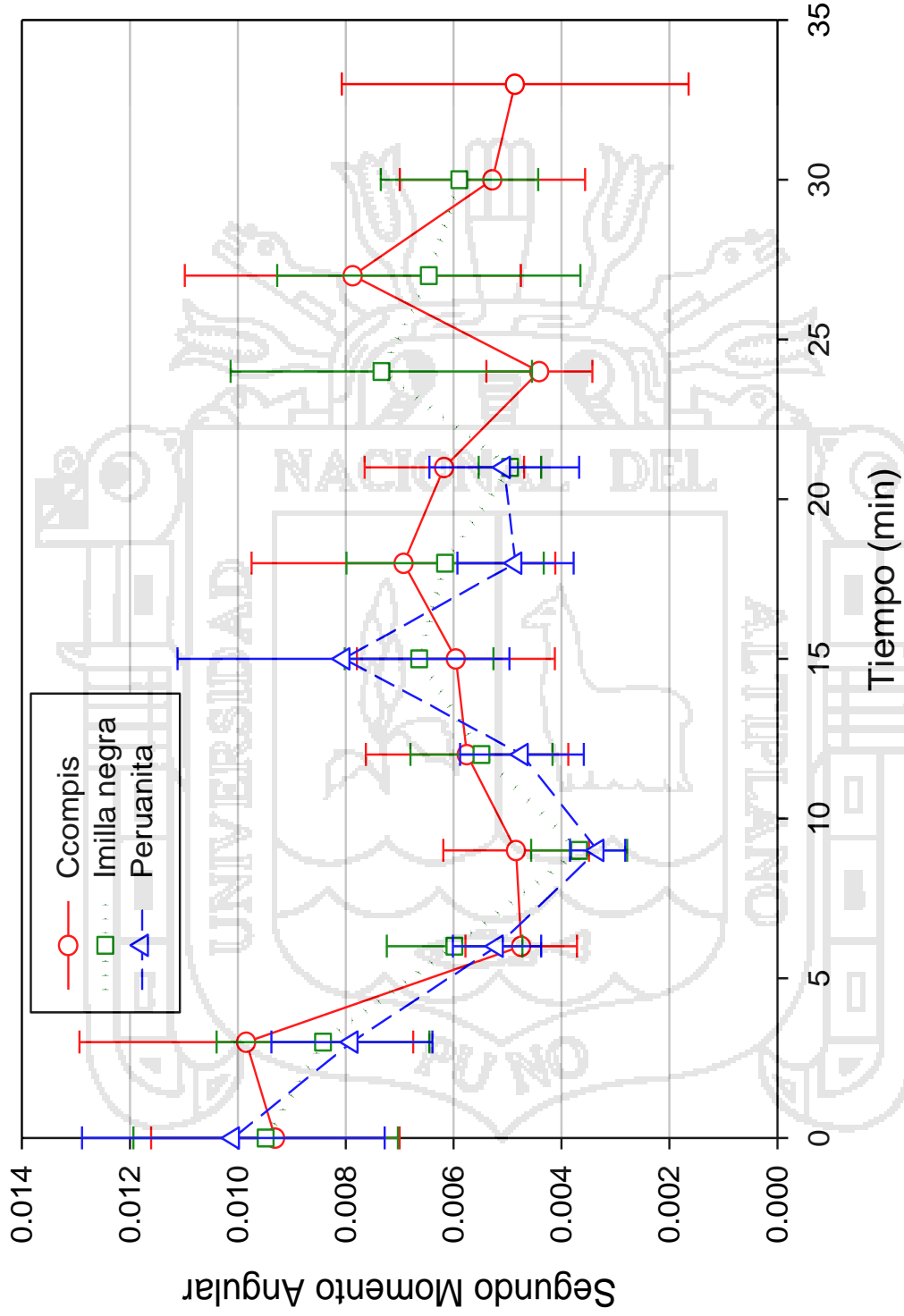


Fig. 15. Variación del Segundo Momento Angular durante el tiempo de cocción de papas de las variedades Ccompis, Imilla Negra y Peruanita.

Las tres variedades de papa muestran una importante reducción de su uniformidad inicial en los primeros 10 minutos de cocción debido a la aparición de las diferentes proporciones de área cocida en las muestras. Entre los 10 y 15 minutos de cocción, esta tendencia se revierte ligeramente al recuperar las muestras su uniformidad debido al incremento de las proporciones de área cocida. Una vez que las muestras han alcanzado el máximo de la proporción de área cocida (15 minutos de cocción) alcanzan una relativa uniformidad para luego perderla y recuperarla conforme transcurre el proceso de cocimiento pues la textura se hace más suave y/o blanda con el transcurrir del tiempo de cocción según Brennan (2008). La disminución de los valores de ASM en los últimos minutos de cocción se deben a la desintegración de la estructura de las papas, a una distribución constante de nivel de grises (Gadkari, 2004).

En el Tabla 9 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación del ASM, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.01$) para el factor tiempo. Esto implica que este factor es independiente en el ASM con un 95.0% de nivel de significancia.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para Segundo Momento Angular.

F. de V.	G.L.	SC	CM	Fc	Significancia
VARIEDAD(A)	2	0,000002	0,000001	0,399	n.s.
TIEMPO(B)	11	0,000204	0,000018	6,532	**
AxB	17	0,000043	0,000002	0,897	n.s.
Error Exp.	62	0,000219	0,000002		
TOTAL	92	0,000424			

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan (ver Tabla 10). Se distinguen dos grupos con resultados similares que son 0 y 3 ; 27 y 15 que agrupa a los demás tiempos hasta 33 minutos, Se ha encontrado que el tiempo 0 seguido de

3 es superior en el ASM. En el tiempo 27 y 15 la variedad Ccompis y Peruanita presentan menor uniformidad seguido de 18 de mas tiempos.

Tabla 10. Prueba de comparación múltiple Duncan para ASM según tiempo, $\alpha= 0.05$

TIEMPO (min)	n	Media
0	9	0.010 ± 0.0006a
3	9	0.009 ± 0.0004ab
27	6	0.007 ± 0.0009 bc
15	9	0.007 ± 0.0006 bcd
18	9	0.006 ± 0.0007 cd
24	6	0.006 ± 0.0010 cd
30	6	0.005 ± 0.0005 cd
21	9	0.005 ± 0.0003 cd
12	9	0.005 ± 0.0003 cd
6	9	0.005 ± 0.0003 cd
9	9	0.005 ± 0.0004 cd
33	3	0.005 ± 0.0018 d

4.2.2. Contraste

En la Tabla 11 y Figura 16 se presentan los valores promedios de la variación de la heterogeneidad de las variedades de papa estudiadas mediante la evaluación de Contraste de sus imágenes.

Tabla 11. Resultados de la variación de Contraste en las variedades estudiadas de papa

Tiempo (min)	Ccompis	Imilla Negra	Peruanita
0	2.114 ± 0.863	2.402 ± 0.988	3.354 ± 1.194
3	3.310 ± 1.033	3.859 ± 1.505	6.811 ± 1.844
6	7.624 ± 3.312	6.049 ± 1.058	7.165 ± 1.710
9	5.949 ± 2.376	6.424 ± 1.224	8.673 ± 1.534
12	4.361 ± 1.931	7.839 ± 2.477	8.529 ± 2.048
15	6.269 ± 2.379	4.086 ± 1.632	7.299 ± 1.671
18	4.261 ± 1.697	4.261 ± 2.693	6.896 ± 1.508
21	4.920 ± 0.472	3.622 ± 0.684	5.896 ± 1.000
24	4.146 ± 0.908	3.286 ± 1.236	
27	2.814 ± 0.832	3.643 ± 1.039	
30	3.840 ± 1.190	4.433 ± 1.664	
33	3.554 ± 0.878		

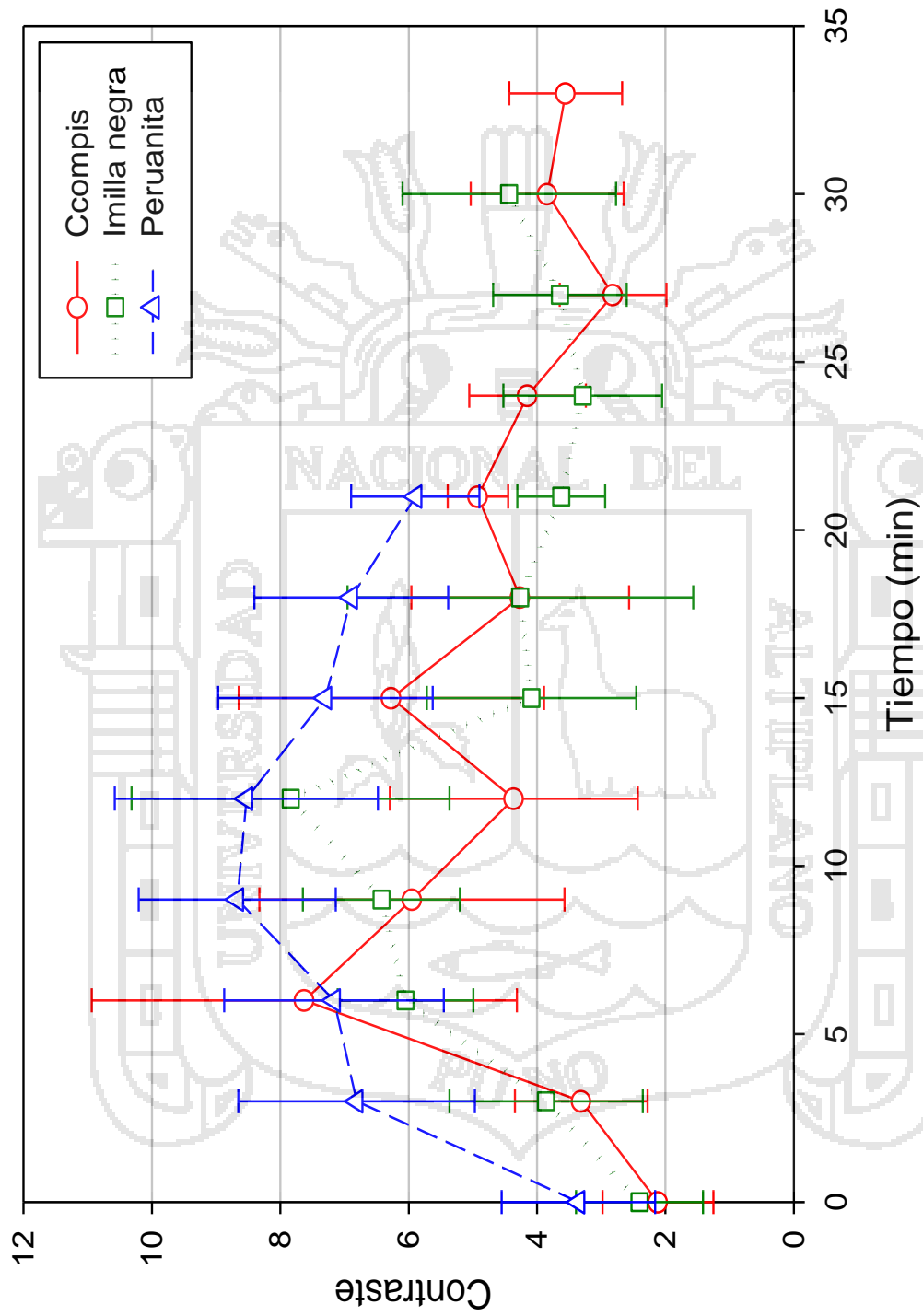


Fig. 16. Variación de la evaluación de Contraste durante el tiempo de cocción de las variedades de papa estudiadas

Las tres variedades de papa muestran diferencias aparentes en la variación de la heterogeneidad de las tres variedades de papa durante su proceso de cocción. Los valores alcanzados por la variedad Peruanita indican que puede ser considerada la variedad más suave entre las tres estudiadas, pues alcanza un valor máximo de contraste aproximadamente de nueve a los 12 minutos para luego descender hasta aproximadamente seis a los 21 minutos de proceso en tanto los valores máximos de contraste de la variedad Ccompis e Imilla Negra son cercanos a ocho y son alcanzados a los 6 y 12 minutos respectivamente. Debido a que la intensidad de pixeles varía en cada tiempo (Pérez, 2010).

Se asocia heterogeneidad con suavidad de la muestra considerando que las muestras menos blandas pueden alcanzar valores menores de Contraste en relación a los tiempos de cocción (Haralick *et al.*, 1973).

En el Tabla 12 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de Contraste, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.01$) para los factores variedad y tiempos de cocción. Esto implica que los factores son independientes con respecto al Contraste con un nivel de significancia de 95.0%.

Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) para Contraste

F. de V.	G.L.	SC	CM	Fc	Significancia
VARIEDAD(A)	2	71,690	35,845	15,401	**
TIEMPO(B)	11	145,644	13,240	5,689	**
AxB	17	51,452	3,027	1,300	n.s.
Error Exp.	62	144,305	2,328		
TOTAL	92	446,058			

Para el factor variedad se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan (ver Tabla 13). Donde se distingue dos grupos de tratamientos con alineaciones similares que

son las variedades V1 y V2, siendo el Contraste de la variedad Peruanita diferente a V1 y V2, por presentar una textura mas heterogénea.

Tabla 13. Prueba de comparación múltiple Duncan para Contraste según variedad, $\alpha= 0.05$

VARIEDAD	n	Media
Peruanita (V3)	24	6,458 \pm 0.410a
Ccompis (V1)	36	4,390 \pm 0.328 b
Imilla Negra (V2)	33	4,297 \pm 0.326 b

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan (ver Tabla 14). En los resultados de esta prueba se distinguen dos grupos con resultados similares que son 6 y 12; 9, 15, 18, 21, 3, 30, 24, 33, 27 y 0 minutos, es decir el incremento de Contraste en 6 y 12 es igual donde la variedad Peruanita presenta una textura muy heterogea, seguida de la variedad Imilla Negra y Ccompis, en el siguiente grupo la variedad Peruanita continua mostrando heterogeneidad hasta llegar a 21 minutos.

Tabla 14. Prueba de comparación múltiple Duncan para contraste según tiempo $\alpha= 0.05$

TIEMPO (min)	n	Media LS
6	9	6,946 \pm 0.647a
12	9	6,910 \pm 0.878a
9	9	6,194 \pm 0.822ab
15	9	5,885 \pm 0.628abc
18	9	5,139 \pm 0.739abcd
21	9	4,812 \pm 0.345 bcde
3	9	4,663 \pm 0.666 bcde
30	6	4,517 \pm 0.587 cdef
24	6	4,421 \pm 0.424 def
33	3	4,213 \pm 0.237 def
27	6	3,934 \pm 0.326 ef
0	9	2,624 \pm 0.271 f

4.2.3. Momento Inverso de Diferencia

En la Tabla 15 y Figura 17 se presentan los valores promedios de la evaluación de la homogeneidad de las variedades estudiadas Ccompis, Imilla Negra y Peruanita a través del descriptor estadístico de textura Momento Inverso de Diferencia (IDM), en función al tiempo de cocción.

Tabla 15. Resultados de la variación de parámetro de homogeneidad Momento Inverso de Diferencia en las variedades estudiadas de papa

Tiempo (min)	Ccompis	Imilla Negra	Peruanita
0	0.731 ± 0.025	0.724 ± 0.031	0.683 ± 0.028
3	0.679 ± 0.022	0.684 ± 0.014	0.617 ± 0.038
6	0.606 ± 0.019	0.604 ± 0.016	0.556 ± 0.019
9	0.585 ± 0.037	0.571 ± 0.029	0.508 ± 0.018
12	0.609 ± 0.077	0.585 ± 0.016	0.537 ± 0.041
15	0.604 ± 0.067	0.624 ± 0.029	0.574 ± 0.030
18	0.603 ± 0.032	0.627 ± 0.046	0.535 ± 0.028
21	0.589 ± 0.017	0.595 ± 0.029	0.545 ± 0.016
24	0.575 ± 0.024	0.611 ± 0.039	
27	0.622 ± 0.035	0.595 ± 0.029	
30	0.605 ± 0.018	0.583 ± 0.027	
33	0.587 ± 0.044		

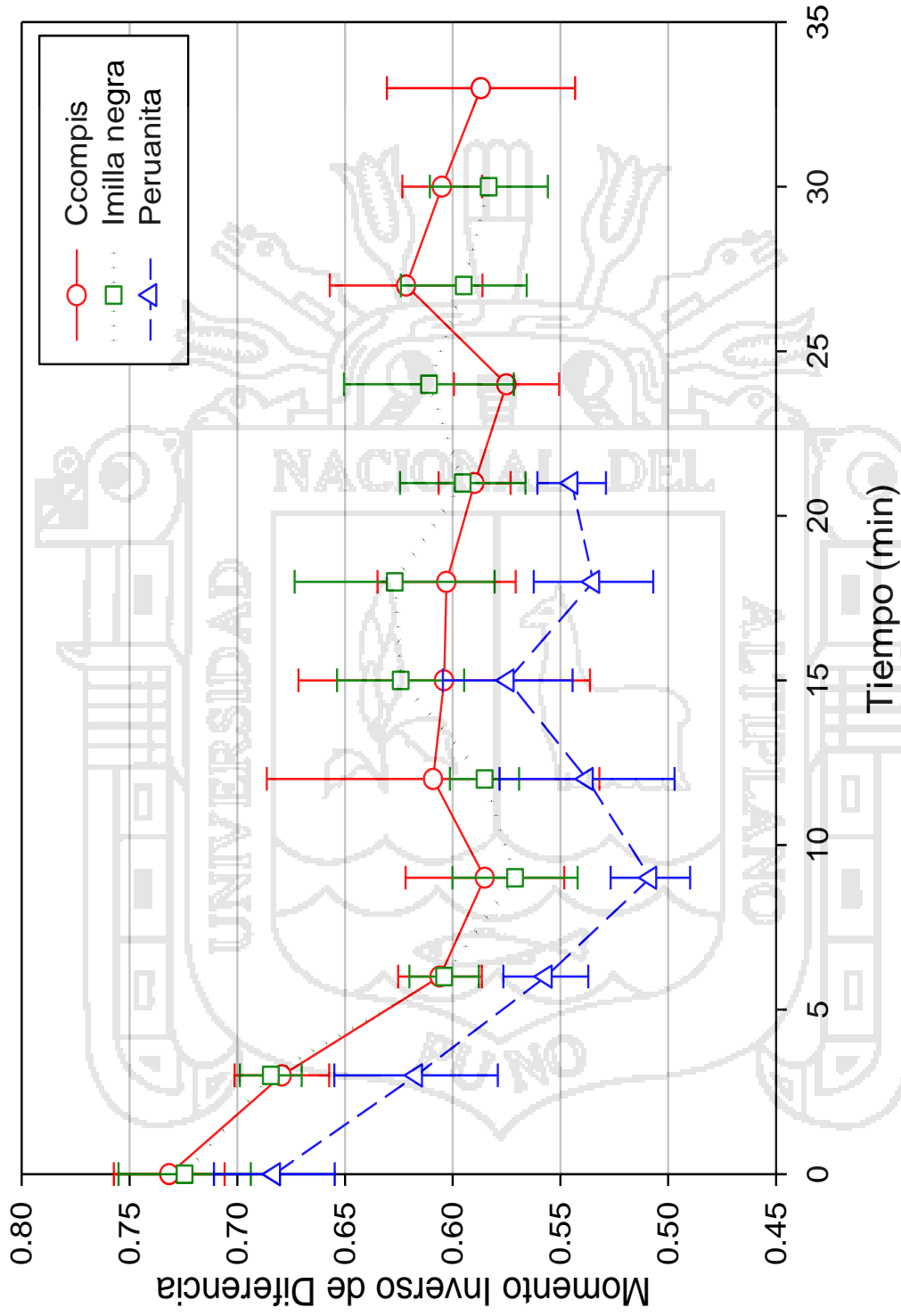


Fig. 17. Variación de la evaluación del Momento Inverso de Diferencia durante el tiempo de cocción

La Figura 17 se muestra diferencias aparentes en la variación de la homogeneidad de las tres variedades de papa durante su proceso de cocción. Los valores alcanzados por la variedad Peruanita indican que puede ser considerada la variedad que más se desordena con respecto a las dos variedades, pues alcanza un valor máximo de IDM de 0.508 a los 12 minutos para luego ascender hasta aproximadamente 0.574 a los 15 minutos de proceso en tanto los valores máximos de IDM de la variedad Ccompis e Imilla Negra son mayores a 0.571 que son alcanzados a los 9 minutos, lo que indica que su superficie es más homogénea (Gadkari, 2004; Haralick *et al.*, 1973).

En el Tabla 16 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de Contraste, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.01$) para los factores variedad y tiempo de cocción. Esto implica que los factores son independientes con respecto al IDM con nivel de significancia de 95.0%.

Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) para Momento Inverso de Diferencia

F. de V.	G.L.	SC	CM	Fc	Significancia
VARIEDAD(A)	2	0,063	0,032	46,84	**
TIEMPO(B)	11	0,174	0,016	23,34	**
AxB	17	0,011	0,001	0,957	n.s.
Error Exp.	62	0,042	0,001		
TOTAL	92	0,273			

Para el factor variedad se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan (ver Tabla 17). Los resultados de esta prueba distinguen dos grupos similares donde las variedades Ccompis e Imilla Negra, son diferentes de la variedad Peruanita, es decir la Ccompis es la que presenta mejor homogeneidad, seguida de Imilla Negra y la Peruanita es menos homogénea.

Tabla 17. Prueba de comparación múltiple Duncan para IDM según variedad, $\alpha= 0.05$

VARIEDAD	n	Media
Ccompis (V1)	36	0.624 ± 0.008a
Imilla Negra (V2)	33	0.622 ± 0.008a
Peruanita (V3)	24	0.572 ± 0.012 b

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan (Tabla 18). En los resultados de esta prueba se distinguen cuatro grupos con resultados similares que son 0 ; 3 ; 15, 27, 24, 30 ; 6, 18, 12, 9, 33 y 21 minutos, es decir el IDM para el tiempo 0 es superiores a los demás tiempos, porque la aun papa esta sin cocer, seguido de 3 minutos, en el siguiente grupo la homogeneidad va variando conforme transcurre el tiempo de cocción, porque la papa no esta completamente cocida.

Tabla 18. Prueba de comparación múltiple Duncan para IDM según variedad, $\alpha= 0.05$

TIEMPO (min)	n	Media LS
0	9	0.714 ± 0.008a
3	9	0.661 ± 0.013 b
15	9	0.611 ± 0.011 c
27	6	0.606 ± 0.012 c
24	6	0.597 ± 0.011 c
30	6	0.597 ± 0.010 c
6	9	0.590 ± 0.009 cd
18	9	0.588 ± 0.017 cd
12	9	0.586 ± 0.017 cd
9	9	0.582 ± 0.016 cd
33	3	0.577 ± 0.020 d
21	9	0.575 ± 0.009 d

4.2.4. Entropía

En la Tabla 19 y Figura 18 se presentan los valores promedios de la variación del descriptor estadístico de textura Entropía de las variedades estudiadas de papa Ccompis, Imilla Negra y Peruanita en función al tiempo de cocción.

Tabla 19. Resultados de la variación de Entropía en las variedades estudiadas de papa

Tiempo (min)	Ccompis	Imilla Negra	Peruanita
0	2.259 ± 0.126	2.256 ± 0.100	2.243 ± 0.145
3	2.322 ± 0.112	2.394 ± 0.096	2.453 ± 0.066
6	2.641 ± 0.123	2.558 ± 0.076	2.590 ± 0.077
9	2.582 ± 0.129	2.701 ± 0.075	2.724 ± 0.070
12	2.488 ± 0.156	2.565 ± 0.109	2.609 ± 0.101
15	2.509 ± 0.145	2.448 ± 0.089	2.435 ± 0.147
18	2.452 ± 0.188	2.491 ± 0.152	2.602 ± 0.071
21	2.502 ± 0.086	2.544 ± 0.052	2.601 ± 0.123
24	2.616 ± 0.096	2.438 ± 0.167	
27	2.385 ± 0.189	2.482 ± 0.125	
30	2.556 ± 0.145	2.537 ± 0.123	
33	2.633 ± 0.207		

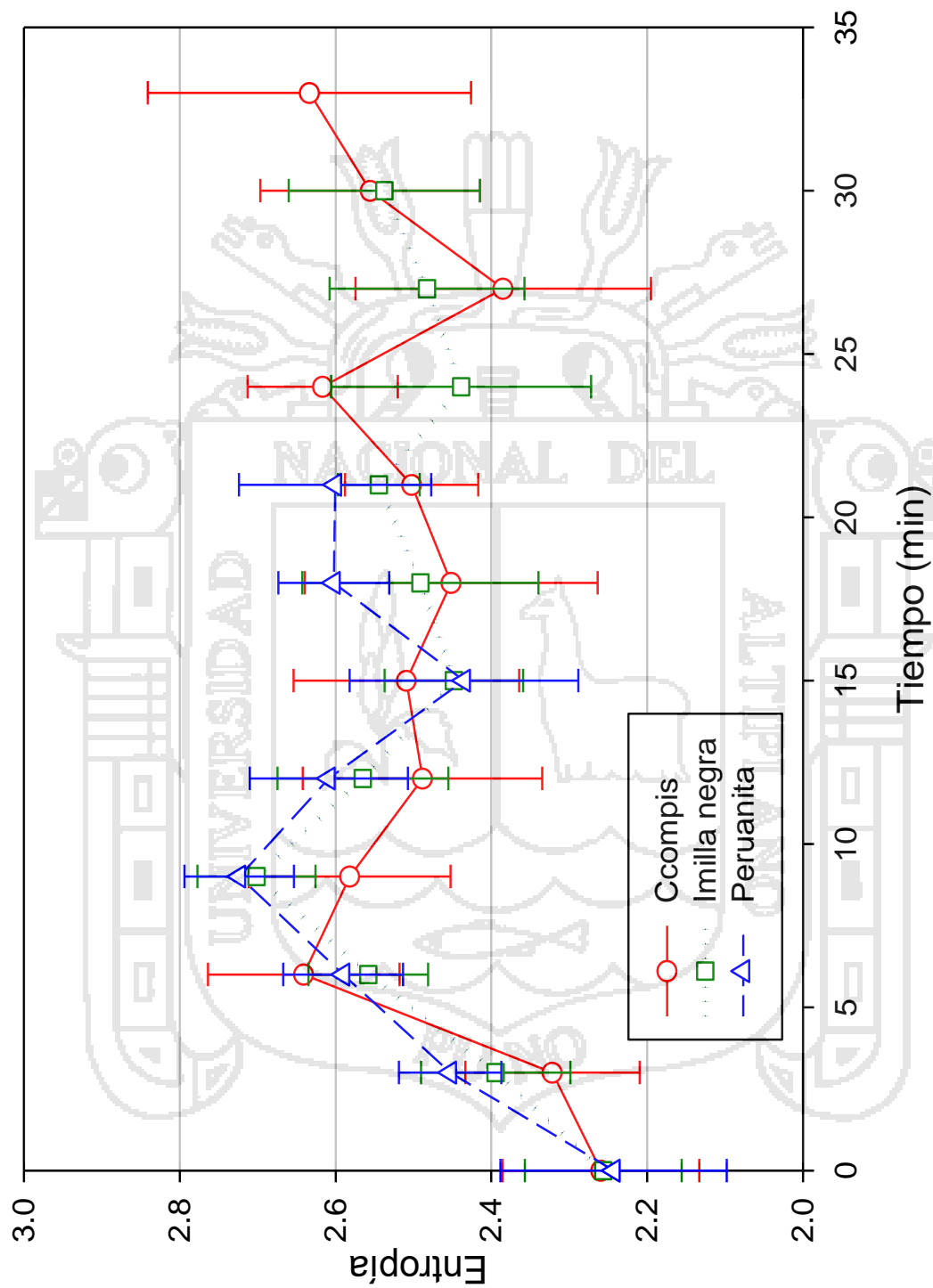


Fig. 18. Variación de Entropía de las variedades estudiadas de papa Ccompis, Imilla Negra y Peruanita durante el tiempo de cocción

La Figura 18 se muestra diferencias aparentes en la variación de la Entropía, que mide el desorden de la imagen de las tres variedades de papa durante su proceso de cocción. Los valores alcanzados por la variedad Peruanita indican que puede ser considerada la variedad más desordena en su textura entre las tres variedades estudiadas, debido a la sustancia predominante que es el almidón, que en proceso de cocción producen la gelatinización y retrogradación de almidón y una degradación enzimática y no enzimática de las pectinas que constituyen la pared celular (Kaur *et al.*, 2002). Seguido de la variedad Imilla Negra pues alcanzan un valor máximo de entropía 2.72 a los 9 minutos para luego descender hasta 2.43 a los 15 minutos de proceso en tanto el valor máximo de Entropía que alcanza la variedad Ccompis es 2.64 en 6 minutos de cocción y luego sigue una trayectoria casi homogénea (Haralick *et al.*, 1973). La entropía es inversamente correlativa al ASM (Gadkari, 2004).

En el Tabla 20 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación del Entropía, el cual nos indica que existe una diferencia significativa ($P \leq 0.01$) para el factor variedad. Esto implica que este factor es independientes con respecto a la Entropía con un 95.0% de nivel de significancia.

Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) para Entropía

F. de V.	G.L.	SC	CM	Fc	Significancia
VARIEDAD(A)	2	13,760	6,880	9,684	**
TIEMPO(B)	11	0,773	0,070	0,099	n.s.
AxB	17	0,149	0,009	0,012	n.s.
Error Exp.	62	44,047	0,710		
TOTAL	92	59,100			

Para el factor variedad se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan (Tabla 21). Los resultados de esta prueba señalan que no existen diferencias significativas entre la

Entropía de las variedad Peruanita e Imilla Negra ; y la variedad Ccompis. Es decir que la Peruanita es la que mas se desordena, seguida de Imilla Negra y la Ccompis es la que menos se desordena manteniendo su textura parcialmente firme.

Tabla 21. Prueba de comparación múltiple Duncan para Entropía según variedad, $\alpha= 0.05$

VARIEDAD	n	Media
Peruanita (V3)	24	2.543 \pm 0.187a
Imilla Negra (V2)	33	2.494 \pm 0.020a
Ccompis (V1)	36	1.695 \pm 0.031 b

4.2.5. Determinación de Dimensión Fractal

En la Tabla 22 y Figura 19 se presentan los valores promedios de la variación del descriptor estadístico Dimensión Fractal (DF) de la papa variedad estudiadas de papa Ccompis, Imilla Negra y Peruanita, durante el proceso de cocción.

Tabla 22. Resultados de la variación de Dimensión fractal de la superficie de la papa en su proceso de cocción

Tiempo (min)	Ccompis	Imilla Negra	Peruanita
0	-2.492 \pm 0.171	-2.328 \pm 0.196	-2.262 \pm 0.235
3	-2.466 \pm 0.161	-2.482 \pm 0.124	-2.295 \pm 0.226
6	-2.203 \pm 0.195	-2.218 \pm 0.162	-2.146 \pm 0.191
9	-2.302 \pm 0.192	-2.355 \pm 0.147	-2.104 \pm 0.085
12	-2.386 \pm 0.222	-2.114 \pm 0.058	-2.139 \pm 0.155
15	-2.261 \pm 0.128	-2.212 \pm 0.105	-2.263 \pm 0.183
18	-2.401 \pm 0.187	-2.375 \pm 0.253	-2.334 \pm 0.099
21	-2.312 \pm 0.133	-2.358 \pm 0.157	-2.461 \pm 0.168
24	-2.409 \pm 0.085	-2.469 \pm 0.176	
27	-2.519 \pm 0.222	-2.434 \pm 0.109	
30	-2.419 \pm 0.217	-2.503 \pm 0.114	
33	-2.520 \pm 0.161		

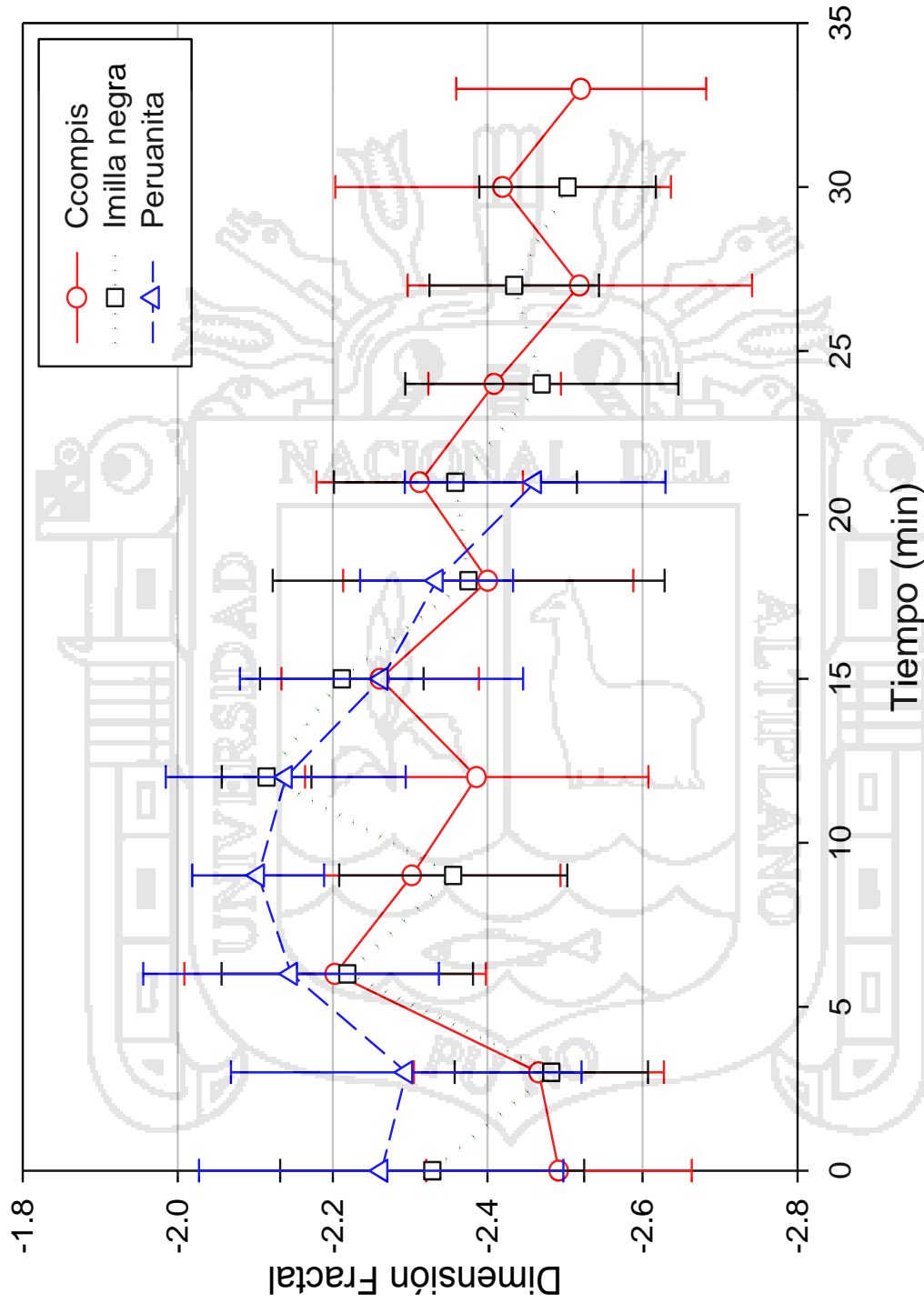


Fig. 19. Variación de Dimensión fractal de las variedades estudiadas de papa Ccompis, Imilla Negra y Peruanita durante su proceso de cocción

En la Figura 19 se presenta la DF de las tres variedades de papa estudiadas durante el tiempo de cocción. Donde se observa que los valores de la DF de la variedad Peruanita están encima de las dos variedades hasta los 11 minutos aproximadamente, porque presenta una superficie poco lisa, debido a la precipitación del almidón Andersson *et al.*, (1994); Kaur *et al.*, (2002), tomando valores $DF > -0.26$ con respecto a los demás variedades que tienen una tendencia menor por lo tanto valores menores Pentland (1984). Entonces la variedad Peruanita es la que presenta una superficie desigual. Los valores negativos se deben a que la pendiente de la recta que relaciona el logaritmo de la longitud medida del perfil de papa con el logaritmo del intervalo de frecuencias es mayor a la unidad (Gallart y Pardini, 1996)

4.3. DETERMINACION DEL MODELO DE COLOR HSL

En la Tabla 23, Figura 20 y 21 se presentan los valores promedios del modelo de color HSL de papa variedad Ccompis, Imilla Negra y Peruanita estudiadas a través del tiempo de cocción. En el Anexo II se muestra los resultados completos del modelo de color RGB convertidas al color HSL.

Tabla 23. Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de las variedades estudiadas de papa

Tiempo (min)	CCOMPIS			IMILLA NEGRA			PERUANITA		
	H(°)	S(%)	L	H(°)	S(%)	L	H(°)	S(%)	L
0	62.43	0.21	180.64	57.68	0.21	197.92	56.82	0.57	166.05
3	60.80	0.28	185.72	57.32	0.23	194.49	58.33	0.53	168.83
6	63.21	0.24	190.36	58.30	0.23	196.04	57.57	0.59	159.85
9	58.63	0.34	182.51	57.12	0.24	188.29	55.85	0.61	158.37
12	58.58	0.27	187.89	59.01	0.29	188.81	56.86	0.62	157.78
15	57.87	0.43	173.77	58.70	0.20	202.07	57.69	0.59	160.71
18	60.88	0.28	181.71	59.17	0.27	192.62	56.35	0.65	153.55
21	59.79	0.29	179.28	59.14	0.27	193.00	58.22	0.55	158.88
24	61.02	0.27	179.78	58.88	0.26	193.85			
27	60.21	0.24	194.58	58.46	0.28	190.34			
30	61.01	0.28	184.29	60.02	0.23	196.39			
33	60.47	0.28	180.69						

En la Figura 20 y 21 se presenta los tres componentes del modelo HSL, en la combinación de Tonalidad, Saturación y Luminosidad, los cambios de color de las tres variedades de papa a diferentes tiempos de cocción. Las tres variedades estudiadas de papa tienen un color amarillo, ya que el rango de Tonalidad (H°) es estrecho y abarca entre 55° a 60° . A excepción de la variedad Ccompis en el tiempo de 6 minutos, que está entre amarillo a color verde ($H=63.21^\circ$). Esta variedad parece tener tonalidades de color verde. Para las variedades Ccompis e Imilla Negra el principal color no es puro, ya que su rango de Saturación (S) es bastante bajo oscilando entre 21 y 43% y en la variedad Peruanita la saturación esta entre 53 y 61% lo que indica que esta variedad presenta un color amarillento intenso o más puro. Las medidas de Luminosidad (L) varían entre 153 a 203 (en una escala de 255) el color de la papa varía entre amarillo pálido a amarillo intenso, predominante con algunos colores blancos presentes Medina *et al.*, (2010). Todos estos resultados muestran la caracterización de color de las variedades estudiadas de papa en función al tiempo de cocción.



Fig. 20. Parámetros de color de 3 variedades de papa a diferentes tiempos de cocción. Luminancia y Tonalidad (°)

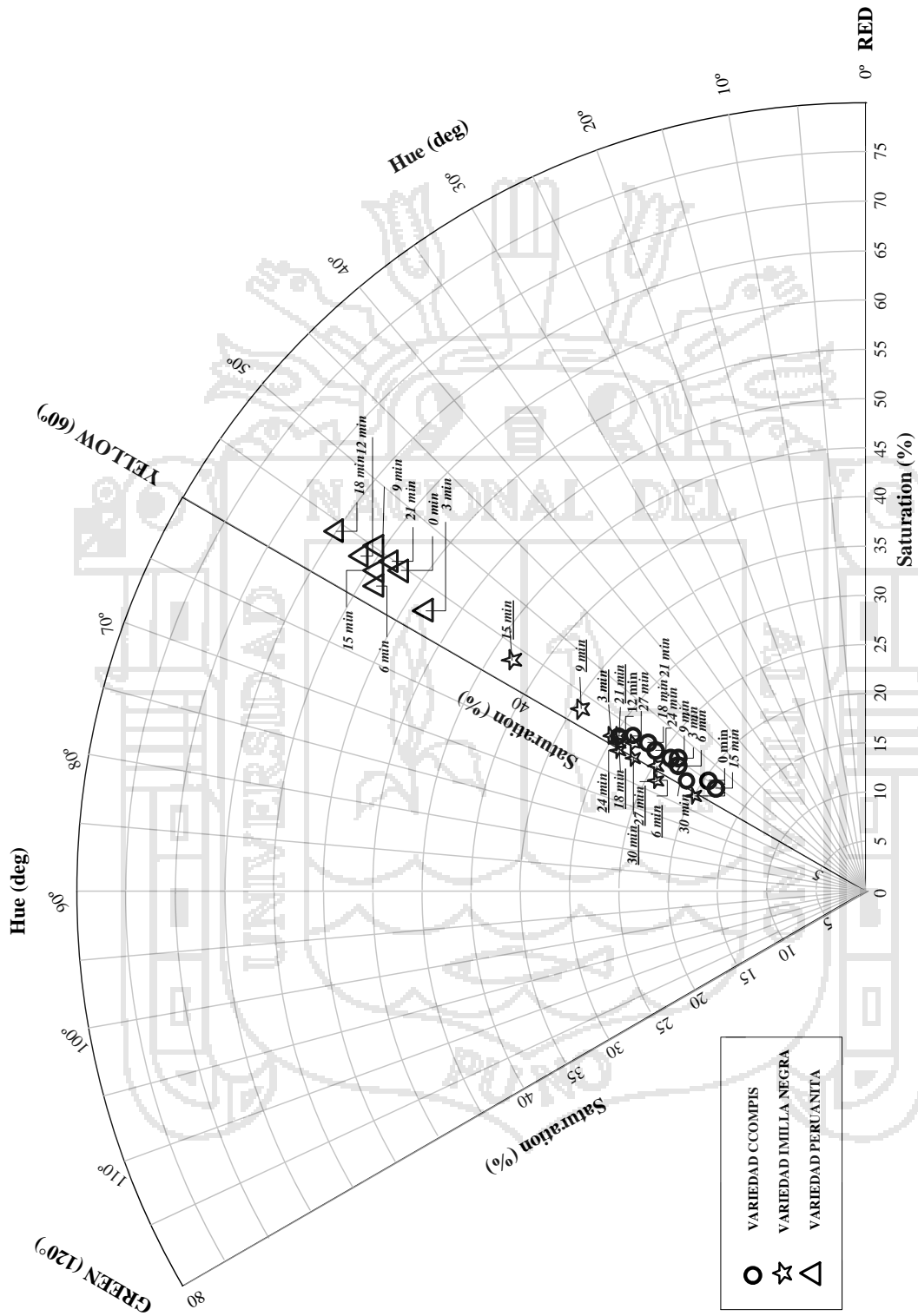


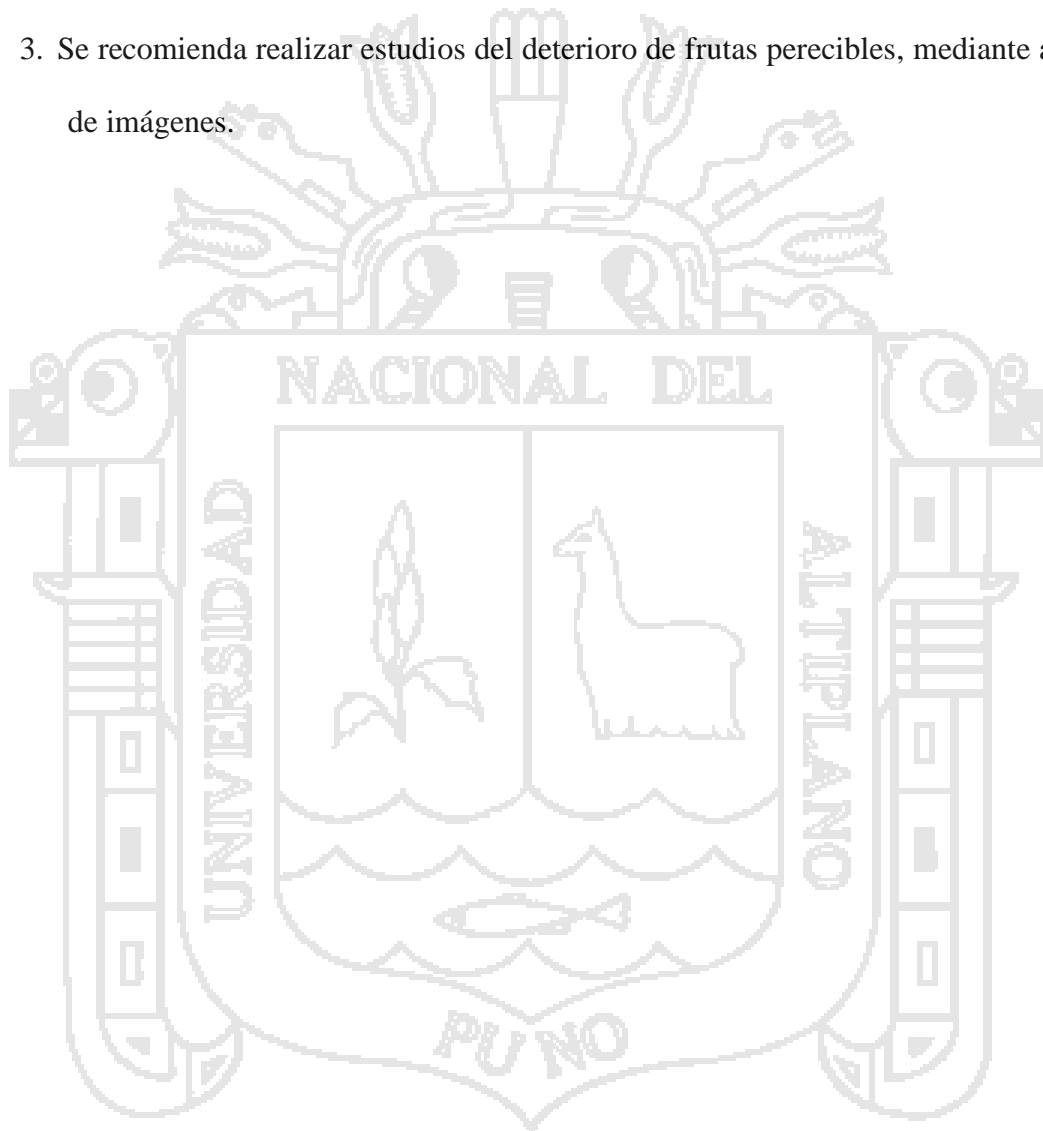
Fig. 21. Parámetros de color de 3 variedades de papa a diferentes tiempos de cocción. Saturación (%) y Tonalidad (°)

V. CONCLUSIONES

1. La proporción de área cocida de las variedades estudiadas de papa Ccompis, Imilla negra y Peruanita, están entre 0 y 1, con el Modelo de Peleg se demuestra que la variedad Peruanita presenta mayor proporción de área cocida y es la más susceptible a cocerse a los 21 minutos, y las variedades Ccompis e Imilla Negra alcanzan la proporción cocida a los 12 minutos de cocción y completándose la cocción a los 33 y 30 minutos respectivamente.
2. Los valores de los descriptores estadísticos de textura ASM, CT y IDM, de la variedad Peruanita demuestran que esta presenta menor uniformidad, y es la más heterogénea en su estructura interna durante el tiempo de cocción, entonces es la más suave y/o blanda por ser más harinosa con relación a Ccompis e Imilla Negra. La variedad Ccompis es la que menos se desordena, entonces es la menos suave y la que demora más en cocerse completamente con una textura ligeramente firme.
3. La Tonalidad (H°) de las tres variedades estudiadas de papa Ccompis, Imilla Negra están entre color amarillo con combinaciones de rojo. La Saturación de Ccompis e Imilla negra esta entre amarillo pálido grisáceo, en tanto la Peruanita tiene una saturación cercano a amarillento intenso o más puro. Los valores de luminosidad (L) varían entre el amarillo pálido y amarillo intenso, predominante con algunos colores blancos presentes.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener en cuenta la intensidad de luz a utilizar en el sistema de adquisición de imágenes.
2. Se recomienda realizar estudios de la procedencia de papas nativas y tubérculos andinos, mediante la caracterización por color.
3. Se recomienda realizar estudios del deterioro de frutas pericarpes, mediante análisis de imágenes.



VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abramoff, M. D., Magelhaes, P. J., & Ram, S. J. (2004). Image processing with Image J. *Biophotonics International*, 11, 36 – 42.
- Aguilera, J. M., Cipriano, A., Eraña, M., Lillo, I., Mery, D., & Soto, A. (2006). *Computer Vision for Quality Control in Latin American Food Industry, A Case Study*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Alvarado, C. (2002). *Como industrializar la papa en el Perú*: MINAG-DGPA.
- Alvarado, J. D., & Aguilera, J. M. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. (Primera ed.). Zaragoza - España: Editorial Acribia S.A.
- Anderson, A. (1994). *Modelling of potato blanching*. Ph. D., Lund University Sweden.
- Andersson, A., Gekas, V., Lind, L., Olivera, F. & Oste, R. (1994). Effect of preheating on potatoes texture – critical review. *Food Science and Nutrition*, 34, 229 – 251.
- Barreiro, P. Ruiz, M. (1996). Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. *ETSIA Fruticultura Profesional*. N°77, 48-51.
- Barrera, L. (2010). *Desarrollo e implementación de algoritmos para el sistema de percepción y localización de los robots bogobots*. Grado de maestro en Ciencias de Ingeniería, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Atizápan de Zaragoza.
- Betancur, J., Mora, J., & Viera, J. (2010). Detección de bordes utilizando la matrix de co-ocurrencia: Aplicación a la segmentación de imágenes de frutos de café. *Dyna*, 164, 240 - 250.

- Bevk, M. & Kononenko, I. (2002). Statistical approach to texture description of medical images: A preliminary study. *Proceedings of the 15th IEEE Symposium on Computer – Based Medical Systems*, 239 – 244.
- Bharati, M. H., Liu, J. J., & MacGregor, J. F. (2004). Image texture analysis: methods and comparisons. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 72, 57 - 71.
- Brennan, J. G. (2008). *Manual del procesamiento de los alimentos*. Zaragoza (España): Editorial Acribia S.A.
- Castleman, K. R. (1996). *Digital Imaging Processing*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2009). *Papas Andinas*. Disponible en: <http://www.papasandinas.org/mas4000.html>. Consultado el 17/03/12.
- Chan, K.L. (1995). Quantitative characterization of electron micrograph image fractal features. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 42, 1033-1037.
- Clausi, D. A., (2002). An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of gray level quantization, *Can. J. Remote Sensing*, 28(1), 45-62.
- Cocquerez, J. y Philipp, S. (1997). *Analyse D'Images Filtrage et Segmentation*. Masson.
- Corzo, O., Ramírez, O. & Bracho, N. (2008). Aplicación del Modelo de Peleg en el estudio de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de Maney (*Mammea americana* L.). *Saber, Universidad del Oriente, Venezuela*, 20(1), 87- 95.
- Cowan, C. W. &, Watson, P. (1992). *El Origen de la agricultura; una perspectiva internacional*. Smitsonian Institute Press, Washington.

- Crowley, H. (2001). The Effect of Low Temperature Blanching on the Texture of Whole Processed New Potatoes. Masters Thesis. *Dublin Institute of Technology*,
- Cuevas, E., Zalvívar, D., & Pérez, M. (2010). *Procesamiento digital de imágenes usando MATLAB y Simulink* (Primera ed.). Alfaomega Grupo Editor S.A. México.
- Du, C., & Sun, D. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Food science and technology international*, 15, 230-249.
- Gadkari, D. (2004). *Image Quality Analysis Using GLCM*. Thesis of Master of Science in Modeling and Simulation in the College of Arts and Sciences at the University of Central Florida Orlando, Florida.
- Gallart, F. & Pardini, G. (1996). Perfilu: Un programa para el análisis de la rugosidad de perfiles microtopográficos mediante el estudio de la geometría fractal. *IV Reunión de Geomorfología*. Sociedad Española de Geomorfología. Coruña.
- García, G. M. (2010). *Adquisición y representación de imágenes*. Presentación de Asignatura "Procesamiento Audiovisual" Departamento de Informática y Sistemas, Universidad de Murcia. Disponible en <http://dis.um.es/profesores/ginesgm> consultado el 23/12/2012.
- Gonzalez, R., & Woods, R. (1996). *Tratamiento digital de imágenes*, Addison-Wesley Publishing Co, Reading, Washington.
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2002). *Tratamiento Digital de Imágenes* (Segunda ed.). Prentice Hall. New Jersey.
- Haralick, R., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 3(6): 610 - 621.

- Ibañez, V. (2009). *Análisis y Diseño de Experimentos* (Primera ed.). Editorial universitaria. Puno – Perú.
- Kaur, L., Singh, N., Singh, N., & Singh, H., (2002). Some properties of potatoes and their starches. I. Cooking, textural and rheological properties of potatoes. *Food Chemistry* 79, 177–181.
- La Serna, N., Román, U. (2009). Técnicas de segmentación de procesamiento digital de imágenes. *Revista de Ingeniería de Sistemas Informática UNMSM*. 6(2), 6 – 9.
- Leiva, G.A., & Aguilera, J.M. (2012). Automatic detection of orientation and diseases in blueberries using visible images to improve their postharvest storage quality. *Food Science and Technology*, 0.1, 1-26.
- León, L., Mery, D., & Pedreschi, F. (2006). Color Measurement in L*a*b units from RGB digital images. *Food Research International*. 39: 1084-1091.
- Lujan, L. (1990). *Origen y evolución de la Papa Cultivada*. Rev. Papa 1: 4- 10.
- Magoulas, G.D., Karkanis, S.A., Karras, D.A. & Vrahatis, M.N. (1999). Comparison Study of Textural Descriptors for Training Neutral Network Classifiers. *IEEE CSCC*. 1, 6221 – 6226.
- Medina, W., Skurtys, O. & Aguilera, J. M. (2010). Study on image analysis application for identification Quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) geographical provenance. *Journal Food Science and Technology*, 43, 238–246.
- Medina, W.T., Quevedo, R.A., & Aguilera J.M. (2012). Changes on image texture features of breakfast flakes cereals during water absorption. *Food Science and Technology International*, 0(0), 1-13.

- Mery, D., & Pedreschi, F. (2005). Segmentation of colour food images using a robust algorithm. *Journal of Food Engineering*, 66, 353 - 360.
- Morales, C.A., (2008). *Clasificación de calidad sensorial de papas fritas tipo chips mediante visión computacional*. Universidad de Chile, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Santiago- Chile,
- NTP.011.119. (2010). *Papa y derivados, definiciones y requisitos*. (Segunda ed.). Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias – INDECOPI. Lima, Perú.
- Pedreschi, F., León, J., Mery, D. & Moyano, P. (2006). Development of a computer vision system to measure the 3 color of potato chips. *Food Research International*, 39, 1092-1098.
- Peleg, M. (1988). An empirical model for description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53, 1216–1219.
- Pentland A. (1984). Fractal based description of natural scenes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 6: 661-674.
- Pérez, C. (2010). *Computo evolutivo como enfoque en la descripción del contenido de la imagen aplicado a la segmentación y el reconocimiento de objetos*. Tesis Doctoral. Ciencias de la computación, CICESE. México.
- Quevedo, R., Carlos, L.G, & Aguilera, J.M. (2002). Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*, 53, 361-371.
- Ríos, J., Martínez, J.J, Aledo, E. (2009). El análisis textural mediante las matrices de co-ocurrencia (GLCM) sobre imagen ecográfica del tendón rotuliano es de utilidad

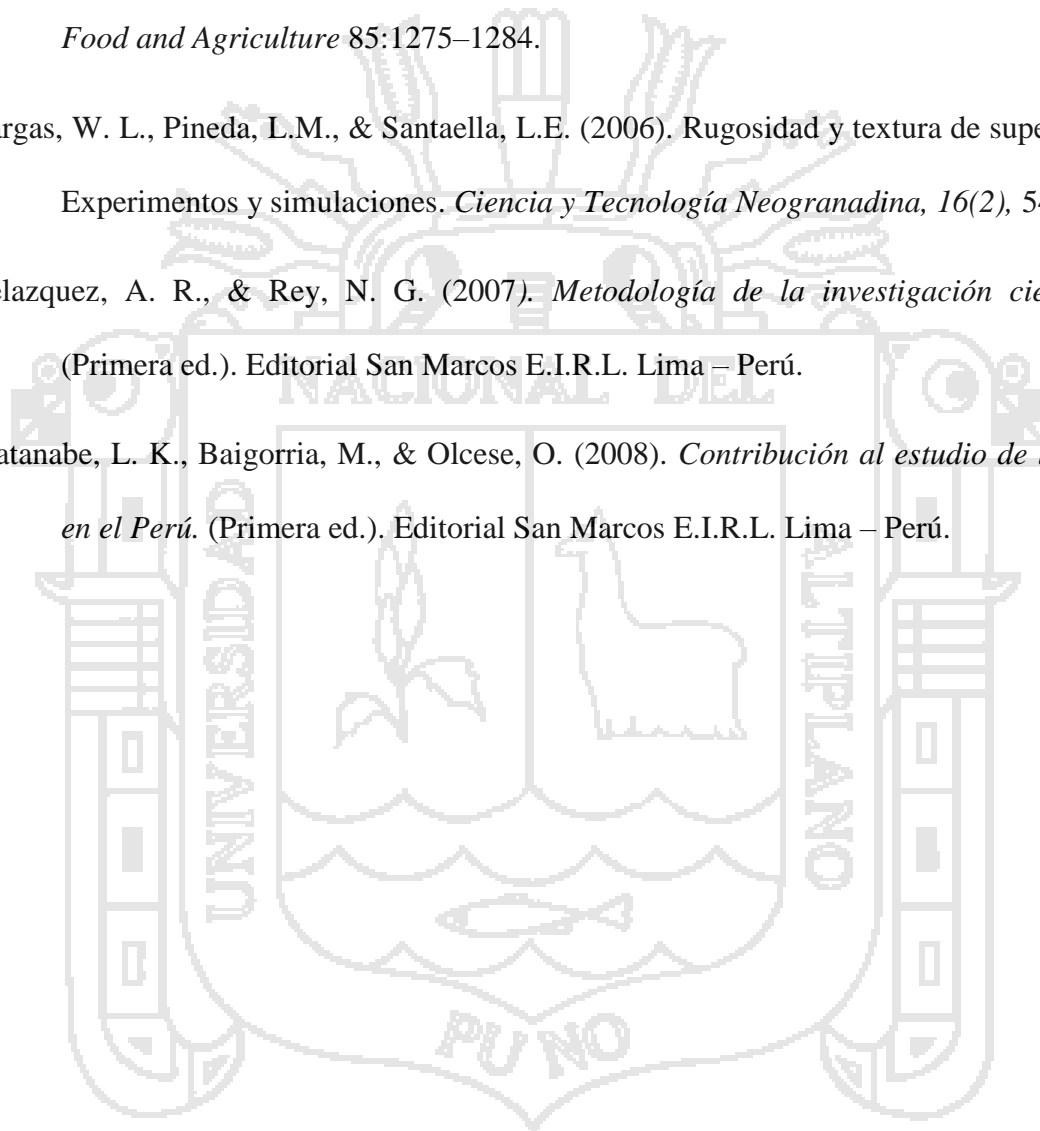
para la detección cambios histológicos tras un entrenamiento con plataforma de vibración. *CCD Redalyc*. 4(11), 91-102.

Singh N., Kaur, L., Ezekiel, R. and Singh, H. G. (2005). Microstructural, cooking and textural characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L) tubers in relation to physicochemical and functional properties of their flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85:1275–1284.

Vargas, W. L., Pineda, L.M., & Santaella, L.E. (2006). Rugosidad y textura de superficies: Experimentos y simulaciones. *Ciencia y Tecnología Neogranadina*, 16(2), 54 – 63.

Velazquez, A. R., & Rey, N. G. (2007). *Metodología de la investigación científica*, (Primera ed.). Editorial San Marcos E.I.R.L. Lima – Perú.

Watanabe, L. K., Baigorria, M., & Olcese, O. (2008). *Contribución al estudio de la papa en el Perú*. (Primera ed.). Editorial San Marcos E.I.R.L. Lima – Perú.





ANEXO I

Resultados de la segmentación de imágenes de cada papa a diferentes tiempos de cocción, obtenidas de la implementación de algoritmo en MATLAB.

Tiempo	VARIEDAD CCOMPIS			PROMEDIO	VARIEDAD IMILLA NEGRA			PROMEDIO	VARIEDAD PERUANITA			PROMEDIO
	R1	R2	R3		R1	R2	R3		R1	R2	R3	
0 min	0	0	0	0±0.000	0	0	0	0±0.000	0	0	0	0±0.000
3 min	0.199	0.201	0.201	0.200±0.001	0.292	0.193	0.250	0.245±0.050	0.183	0.282	0.307	0.258±0.066
6 min	0.525	0.494	0.537	0.519±0.022	0.532	0.468	0.582	0.527±0.057	0.474	0.462	0.534	0.490±0.039
9 min	0.751	0.773	0.778	0.767±0.015	0.675	0.662	0.726	0.688±0.034	0.730	0.666	0.709	0.702±0.033
12 min	1.000	1.000	1.000	1±0.000	1.000	1.000	1.000	1±0.000	0.941	0.908	0.887	0.912±0.028
15 min	1.000	1.000	1.000	1±0.000	1.000	1.000	1.000	1±0.000	1.000	1.000	1.000	1±0.000

PROPORCION COCIDA

ANEXO II.

Resultados de la segmentación de color RGB en ImageJ. (Abramoff *et al.*, 2004). de las tres variedades estudiadas y convertidas a modelo HSL (Medina *et al.*, 2010).

	Tiempo	Rojo (R)	Verde (G)	Azul (B)	Max	Min	Diferencia	Ho	H(°)	S (%)	L
COMPI	0	198.75	201.15	142.02	201.15	142.02	59.13	1.04047756	62.43	0.21	180.64
	3	211.23	212.28	133.64	212.28	133.64	78.63	1.01328667	60.80	0.28	185.72
	6	211.36	215.14	144.56	215.14	144.56	70.58	1.05353594	63.21	0.24	190.36
	9	214.96	212.78	119.79	214.96	119.79	95.17	0.97711426	58.63	0.34	182.51
	12	214.22	212.39	137.07	214.22	137.07	77.15	0.97627257	58.58	0.27	187.89
	15	213.29	209.22	98.82	213.29	98.82	114.47	0.96444046	57.87	0.43	173.77
	18	206.31	207.43	131.39	207.43	131.39	76.04	1.01471136	60.88	0.28	181.71
	21	205.43	205.16	127.26	205.43	127.26	78.17	0.99645968	59.79	0.29	179.28
	24	203.37	204.61	131.36	204.61	131.36	73.25	1.01692021	61.02	0.27	179.78
	27	218.11	218.36	147.27	218.36	147.27	71.09	1.00350007	60.21	0.24	194.58
	30	209.18	210.48	133.22	210.48	133.22	77.26	1.01677429	61.01	0.28	184.29
	33	205.62	206.22	130.24	206.22	130.24	75.98	1.00785041	60.47	0.28	180.69

	Tiempo	Rojo (R)	Verde (G)	Azul (B)	Max	Min	Diferencia	Ho	H(°)	S (%)	L
IMILLA NEGRA	0	220.04	217.56	156.15	220.04	156.15	63.89	0.961290	57.68	0.21	197.92
	3	218.61	215.52	149.35	218.61	149.35	69.26	0.955337	57.32	0.23	194.49
	6	219.23	217.31	151.57	219.23	151.57	67.66	0.971658	58.30	0.23	196.04
	9	212.68	209.32	142.87	212.68	142.87	69.81	0.951927	57.12	0.24	188.29
	12	216.88	215.51	134.03	216.88	134.03	82.85	0.983470	59.01	0.29	188.81
	15	223.09	221.75	161.37	223.09	161.37	61.72	0.978251	58.70	0.20	202.07
	18	219.50	218.40	139.98	219.50	139.98	79.52	0.986161	59.17	0.27	192.62
	21	219.25	218.14	141.61	219.25	141.61	77.64	0.985665	59.14	0.27	193.00
	24	219.46	218.06	144.04	219.46	144.04	75.42	0.981415	58.88	0.26	193.85
	27	217.63	215.59	137.81	217.63	137.81	79.82	0.974415	58.46	0.28	190.34
	30	219.22	219.24	150.72	219.24	150.72	68.52	1.000354	60.02	0.23	196.39

	Tiempo	Rojo (R)	Verde (G)	Azul (B)	Max	Min	Diferencia	Ho	H(°)	S (%)	L
PERUANITA	0	216.96	209.28	71.91	216.96	71.91	145.06	0.9470255	56.82	0.57	166.05
	3	215.69	211.89	78.92	215.69	78.92	136.77	0.9722372	58.33	0.53	168.83
	6	209.83	204.00	65.73	209.83	65.73	144.10	0.9594843	57.57	0.59	159.85
	9	212.04	201.62	61.44	212.04	61.44	150.60	0.9307815	55.85	0.61	158.37
	12	210.40	202.54	60.40	210.40	60.40	150.00	0.9476261	56.86	0.62	157.78
	15	210.64	205.08	66.40	210.64	66.40	144.25	0.9614663	57.69	0.59	160.71
	18	208.31	198.89	53.44	208.31	53.44	154.86	0.9391764	56.35	0.65	153.55
21	204.26	200.32	72.05	204.26	72.05	132.20	0.9702518	58.22	0.55	158.88	

ANEXO III.

Rangos de diámetro (D) mayor (mm), menor (mm) y peso (g) según el calibre y la variedad de papa.

Variedad		Calibres		
		Extra	Primera	Segunda
Canchan	D mayor (mm)	134 - 102	101 - 75	74 - 49
	D menor (mm)	107 - 72	71 - 51	50 - 38
	Peso (g)	639 - 320	319 - 155	154 - 29
Perricholi	D mayor (mm)	127 - 101	100 - 76	75 - 55
	D menor (mm)	108 - 80	79 - 55	54 - 44
	Peso (g)	615 - 382	381 - 179	178 - 50
Yungay	D mayor (mm)	151 - 104	103 - 73	72 - 45
	D menor (mm)	101 - 61	60 - 45	44 - 32
	Peso (g)	710 - 321	320 - 132	131 - 20
Tumbay	D mayor (mm)	94 - 77	76 - 58	57 - 30
	D menor (mm)	83 - 64	63 - 47	46 - 32
	Peso (g)	361 - 202	201 - 99	98 - 20
Huayro	D mayor (mm)	167 - 132	131 - 90	89 - 43
	D menor (mm)	66 - 53	52 - 45	44 - 35
	Peso (g)	432 - 253	252 - 118	117 - 20
Peruanita	D mayor (mm)	130 - 88	87 - 60	59 - 50
	D menor (mm)	98 - 63	62 - 45	44 - 40
	Peso (g)	509 - 265	264 - 56	55 - 45

Fuente: NTP.011.119 (201

ANEXO IV.

Esquema de la metodología experimental de evaluación del proceso de cocción de papa mediante análisis de imágenes.

