

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



**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE  
ESPÁRRAGOS VERDES (*Asparagus officinalis* L.) DURANTE SU  
COCCIÓN MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR**

**BACH. BRENDA YENIS CAHUARI PARIONA**

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

**PUNO**

**PERÚ**

**2014**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE ESPÁRRAGOS  
VERDES (*Asparagus officinalis* L.) DURANTE SU COCCIÓN MEDIANTE  
ANÁLISIS DE IMÁGENES”

TESIS PRESENTADA POR

BRENDA YENIS CAHUARI PRIONA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Aprobada por el jurado revisor conformado por:

PRESIDENTE : .....

Ph.D. Juan Marcos Aro Aro

PRIMER MIEMBRO : .....

M.Sc. Genny Isabel Luna Mercado

SEGUNDO MIEMBRO : .....

M.Sc. Florentino Victor Choquehuanca Caceres

DIRECTOR DE TESIS : .....

Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza

PUNO – PERÚ

2014

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

## DEDICATORIA

*Con todo mi amor y cariño a mi madre Nery Pariona Amable que hizo todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino terminaba, a mi padre Victor y mi hermana Tania por su paciencia, comprensión, confianza y apoyo moral, a ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento.*



## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación primeramente me gustaría agradecerlo a Dios por bendecirme y colaborar, para hacer realidad este pequeño paso pero tan significativo.

A mi universidad y por consiguiente, a todos mis docentes que colaboraron conmigo durante toda mi vida universitaria para poder tener una mejor formación profesional y por brindarme las enseñanzas necesarias, que se ven concretada hoy con este, mi aporte, que es la tesis.

A mi director de tesis, Dr. Wenceslao Medina Espinoza por las muchas horas de esfuerzo y dedicación, que me pudo brindar, incluso dejando de lado actividades de índole profesional, y quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y su motivación ha logrado en mí, que pueda, concretar con gran éxito el presente trabajo.

A mis jurados por sus aportes críticos en cuanto a la investigación, logrando con ello llegar a perfeccionar el presente trabajo y logrando también inspirar en mí la mayor vocación de investigadora.

A mi hermana Tania Cahuari y a mi amiga Keli Ordoño por su apoyo incondicional durante la ejecución de la presente investigación.

A mis amigos Fredering, Ruben, Lisbet, Alex, Carlos, Edwin, Violeta, Ricardo y las personas que han formado parte de mi vida pre-profesional y profesional a las que agradezco por su sincera amistad, sabios consejos, apoyo incondicional, ánimo y compañía en los momentos buenos y difíciles de mi vida; los avatares o circunstancias de la vida hacen que algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, pero sin importar en donde estén, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus buenos deseos.

Para ellos: Por Dios ante y Muchas gracias.

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE SIGLAS	
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. ESPÁRRAGOS VERDES.....	3
2.1.1. GENERALIDADES.....	3
2.1.2. DESCRIPCIÓN.....	4
2.1.3. VARIEDADES DE ESPÁRRAGOS.....	4
2.1.3.1. Espárragos Verdes.....	4
2.1.3.2. Espárragos Blancos.....	5
2.1.3.3. Espárragos Morados.....	5
2.1.4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL ESPÁRRAGO.....	6
2.1.5. ESTACIONALIDAD DE PRODUCCIÓN.....	8
2.1.6. PRODUCCIÓN DE ESPÁRRAGOS EN EL PERÚ.....	9
2.1.7. MANEJO POST COSECHA.....	11
2.1.7.1. Temperatura.....	11
2.1.7.2. Humedad relativa.....	11
2.1.7.3. Frio.....	11
2.1.7.4. Vida de almacenamiento.....	11

2.1.8. PRESENTACIONES O FORMAS DE INDUSTRIALIZACIÓN....	11
2.1.8.1. Espárrago Fresco.....	12
2.1.8.2. Espárrago Congelado.....	12
2.1.8.3. Espárrago en conserva.....	12
2.2. TEXTURA.....	12
2.2.1. TEXTURA EN ESPÁRRAGOS.....	13
2.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE TEXTURA DE ESPÁRRAGOS....	14
2.2.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PERFORACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE FIRMEZA EN ESPÁRRAGOS.....	14
2.3. ANÁLISIS DE IMÁGENES.....	15
2.3.1. ETAPAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	16
2.3.1.1. Adquisición de imágenes.....	16
2.3.1.2. Pre-Procesamiento de Imagen.....	17
2.3.1.3. Segmentación de Imágenes.....	17
2.3.1.4. Extracción de Características.....	18
2.3.1.5. Características Texturales.....	18
2.3.1.5.1. Segundo Momento Angular o Angular Second Moment (ASM).....	19
2.3.1.5.2. Contraste (CT).....	19
2.3.1.5.3. Momento inverso de diferencia o Inverse Difference Moment (IDM).....	19
2.3.1.5.4. Entropía (ET).....	20
2.3.1.6. Dimensión Fractal.....	20
2.3.2. CARACTERÍSTICAS DE COLOR.....	20
2.3.2.1. Imágenes RGB.....	21

2.3.2.2. Modelo de color HSL.....	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	24
3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y OTROS.....	24
3.2.1. MATERIA PRIMA.....	24
3.2.2. MATERIALES.....	24
3.2.3. EQUIPOS DE LABORATORIO.....	25
3.2.4. SOFTWARE.....	25
3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	26
3.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	28
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	31
3.4.1. Determinación de descriptores estadísticos de textura.....	31
3.4.2. Determinación de color RGB.....	31
3.5. UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES.....	32
3.5.1. VARIABLES DE ESTUDIO.....	32
3.5.2. VARIABLES DE RESPUESTA.....	33
3.5.3. INDICADORES.....	33
3.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. DETERMINACIÓN DE FIRMEZA.....	37
4.2. DETERMINACIÓN DE DESCRIPTORES ESTADÍSTICOS DE TEXTURA MEDIANTE ANÁLISIS DE IMAGEN.....	41
4.2.1. Segundo Momento Angular en el corte Longitudinal.....	41
4.2.2. Contraste en el corte longitudinal.....	45
4.2.3. Momento Inverso de Diferencia en el corte longitudinal.....	50

4.2.4. Entropía.....	55
4.2.5. Determinación de Dimensión Fractal en el corte longitudinal.....	59
4.2.6. Segundo Momento Angular en el corte Transversal.....	68
4.2.7. Contraste en el corte Transversal.....	73
4.2.8. Momento Inverso de Diferencia en el corte Transversal.....	78
4.2.9. Entropía en el corte Transversal.....	82
4.2.10. Dimensión Fractal en el corte Transversal.....	87
4.3. DETERMINACIÓN DEL MODELO DE COLOR HSL.....	93
4.3.1. Determinación del modelo de color HSL en el corte longitudinal.....	93
4.3.2. Determinación del modelo de color HSL en el corte transversal.....	97
V. CONCLUSIONES.....	102
VI. RECOMENDACIONES.....	103
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	104
ANEXOS.....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Valor nutricional por cada 100 gramos de espárrago.....	6
Tabla 2	Contenido de minerales en espárrago verde.....	7
Tabla 3	Contenido de vitaminas en espárrago verde.....	7
Tabla 4	Ingesta diaria adecuada de los principales componentes del espárrago.....	8
Tabla 5	Estacionalidad del espárrago en los principales países productores.....	9
Tabla 6	Formato para recolección de datos en cocción por horno microondas.....	35
Tabla 7	Formato para recolección de datos en cocción por hervor.....	35
Tabla 8	Resultados de la determinación de la firmeza (Pa) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	37
Tabla 9	Análisis de varianza (ANOVA) para la firmeza.....	40
Tabla 10	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la firmeza según tratamiento, $\alpha= 0.05$ .....	40
Tabla 11	Resultados de la variación del Segundo Momento Angular (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	41
Tabla 12	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Segundo Momento Angular en el corte longitudinal.....	45
Tabla 13	Resultados de la variación del Contraste (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	45

Tabla 14	Análisis de Varianza (ANOVA) del Contraste en el corte longitudinal.....	49
Tabla 15	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el Contraste (longitudinal) según el tiempo, $\alpha= 0.05$ .....	49
Tabla 16	Resultados de la variación del Momento Inverso de Diferencia (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	50
Tabla 17	Análisis de Varianza (ANOVA) del Momento Inverso de Diferencia en el corte longitudinal.....	53
Tabla 18	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el Momento Inverso de Diferencia (longitudinal) según el tiempo, $\alpha= 0.05$ .....	54
Tabla 19	Resultados de la variación del Entropía (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	55
Tabla 20	Análisis de Varianza (ANOVA) de la Entropía en el corte longitudinal.....	58
Tabla 21	Resultados de la variación de la Dimensión Fractal (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	59
Tabla 22	Análisis de Varianza (ANOVA) de la Dimensión Fractal en el corte longitudinal.....	62
Tabla 23	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la Dimensión Fractal (longitudinal) según tiempo, $\alpha= 0.05$ . ....	63
Tabla 24	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la Dimensión Fractal (longitudinal) según tratamientos, $\alpha= 0.05$ .....	64

Tabla 25	Resultados de la variación del Segundo Momento Angular (transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	68
Tabla 26	Análisis de varianza (ANOVA) para Segundo Momento Angular en el corte transversal.....	72
Tabla 27	Prueba de comparación múltiple Duncan para Segundo Momento Angular (transversal) según tratamientos, $\alpha= 0.05$ .....	72
Tabla 28	Resultados del Contraste (transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	73
Tabla 29	Análisis de varianza (ANOVA) para Contraste en el corte transversal.....	76
Tabla 30	Prueba de comparación múltiple de Duncan para Contraste (transversal) según tiempo, $\alpha= 0.05$ .....	77
Tabla 31	Prueba de comparación múltiple de Duncan para Contraste (transversal) según tratamiento, $\alpha= 0.05$ .....	78
Tabla 32	Resultados del Momento Inverso de Diferencia (transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	78
Tabla 33	Análisis de varianza (ANOVA) para Momento Inverso de Diferencia en el corte transversal.....	81
Tabla 34	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el Momento Inverso de Diferencia (transversal) según tratamiento, $\alpha= 0.05$ .....	82
Tabla 35	Resultados de la Entropía (Transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	82

Tabla 36	Análisis de varianza (ANOVA) para Entropía en el corte transversal.....	85
Tabla 37	Prueba de comparación múltiple de Duncan para Entropía (transversal) según tratamiento, $\alpha= 0.05$ .....	86
Tabla 38	Resultados de la Dimensión Fractal (transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.....	87
Tabla 39	Análisis de varianza (ANOVA) para Dimensión Fractal en el corte transversal.....	89
Tabla 40	Prueba de comparación múltiple de Duncan para Dimensión Fractal (transversal) según tratamiento, $\alpha= 0.05$ .....	90
Tabla 41	Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de espárragos verdes cocidos en agua (longitudinal).....	94
Tabla 42	Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de espárragos verdes cocidos en microondas (Longitudinal).....	94
Tabla 43	Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de espárragos verdes cocidos en agua (transversal).....	97
Tabla 44	Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de espárragos verdes cocidos en microondas (transversal).....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Mapa del Perú mostrando las zonas de producción de espárragos.....	10
Figura 2	Diagrama del proceso de Análisis de imágenes.....	16
Figura 3	Diagrama de flujo para la evaluación de espárragos verde durante su cocción mediante análisis de imágenes.....	27
Figura 4	Diagrama de flujo para la evaluación de la textura en espárragos verdes durante su cocción. ....	28
Figura 5	Sistema de adquisición de imágenes.....	30
Figura 6	Variación de la firmeza (Pa) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	38
Figura 7	Variación del Segundo Momento Angular (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	42
Figura 8	Variación del Contraste (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	46
Figura 9	Variación del Momento Inverso de Diferencia (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	51
Figura 10	Variación de Entropía (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	56
Figura 11	Variación de la Dimensión Fractal (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	60
Figura 12	Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en agua en el corte longitudinal.....	65

Figura 13	Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en microondas en el corte longitudinal.....	66
Figura 14	Variación del Segundo Momento Angular (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	69
Figura 15	Variación del Contraste (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	74
Figura 16	Variación del Momento Inverso de Diferencia (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	79
Figura 17	Variación de la Entropía (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	83
Figura 18	Variación de la Dimensión Fractal (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	88
Figura 19	Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en agua en el corte transversal.....	91
Figura 20	Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en microondas en el corte transversal.....	92
Figura 21	Comportamiento de la Tonalidad (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	95
Figura 22	Comportamiento de la Tonalidad (Transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.....	99

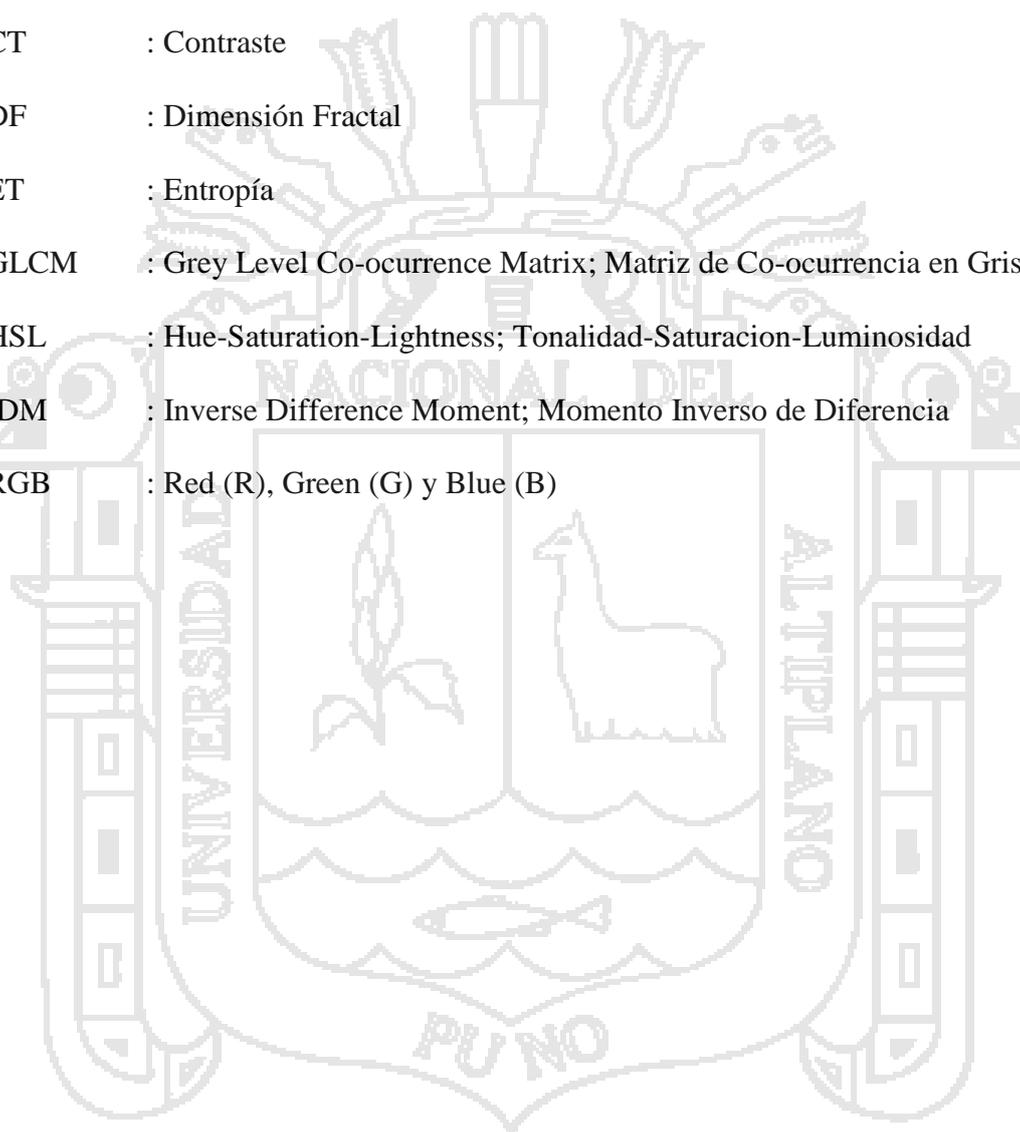
## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Resultados de la segmentación de color RGB en ImageJ. de los espárragos verdes frescos y congelados cocidos en agua y microondas en el corte longitudinal convertidas a modelo HSL.....	111
Anexo 2 Resultados de la segmentación de color RGB en ImageJ. de los espárragos verdes frescos y congelados cocidos en agua y microondas en el corte transversal convertidas a modelo HSL.....	113
Anexo 3 Especificaciones técnicas.....	115



## ÍNDICE DE SIGLAS

ANOVA	: Analysis Of Variance; Análisis de Varianza
ASM	: Angular Second Moment; Segundo Momento Angular
CM	: Cuadrados Medios
CT	: Contraste
DF	: Dimensión Fractal
ET	: Entropía
GLCM	: Grey Level Co-ocurrence Matrix; Matriz de Co-ocurrencia en Gris
HSL	: Hue-Saturation-Lightness; Tonalidad-Saturación-Luminosidad
IDM	: Inverse Difference Moment; Momento Inverso de Diferencia
RGB	: Red (R), Green (G) y Blue (B)



## RESUMEN

La cocción es un proceso sumamente utilizado después de tratamientos térmicos a altas temperaturas el espárrago presenta degradación en su textura y color por ello la importancia de estudiarlos. En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación de las características físicas de espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L) frescos y congelados durante su proceso de cocción mediante dos métodos, analizados por imágenes. La metodología aplicada es la cocción en agua de espárragos verdes frescos y congelados en trozos de 4 cm. cocidos durante 0 a 10 minutos; la cocción en microondas durante 0 a 6 minutos; los cambios en la textura se analizaron mediante los descriptores estadísticos de análisis de textura ASM, CT, IDM y ET, DF y la variación del color en escala HSL. Los resultados indican que el espárrago fresco cocido en agua presenta mayor firmeza. Los descriptores estadísticos de textura indican que el espárrago verde fresco cocido en agua ASM 0.456 y 0.813, IDM 0.962 y 0.979 y DF -3.271 y -3.163 tratamiento que muestra mayor uniformidad, homogeneidad y textura lisa, seguido por el espárrago fresco cocido en microondas el cual presenta uniformidad y homogeneidad, el espárrago verde congelado cocido en agua y el cocido en microondas presentan heterogeneidad y desorden en su estructura. La tonalidad (H) en los espárragos verdes frescos incrementa para luego disminuir mientras que en los congelados únicamente disminuye, los tratamientos varían 59.30° a 78.72°, la saturación (S) en el corte longitudinal está entre 15% y 45%, en el corte transversal 56% y 71%. Se concluye que los espárragos verdes frescos presentan mejor firmeza, textura y color.

## I. INTRODUCCIÓN

El espárrago es un cultivo de alta importancia comercial tanto para el mercado nacional como de exportación en el Perú. Nuestro país es el primer exportador de espárragos del mundo, inició su despegue con este producto en 1986 y progresivamente, logró desplazar de ese lugar a importantes países productores tales como China y Estados Unidos, hasta hacerse reconocer mundialmente como el mejor. En los últimos siete años las ventas al exterior en sus tres presentaciones: espárragos frescos, espárragos congelados y espárragos preparados crecieron a una tasa promedio anual de 23.2%, 13.1% y 12.7%, respectivamente. Las condiciones de climas especiales y la ubicación geográfica que posee el Perú le permiten contar con los rendimientos más altos del mundo, y desde el año 2003 es el primer exportador de espárragos frescos a nivel global. (INDECOPI, 2012). Según MINAG (2010) en el año 2007 el Perú fue el primer exportador de espárragos en el mundo al registrar ventas por 407 millones de dólares, cifra que representó un incremento de 22% respecto al 2006.

El espárrago peruano es reconocido mundialmente por su alta calidad, los espárragos son tallos jóvenes y tiernos de la esparraguera. Los espárragos frescos están constituidos sobre todo por agua. Su contenido en azúcares y en grasas es muy bajo, pero son muy ricas proteínas y un alto contenido en fibra; crece al contacto con la luz del sol, por ello desarrolla clorofila, el espárrago verde es más pequeño comparado con el espárrago blanco. (MINAG, 2010).

El espárrago siempre es cocido antes de su consumo. Tiene múltiples formas de empleo tales como: al natural, con salsa fría o caliente, en ensalada, en tarta, gratinado, en puré, en velouté, como relleno de tortilla, con huevos revueltos, etc.

Existen también conservas, al natural, enteras o en trozos, así como conservas de puntas de espárragos únicamente (Trujillo, 2010).

Debido a que la cocción es considerada como la operación capaz de modificar la estructura física y/o química, la apariencia, el aspecto, la textura, el color de los productos procesados y es una operación importante previo al consumo de los espárragos, el presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar los cambios en la estructura de espárragos verdes congelados y frescos durante su cocción en agua y horno microondas mediante análisis de imágenes; para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar los cambios en la firmeza de espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L.) frescos y congelados cocidos en agua y horno microondas.
- Evaluar los cambios de textura de espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L) frescos y congelados cocidos en agua y horno microondas, mediante análisis de imagen.
- Determinar los cambios de color en espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L.) frescos y congelados cocidos en agua y horno microondas, mediante análisis de imagen.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 ESPÁRRAGOS VERDES

#### 2.1.1. GENERALIDADES

El espárrago se siembra en el Perú en toda la costa desde Piura hasta Arequipa, la infraestructura agroindustrial desarrollada últimamente y la rentabilidad del cultivo del espárrago han determinado un incremento del área cultivada que se estima en aproximadamente 2500 hectáreas. Podemos entonces pensar que 17000 a 18000 hectáreas puede ser la superficie real sembrada de espárragos en el país en la actualidad (Agrobanco, 2007). Según informe Agroica (2014) en el departamento de Ica en el periodo de producción de agosto 2012 a julio 2013 se sembraron 674 hectáreas, se cosecharon 13105 hectáreas teniendo una producción de 152681 kg. así mismo presentaron un redimiendo de 11650 kg/ha.

El espárrago es originario del Mediterráneo, de las cuencas de los ríos Tigris y Eufrates y fue consumido por los antiguos Egipcios y Griegos. El espárrago fue introducido en España por los Romanos, durante el periodo de ocupación. El espárrago es un vegetal o verdura permanente. Ya entonces eran conocidas sus propiedades medicinales. A partir del siglo XVIII, el espárrago se convirtió en la verdura preferida por la burguesía. Hasta el siglo XIX sólo se consumía el espárrago verde y a partir de entonces existen las dos variedades (Agrobanco, 2007).

Es un producto natural de textura carnosa y firme, un aroma intenso con un sabor ligeramente dulce que requiere una mayor exposición a la luz solar para obtener un color verdoso. Es considerado un alimento gourmet por su consumo exclusivo y dietético. Su alto contenido de fibras facilita el proceso de la digestión. Las

presentaciones en las cuales se comercializa son: fresco, procesado (conserva o congelado), o merma (Agrobanco, 2007).

El espárrago verde se caracteriza por tener alta humedad y contenido de P, Mn, N, K, Ca, Mg, Cu y Zn. Posee un bajo contenido de carbohidratos, lo que junto a su alto contenido de minerales indica que son nutricionalmente superiores a los espárragos blancos (Krarup y Krarup, 1987).

### **2.1.2. DESCRIPCIÓN**

Es una planta herbácea perenne cuyo cultivo dura bastante tiempo en el suelo, del orden de ocho a 10 años y desde el punto de vista de vida económico es rentable. La estructura principal está conformada por tallos aéreos ramificados y una parte subterránea constituida por raíces y yemas “garra”. De los brotes jóvenes, se obtienen los espárragos (Linares, 2008).

### **2.1.3. VARIETADES DE ESPÁRRAGOS**

#### **2.1.3.1. Espárragos Verdes**

También llamados espárragos trigueros, obtienen su color del proceso de la fotosíntesis debido a que el tallo sobresale de la tierra y recibe la luz solar directa. Un error común es que los tallos finos son brotes jóvenes y por lo tanto son más tiernos. De hecho, los tallos gruesos y largos de color verde oscuro brillante con la cabeza bien cerrada son la mejor calidad (Alimentos, 2009).

### 2.1.3.2. Espárragos Blancos

Ha sido considerado un manjar, sobre todo por los europeos y cuesta alrededor del doble de precio del espárrago verde. La razón principal de que el espárrago blanco sea más caro es que no existe una oferta ilimitada, y los costes de producción son altos. Para producir espárragos blancos, tienen que ser cultivados en la oscuridad. Tradicionalmente, los espárragos blancos se han cultivado en el campo por acumulación de tierra, por encima de la corona para que el tallo pueda desarrollar a una longitud aprovechable sin estar expuesto a la luz solar. Tan pronto como el tallo sobresale de la tierra, un cortador especializado lo recogía. Este método no estaba exento de problemas, ya que la "recolección a ciegas" aumenta el riesgo de dañar los tallos en desarrollo, y pocos cortadores especializados estaban capacitados para recolectarlos (Alimentos, 2009).

### 2.1.3.3. Espárragos Morados

Frescos son muy afrutados y de textura crujiente. El color morado se debe a que el pigmento antocianina. Con un contenido de azúcar superior al 20% de los espárragos verdes, los espárragos morados se distinguen por un sabor dulce y suave (Alimentos, 2009).

#### 2.1.4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL ESPÁRRAGO

El valor Nutricional por cada 100 gramos de espárrago se presenta en la Tabla 1, demostrando que en su gran mayoría está compuesto por agua con 92.6 g.

**Tabla 1:** Valor nutricional por cada 100 gramos de espárrago.

Principales	Contenido por 100 gr.
Agua	92.6
Celulosa	0.7
Carbohidratos	4.5
Grasas	0.2
Proteínas	1.7
Purinas	0.04
Cenizas	0.26
Fibras	0.9

Fuente: Vallejos (2010)

El contenido de minerales por cada 100 gramos de espárrago se presenta en la Tabla 2, el mineral más abundante en el espárrago es el potasio, del cual contiene 220 mg.

**Tabla 2:** Contenido de minerales en espárrago verde.

<b>Minerales</b>	<b>Contenido por 100 gr.</b>
Potasio	220 mg
Sodio	3.5 mg
Magnesio	16 mg
Calcio	30 mg
Hierro	1.5 mg
Fosforo	55 mg
Cobre	0.19 mg

Fuente: Vallejos (2010)

El contenido de vitaminas es de suma importancia, en la Tabla 3 se muestra el contenido de vitaminas presentes en 100 gramos de espárrago.

**Tabla 3:** Contenido de vitaminas en espárrago verde

<b>Vitaminas</b>	<b>Contenido por 100 gr.</b>
Vitamina A	1600 U.I.
Vitamina C	299 mg
Vitamina B1	0.1 mg
Vitamina B2	0.14 mg
Vitamina pp	1 mg

Fuente: Vallejos (2010)

En la Tabla 4 se presenta el aporte que tiene el espárrago en sus diferentes componentes en relación con lo necesario a un aporte diario de minerales, vitaminas, carbohidratos, proteína y fibra.

**Tabla 4:** Ingesta diaria adecuada de los principales componentes del espárrago.

Componentes	Unidad	Ingesta Diaria Adecuada	Diccionario de los Alimentos
Carbohidratos	gr	300	4.9
Proteínas	gr	67	1.7
Fibra	gr	25	0.9
Calcio	mg	1100	30
Potasio	mg	4700	220
Fosfato	mg	700	55
Sodio	mg	2500	3.5
Vitamina C	mg	90	29
Vitamina A	UI/100	900	1600

Fuente: Vallejos (2010)

### 2.1.5. ESTACIONALIDAD DE PRODUCCIÓN

Según la FAO (2005), en el mundo, sólo Perú y Tailandia logran producir espárrago durante todo el año. En el resto de países, la producción es muy estacional, concentrándose en numerosos países entre abril y junio. En los meses de septiembre hasta febrero son pocos los países abastecedores tal como se presenta en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Estacionalidad del espárrago en los principales países productores.

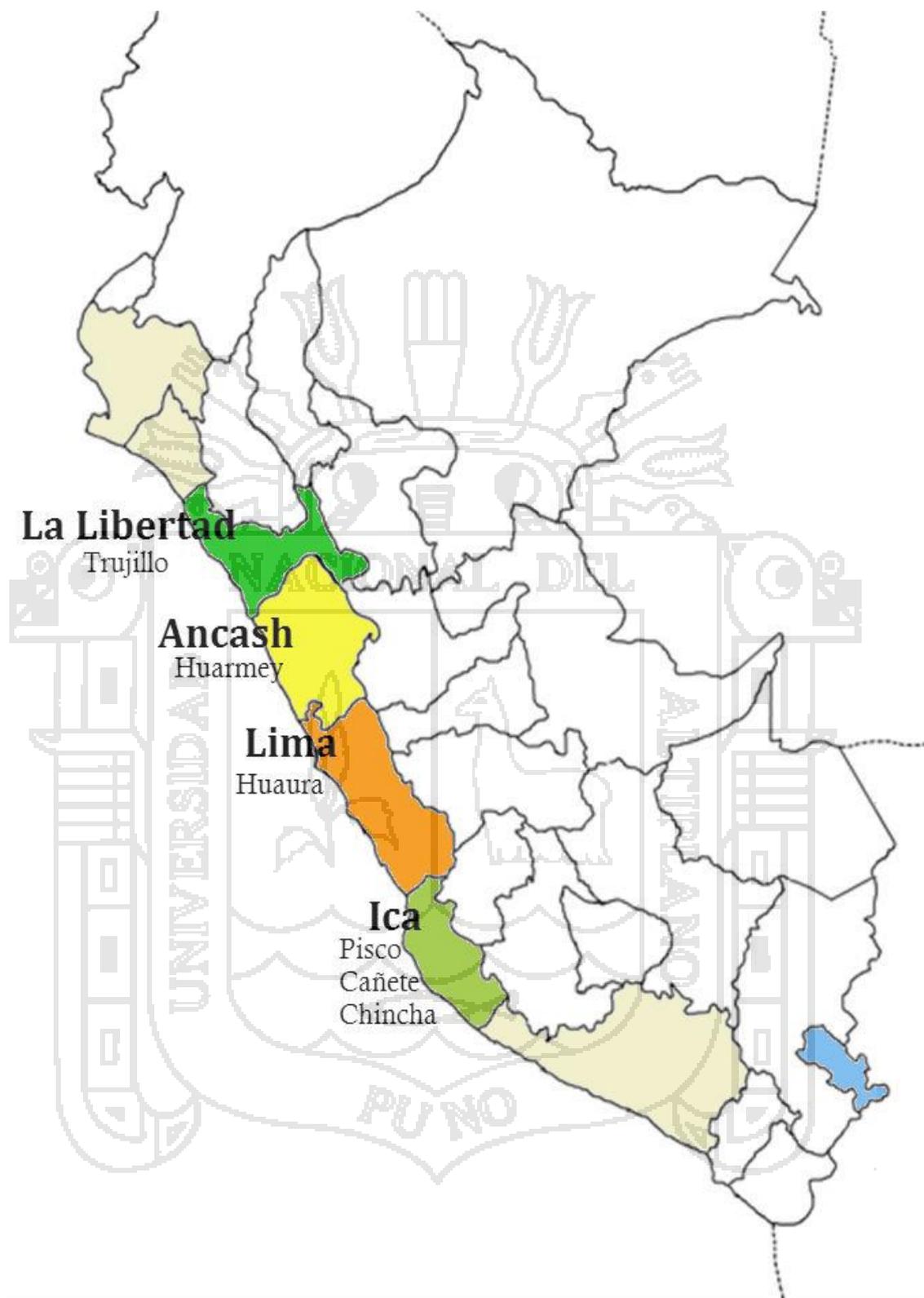
PROCEDENCIAS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Argentina									■	■	■	■
Australia									■	■	■	■
Canadá					■	■	■					
Chile									■	■	■	■
Ecuador	■	■									■	■
Francia			■	■	■	■	■	■				
Alemania					■	■						
Guatemala	■	■				■	■				■	■
Holanda			■	■	■	■	■					
Indonesia									■	■	■	■
Italia			■	■	■							
México	■	■	■				■	■	■			■
N. Zelandia										■	■	■
Pakistán				■	■	■	■	■				
Perú	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Portugal												
España			■	■	■	■						
Tailandia	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
R. Unido					■	■	■					
EE. UU.		■	■	■	■	■	■					
Zimbawe								■	■			

Fuente: FAO (2005)

### 2.1.6. PRODUCCIÓN DE ESPÁRRAGOS EN EL PERÚ

Los departamentos productores de espárrago en el Perú son principalmente La Libertad, Ica y Lima respectivamente, en los cuales la producción es de espárragos verdes y espárragos blancos. En la figura 1 se muestra las zonas productoras de espárragos.

Fig. 1. Mapa del Perú mostrando las zonas de producción de espárragos



Fuente: Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas (2005)

## **2.1.7. MANEJO POST COSECHA**

### **2.1.7.1. Temperatura**

Las temperaturas indicadas para mantener un tiempo de vida útil prolongado en el espárrago varían entre 0°C y 2 °C (32 ° a 35.6 °F) (Cantwel, 2013).

### **2.1.7.2. Humedad relativa**

La humedad relativa alta (95% a 100%) es esencial para prevenir la desecación y la pérdida de apariencia brillante. El secado del área donde se realizó el corte es un factor negativo de calidad. Comúnmente, el espárrago se empaqueta y transporta en cartones provistos de cojincillos saturados con agua para mantener una humedad alta (Cantwel, 2013).

### **2.1.7.3. Frio**

Las temperaturas muy bajas pueden causar daño por frío en espárragos para lo cual se recomienda exponer a un frío suave o ligero (Cantwel, 2013).

### **2.1.7.4. Vida de almacenamiento**

Varía típicamente entre 10 a 21 días a 2 °C y puede extenderse hasta por 30 días si les almacena en atmósfera modificada por 7 a 10 días a 0 °C. El almacenamiento prolongado (10-12 días) en aire a 0 °C puede causar daño por frío (Cantwel, 2013).

## **2.1.8. PRESENTACIONES O FORMAS DE INDUSTRIALIZACIÓN**

Según Vizcarra (2012) Existen tres presentaciones principales o formas de industrialización del espárrago las cuales son:

### **2.1.8.1. Espárrago Fresco**

Para la exportación de espárragos frescos (refrigerados) el calibre se determina por el diámetro de la base de cada espárrago: "jumbo", "extralarge", "large", "medium", "small". Se acomodan 10 a 12 manojos (según peso), en cajas de 5-6 kg de peso neto (Europa) o caja "tipo americana" piramidal comúnmente de plástico corrugado con 5 kg de peso neto para Estados Unidos. Se incluye una almohadilla húmeda en el fondo del envase.

### **2.1.8.2. Espárrago Congelado**

Se emplean cajas tipo "master" de cartón parafinado o plástico con capacidad de 5 y 10 kg de peso neto. Al interior se colocan 10 bolsas de plástico conteniendo 1 kg o 4 bolsas conteniendo 2.5 kg.

### **2.1.8.3. Espárrago en conserva**

Se ofertan en envases de vidrio de 212 - 380 y 540 g. También se oferta en envases metálicos de forma rectangular con capacidad de 250 - 500 y 1,000 g de peso neto y envases de forma cilíndrica con capacidad de 15 onzas.

## **2.2 TEXTURA**

Ya que la textura consiste de un número de diferentes sensaciones físicas, es preferible hablar de propiedades texturales que de textura, ya que lo primero implica un grupo de propiedades relacionadas y lo segundo, un parámetro individual (Bourne, 1982a).

La textura es probablemente el factor de calidad más difícil de definir y medir de los vegetales, según Bourne (1982a). La definición convencional de textura no ayuda a relacionar su significado con la industria alimentaria, por lo que los entendidos en la materia se han esforzado en elaborar su propia definición. Un grupo de ellos estableció que debe ser definida orientada al producto en los cuales el término de textura es aplicado, a un atributo particular de calidad del tipo de alimento en cuestión; otro grupo de científicos considera que la textura se aplica a todos los alimentos y se han esforzado desarrollando definiciones que reflejen una amplia cobertura, sin embargo, ninguna de ellas es enteramente satisfactoria.

### **2.2.1. TEXTURA EN ESPÁRRAGOS**

El contenido de fibra, fibrosidad o firmeza son términos que han sido usados para expresar o estimar la textura de los espárragos tal como son percibidos por el hombre. El contenido de fibra se refiere a una determinación cuantitativa de la proporción de fibra en una cantidad dada de turiones. La fibrosidad algunas veces es usada como sinónimo de contenido de fibra, pero también puede denotar la percepción sensorial de fibras en la boca. La firmeza se refiere a la medición cuantitativa y a la percepción sensorial; en el primer término se refiere a los resultados obtenidos con instrumentos que miden la resistencia al corte o a la penetración, el segundo término se refiere al grado de resistencia a la masticación. Algunos investigadores sugieren que para analizar los datos obtenidos con un instrumento, debe ser usado un término específico, tal como resistencia al corte o a la perforación. La firmeza está estrechamente relacionada con el contenido de fibra y el grado de lignificación de las fibras (Lipton, 1990).

### **2.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE TEXTURA DE ESPÁRRAGOS**

Al seleccionar un dispositivo adecuado de medición se debe considerar que el modo de ruptura del alimento es diverso y complejo y que se ve afectado por las propiedades del producto estudiado y la forma de esos cambios durante la compresión. Además, la ruptura ocurre de una manera progresiva, la que también es afectada por las propiedades del alimento y la acción del dispositivo utilizado, por lo que se deduce que cada producto debe ser considerado como único, y dentro de cada producto la conducta individual de las muestras del mismo alimento puede variar (Voisey, 1979).

Las expresiones de textura en espárragos son altamente dependientes del método usado para determinarla, por lo tanto, los diversos métodos necesitan ser explicados y evaluados en términos de cómo son medidos. Algunos métodos están dirigidos a la determinación del contenido de fibra, como el histoquímico y el extractivo, otros se basan en las percepciones sensoriales y están también los métodos reológicos, basados en la medida de flujo y deformación de una sustancia en respuesta a la aplicación de una fuerza (Mohsein, citado por Lipton 1990), que en el caso de espárragos frescos, se traduce en el uso de métodos que midan la resistencia a la presión, perforación o al corte.

### **2.2.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PERFORACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE FIRMEZA EN ESPÁRRAGOS**

Las pruebas de perforación consisten en medir la fuerza requerida para punzar o empujar un dispositivo dentro de un alimento a una profundidad que provoque un flujo o rompimiento irreversible del alimento. Este método es uno de los más simples y

ampliamente usado para las pruebas de textura y es usualmente considerado para medir la firmeza de los alimentos (Bourne, 1982b).

Un tipo diferente de prueba de penetración, que se asemeja superficialmente a la prueba de perforación, es el penetrómetro, que mide la profundidad de penetración de un dispositivo en un alimento, bajo una fuerza constante en un tiempo dado (Bourne, 1979). Cuando el dispositivo del penetrómetro tiene un diámetro amplio, la presión puede no sólo ser influenciada por el contenido de fibra, sino que también por la turgencia del tejido y el diámetro del turión; y, cuando el diámetro es muy fino, el dispositivo puede penetrar entre las fibras y la minúscula área de prueba puede no ser representativa de las características del turión a una altura particular (Lipton, 1990).

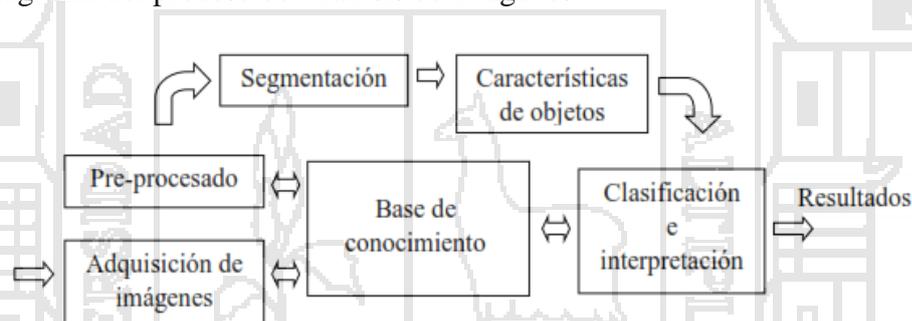
### **2.3 ANÁLISIS DE IMÁGENES**

El análisis de imágenes combina técnicas que calculan estadísticas y mediciones basándose en la intensidad de escala de grises de los píxeles de la imagen. Se pueden usar las funciones de análisis de imagen para determinar si la calidad de imagen es suficientemente buena para la tarea de inspección. También se puede analizar una imagen para comprender su contenido y para decidir qué tipo de herramientas de inspección utilizar para manejar la aplicación. Las funciones de análisis de imágenes también proveen mediciones que pueden usarse para realizar tareas de inspección básicas, tales como presencia o ausencia de verificación. Las herramientas normales que pueden utilizarse para el análisis de imágenes incluyen los histogramas, perfiles de línea y mediciones de intensidad (Tracnova, 2005).

### 2.3.1. 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: Diagrama del proceso de Análisis de imágenes



Fuente: Du y Sun (2004)

#### 2.3.1.1. 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).

### 2.3.1.2. 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).

### 2.3.1.3. 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).

#### 2.3.1.4. Extracción de Características

Cuevas *et al.*, (2010) mencionan que un objeto “0” de una imagen binaria puede ser interpretada como una distribución de puntos de valor uno  $x_{i=(x,y)}$  en una rejilla bidimensional, esto es:

$$0 = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$$

#### 2.3.1.5. 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).

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.

#### **2.3.1.5.1 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).

#### **2.3.1.5.2 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).

#### **2.3.1.5.3 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).

#### 2.3.1.5.4 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).

#### 2.3.1.6. 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 (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).

#### 2.3.2. 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. 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).

### 2.3.2.1. 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). 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  $V_{max} = 250$ , cada posible color  $C_i$  corresponde a un punto dentro del cubo RGB, con los componentes:

$$C_i = (R_i, G_i, B_i)$$

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  $[0,1]$  de tal forma que el espacio de colores quedaría representado por el cubo unitario. El punto corresponde al negro, 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.

#### 2.3.2.2. 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, 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, 1996).

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.*, 2010a).



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

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

#### 3.2 MATERIALES, EQUIPOS Y OTROS

##### 3.2.1. MATERIA PRIMA

En el presente proyecto de investigación se utilizaron espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L.) frescos y congelados obtenidos de la planta de procesamiento IQF del Perú ubicada en el departamento de Ica.

##### 3.2.2. MATERIALES

- Caja de muestra  $0.2 \times 0.2 \times 0.45$  m de material madera
- Cocina eléctrica Ohaus con conexión eléctrica a la red de 220V
- Cutter manual y Bisturí
- Cooler para alimentos
- Olla para cocción
- Pañuelos Kleen pal
- Papel toalla
- Penetrómetro
- Pinzas

- Pírex para enfriado
- Recipientes para lavado
- Regla
- Tabla para cortar
- Tela negra
- Fluorescentes

### 3.2.3. EQUIPOS DE LABORATORIO

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

### 3.2.4. SOFTWARE

- Camera Control Pro 2 versión 2.8.001.
- ImageJ2x ( Image Processing Program)
- MATLAB® (The Language of Technical Computing) version 7.14.0.739
- SigmaPlot 12.0 (Exact Graphs and Data Analysis)
- IBM SPSS Statistics 17.

### 3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se ha realizado según el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3, en el cual se encuentran todos los procesos que se realizaron para adquirir las imágenes y procesarlas. La Figura 4 presenta el diagrama de flujo para la determinación de textura por medio de un penetrómetro.



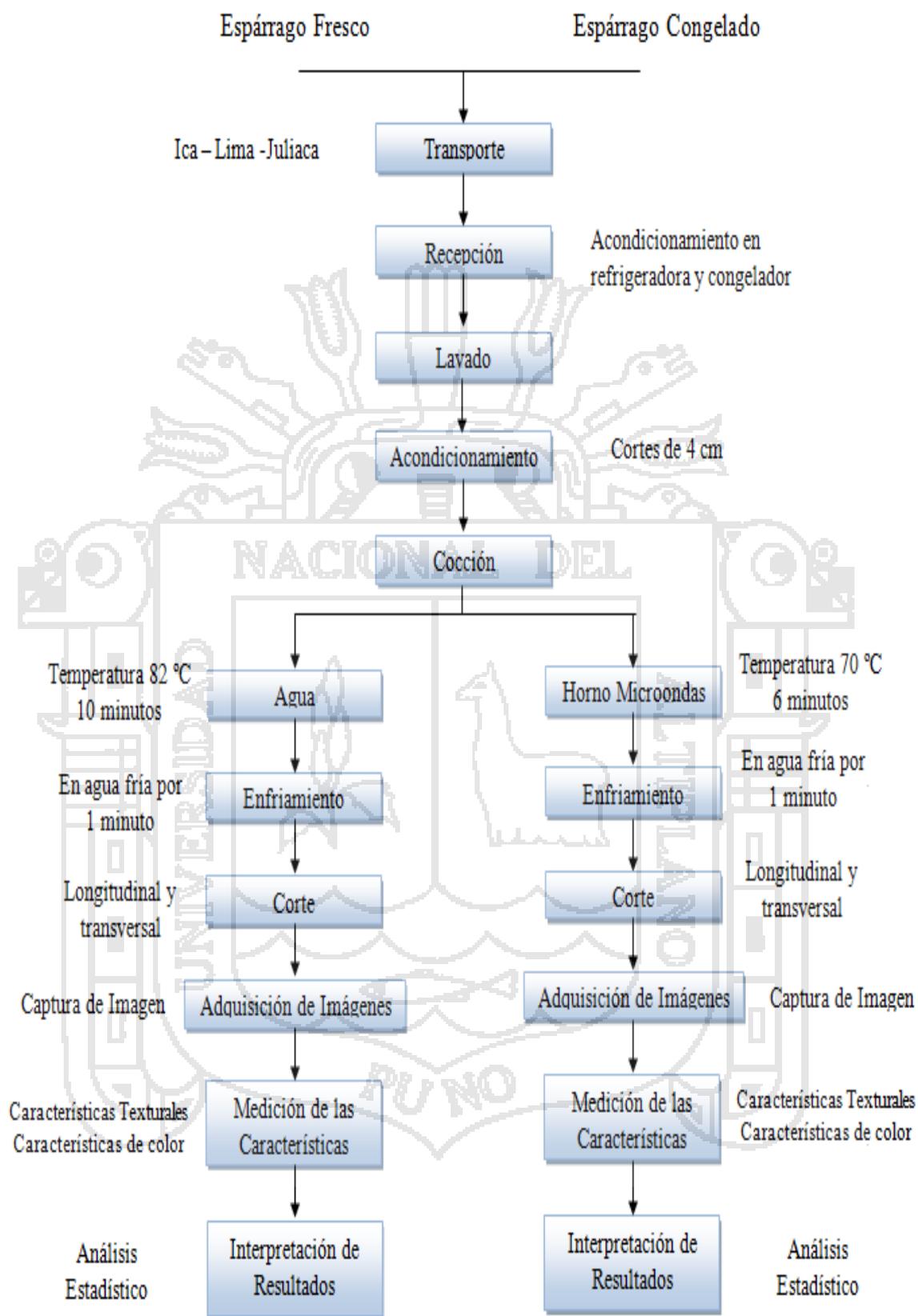


Fig. 3: Diagrama de flujo para la evaluación de espárragos verde durante su cocción mediante análisis de imágenes

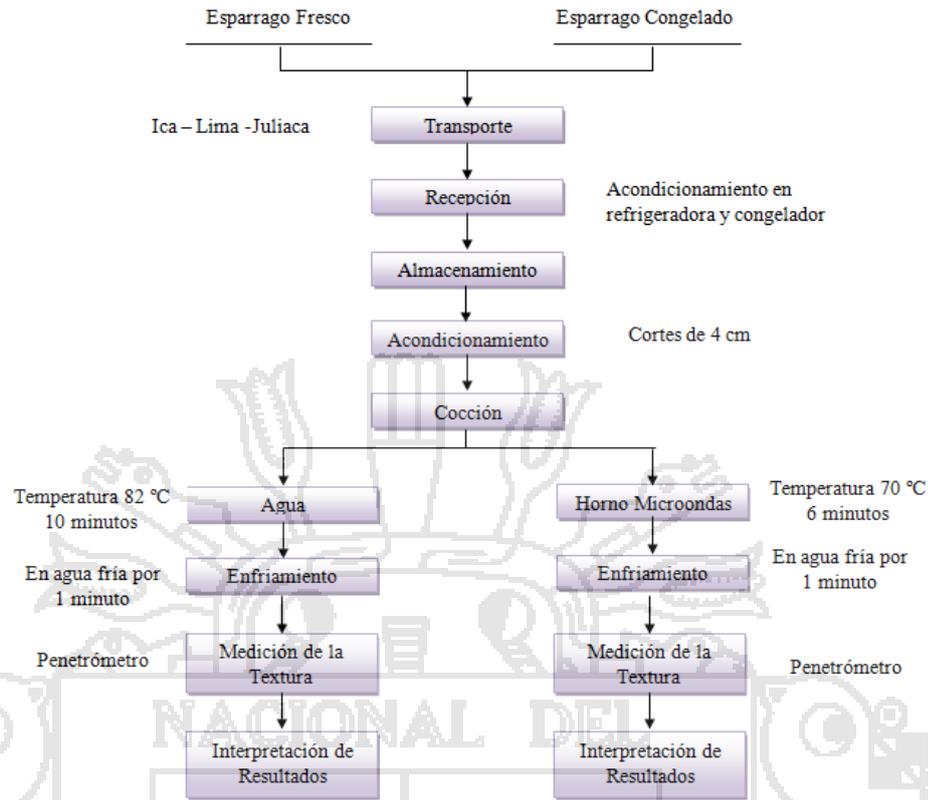


Fig. 4: Diagrama de flujo para la evaluación de la textura en espárragos verdes durante su cocción.

### 3.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

#### Transporte de materia prima

Acondicionamiento del espárrago verde con hielo en un cooler de alimentos para el adecuado transporte desde la ciudad de Ica hasta Puno.

#### Recepción de la materia prima

En esta etapa se realizó la recepción de espárragos verdes en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

### **Lavado**

En esta operación se eliminaron todas las impurezas que existían en la superficie del espárrago verde.

### **Acondicionamiento**

En esta etapa se cortaron los espárragos verdes en trozos de 4 centímetros. Seguidamente en una olla se añadieron 0.5 litros de agua destilada para la cocción, así mismo se tuvo preparado el sistema de adquisición de imágenes.

### **Cocción**

Se agregó los trozos de espárrago a una temperatura de 82°C y a intervalos de dos minutos se fueron retirando uno a uno los trozos. Se agregaron igualmente a una temperatura de 72°C en el horno microondas, los trozos de espárragos verdes se fueron retirando a intervalos de un minuto.

### **Enfriamiento y corte**

Al retirar el trozo de espárrago verde se procedió a sumergirlo en agua fría con hielo para obtener un enfriado rápido así mismo al retirarlo se realizó el corte.

### **Adquisición de imágenes**

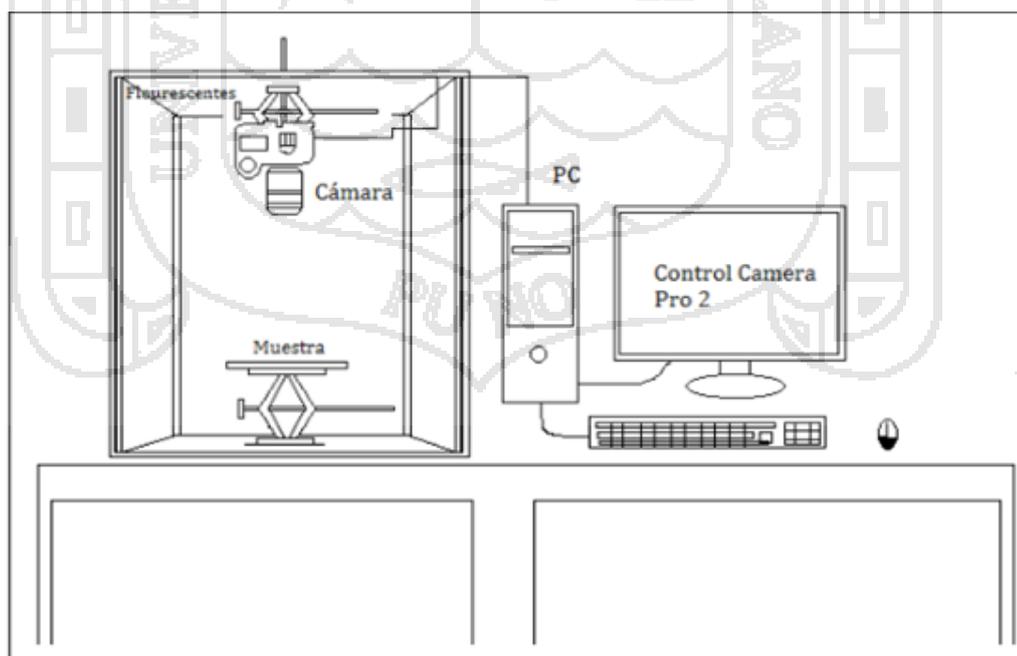
La imagen digital de espárragos verdes durante su cocción se obtuvo mediante un sistema de adquisición de imágenes. El sistema consiste en una caja de color negro con un soporte para la cámara digital modelo NIKON D7000 con objetivo micro Nikkor

40 mm (Figura 5). 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 × 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/17
- Modo de medición: Matricial
- Modo de enfoque: AF – S
- Tamaño/Calidad: Buena.
- Distancia focal: 40 mm

Fig. 5: Sistema de adquisición de imágenes



Fuente: Vilca (2012)

### **Medición de características**

En esta etapa se realizó la medición las características texturales mediante los parámetros que indica Haralick *et al.*, (1973) tales como segundo momento angular, contraste, momento inverso de diferencia, entropía y dimensión fractal. La variación de color durante el proceso de cocción mediante el método RGB.

### **Interpretación de resultados**

Se interpretó las características extraídas de espárragos verdes frescos y congelados durante el tiempo de cocción.

## **3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS**

### **3.4.1. 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 a color son convertidas a escala de grises con la función *rgb2gray* de MATLAB en una rutina desarrollado en una hoja script. Posteriormente y utilizando la función *fb\_Haralick.m* (Mery, 2011) y la función *fractal.m* (Medina *et al.*, 2010a) se obtienen las principales características de la GLCM que describen la textura tales como: ASM, CT, IDM y ET así como la DF.

### **3.4.2. 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). Entre las posibles

bases de representación para el color, está el modelo la Tonalidad – Saturación – Luminocidad (HSL) bien adaptado a nuestro problema ya que este modelo es cercano a la percepción de color humano que RGB.

Para convertir las medias de color RGB a modelo HSL, se insertaron formulas en una hoja de cálculo Excel tal como se cita en el trabajo de Medina *et al.*, (2010).

$$Max \equiv \max(R, G, B) \quad Min = \min(R, G, B) \quad (1)$$

$$D = Max - Min \quad (2)$$

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

$$H = \begin{cases} \text{Arctan} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}(G-B)}{R-0.5(G+B)} & \text{si } R - \frac{G+B}{2} > 0 \\ \pi + \text{Arctan} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}(G-B)}{R-0.5(G+B)} & \text{si no} \end{cases} \quad (4)$$

$$L = \frac{(R+G+B)}{3} \quad S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{L} \quad (5)$$

### 3.5 UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES

#### 3.5.1. VARIABLES DE ESTUDIO

##### a. Tratamientos

- Espárrago Verde Fresco cocido en agua
- Espárrago Verde Fresco cocido en microondas

- Espárrago Verde Congelado cocido en agua
- Espárrago Verde Congelado en Microondas

b. Tiempos de cocción

- En agua → 0, 2, 4, 6, 8, 10 min.
- En microondas → 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 min.

### 3.5.2. VARIABLES DE RESPUESTA

- Características de Textura
- Características de Color

### 3.5.3. INDICADORES

a) Descriptores estadísticos de textura

- Segundo Momento Angular
- Contraste
- Entropía
- Momento Inverso de Diferencia
- Dimensión Fractal

b) Modelo de Color HSL (Hue-Saturation-Lightness o Tonalidad-Saturación - Luminosidad)

- H (°)
- S (%)
- L

### 3.6 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 ( $p=0.05$ ) para determinar las posibles diferencias entre las muestras de las variedades. Se trabajó con el programa estadístico SPSS Statistics 17.

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

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

Donde:

$Y_{ijk}$	Es la variable respuesta de la $k$ - ésima observación bajo el $j$ - ésimo nivel del factor espárrago verde fresco y congelado, sujeto al $i$ - ésimo nivel de factor tiempo de cocción.
$M$	Media general
$\alpha_i$	Verdadero efecto del $i$ - ésimo nivel de tiempo de cocción
$\beta_j$	Verdadero efecto de la $j$ - ésimo nivel de factor espárrago verde fresco y congelado.
$(\alpha\beta)_{ij}$	Efecto del $i$ - ésimo nivel del factor tiempo de cocción con el $j$ - ésimo nivel del factor espárrago verde fresco y congelado
$\varepsilon_{ijk}$	Efecto del error experimental.

En los descriptores estadísticos de textura para observar mejor la tendencia de los resultados obtenidos en función del tiempo se normalizo la desviación estándar considerando los respectivos parámetros se aplico la prueba de LSD (Medina *et al.*, 2010b). Se trabajo en el programa estadístico SPSS Statistics 17.0

Para la recolección de datos se utilizó el formato mostrado en la Tabla 6 y Tabla 7, donde se registraron todos los datos experimentales para cada variable de respuesta.

**Tabla 6:** Formato para recolección de datos en cocción por horno microondas.

Tratamiento	T3			T4		
	1	2	3	1	2	3
0 min.						
1 min.						
2 min.						
3 min.						
4 min.						
5 min.						
6 min.						

**Tabla 7:** Formato para recolección de datos en cocción en agua

Tratamiento	T1			T2		
	1	2	3	1	2	3
0 min.						
2 min.						
4 min.						
6 min.						
8 min.						
10 min.						

Donde:

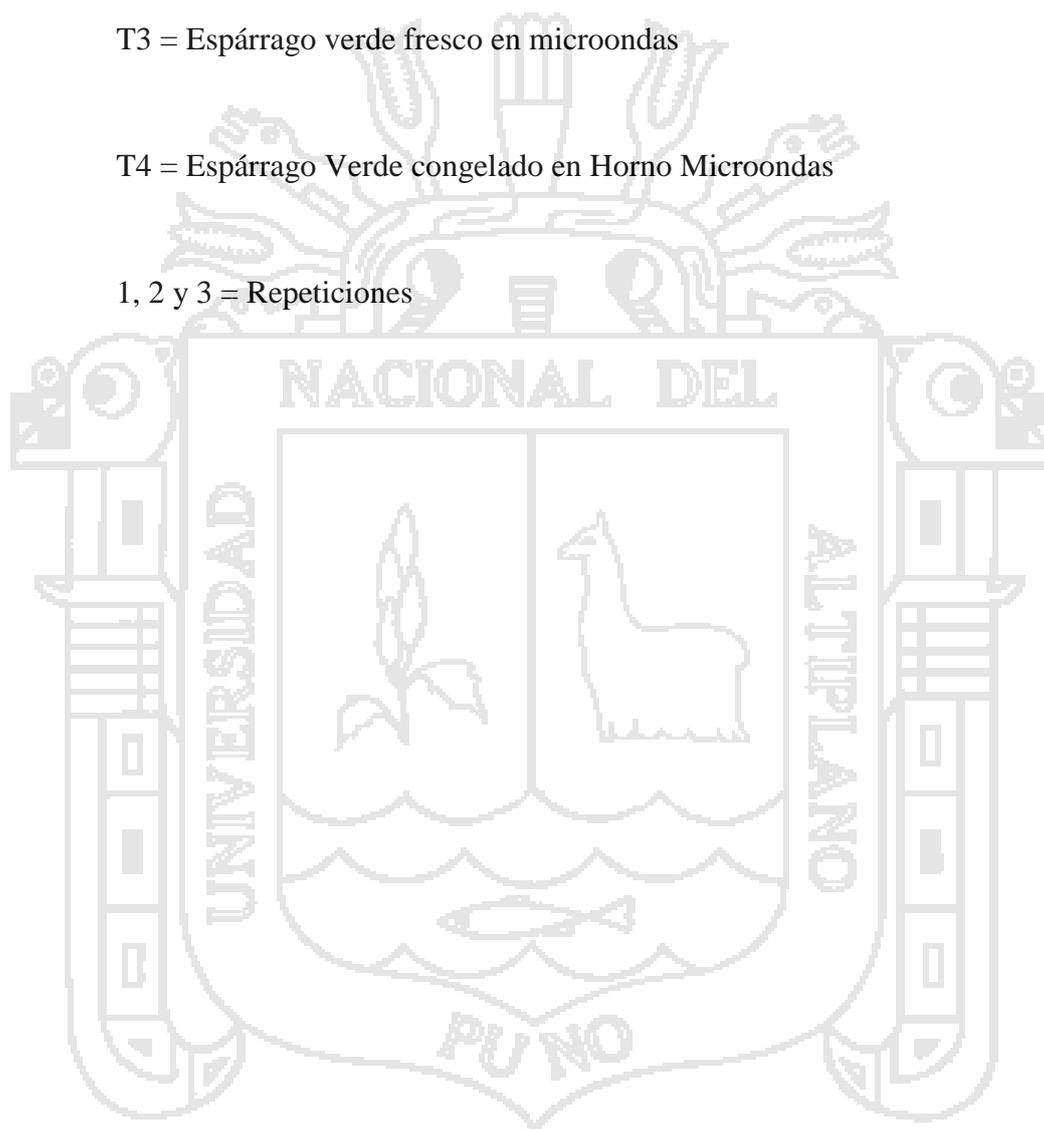
T1 = Espárrago verde fresco en agua

T2 = Espárrago verde congelado en agua

T3 = Espárrago verde fresco en microondas

T4 = Espárrago Verde congelado en Horno Microondas

1, 2 y 3 = Repeticiones



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 DETERMINACIÓN DE FIRMEZA

En la Tabla 8 y en la Figura 6 se presentan los valores promedios de la variación de la firmeza, en función del tiempo de cocción, el tipo de cocción y el tipo de espárrago verde: congelado y fresco.

**Tabla 8:** Resultados de la determinación de la firmeza (Pa) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	8.400±1.703	4.533±0.317	0 min.	10.830±1.547	4.350±0.132
2 min.	7.767±1.186	2.800±1.115	1 min.	7.233±0.747	4.000±1.062
4 min.	5.750±1.355	2.733±0.493	2 min.	5.633±0.186	3.983±0.950
6 min.	3.383±0.989	2.517±0.454	3 min.	4.950±0.817	3.967±1.397
8 min.	2.617±0.147	2.133±0.151	4 min.	4.467±0.956	2.850±0.464
10 min.	2.417±0.349	2.000±0.000	5 min.	2.300±0.369	2.783±0.172
			6 min.	2.017±0.041	2.183±0.223

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

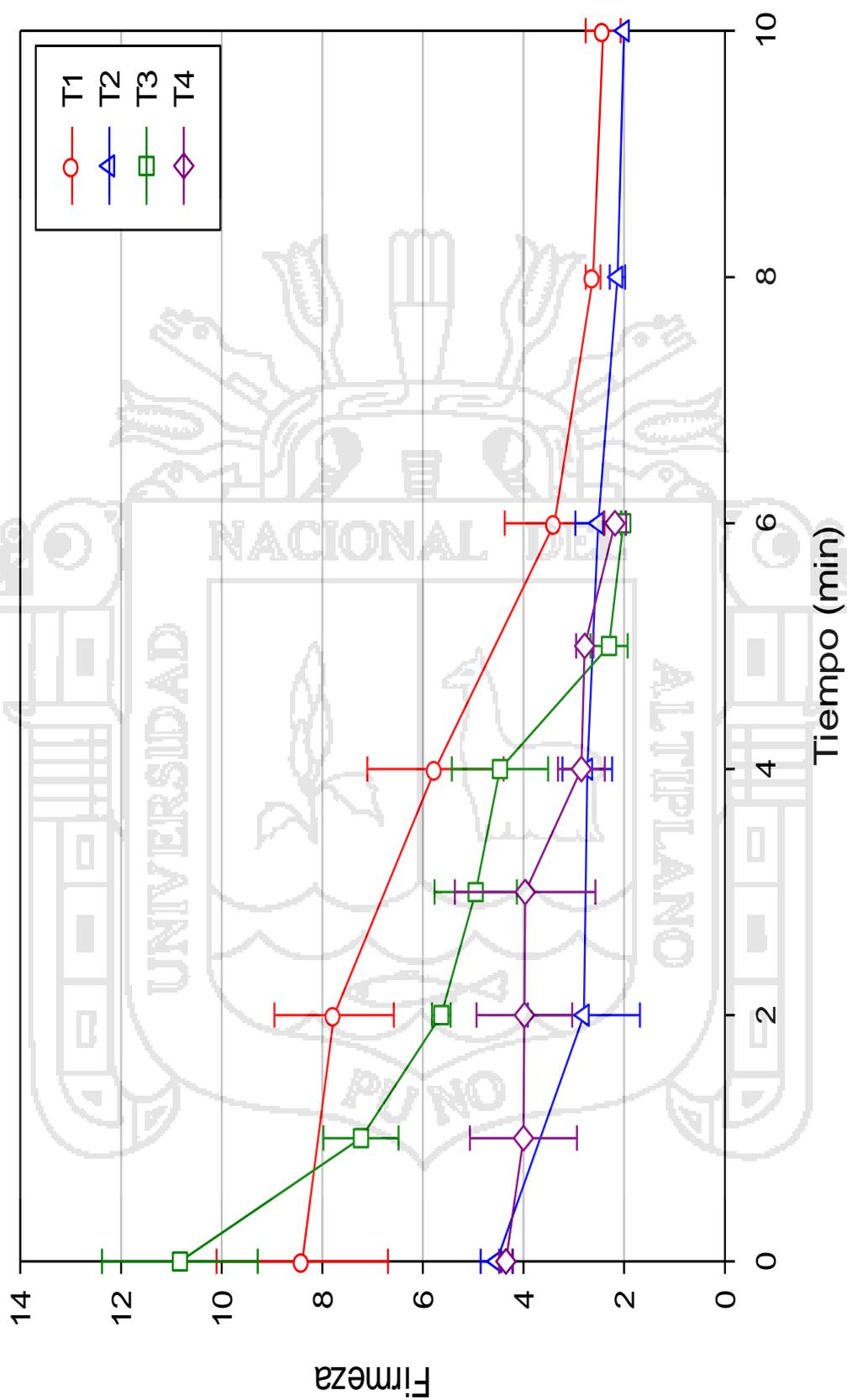


Fig. 6: Variación de la firmeza (Pa) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 6 observamos que los espárragos verdes frescos cocidos tanto en microondas y agua muestran un comportamiento similar ya que disminuyen gradualmente su firmeza conforme transcurre el tiempo de cocción (10.87 a 2.02), en el caso de los espárragos verdes congelados cocidos tanto en agua y microondas presentan un comportamiento similar ya que ambos inician con baja firmeza y va disminuyendo gradualmente al transcurrir el tiempo (4.53 a 2).

Según Lipton (1990) La firmeza se refiere a la medición cuantitativa y a la percepción sensorial, está estrechamente relacionada con el contenido de fibra; se refiere a los resultados obtenidos con instrumentos que miden la resistencia al corte o a la penetración.

El espárrago verde fresco cocido tanto en agua y en microondas presenta una disminución gradual durante la cocción, lo que concuerda con lo afirmado por Matheis (1990) quien señala que los efectos adversos incluyen alguna pérdida de textura y firmeza, color y sabor por el proceso de calentamiento y cierta pérdida de sólidos solubles especialmente en escaldado acuoso.

El espárrago verde congelado cocido mediante tanto en microondas y agua presenta poca firmeza debido a que presenta un pre tratamiento, debido a esto la disminución de firmeza es mínima.

En la Tabla 9 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la firmeza, el cual nos indica que existe una diferencia significativa para el factor tratamiento. Esto implica que el factor tratamiento es directamente dependiente en la firmeza con un 95.0% de nivel de significancia.

**Tabla 9:** Análisis de varianza (ANOVA) para la firmeza

F. de V.	G.L.	SC	CM	Fc	Significancia
Tiempo (A)	8	238.734	29.842	2.816	n.s.
Tratamiento (B)	3	172.616	57.539	5.429	**
AxB	14	253.354	18.097	1.708	n.s.
Error Exp.	52	551.110	10.598		
TOTAL	78	1230.350			

Para el factor tratamiento se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan (ver Tabla 10). Se distingue que el espárrago verde fresco cocido en microondas presenta mayor firmeza durante la cocción seguido del espárrago verde fresco cocido en agua, los espárragos verdes congelados tanto cocido en agua como en microondas presentan valores bajos de firmeza debido a su pre tratamiento.

**Tabla 10:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para la firmeza según tratamiento,  $\alpha= 0.05$ 

Tratamiento	N	Media	
T3	21	6.762±2.746	a
T1	18	4.944±2.564	a b
T4	21	3.445±0.951	b
T2	18	2.786±1.212	b

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

## 4.2 DETERMINACIÓN DE DESCRIPTORES ESTADÍSTICOS DE TEXTURA MEDIANTE ANÁLISIS DE IMAGEN

Los cambios en las características de textura fueron evaluados de acuerdo a la variación de la escala de grises de las imágenes de los espárragos verdes congelados y frescos en dos tipos de cocción; estudiadas en los diferentes tiempos de cocción 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.

### 4.2.1. Segundo Momento Angular en el corte Longitudinal

En la Tabla 11 y en la Figura 7 se presentan los valores promedios de la variación del Segundo Momento Angular (ASM) como parámetro de evaluación de textura, en función del tiempo de cocción, el tipo de cocción y el tipo de espárrago verde: congelado y fresco.

**Tabla 11:** Resultados de la variación del Segundo Momento Angular (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	0.584±0.095	0.632±0.101	0 min.	0.435±0.101	0.521±0.091
2 min.	0.651±0.095	0.503±0.101	1 min.	0.600±0.101	0.624±0.091
4 min.	0.643±0.095	0.571±0.101	2 min	0.507±0.101	0.572±0.091
6 min.	0.558±0.095	0.524±0.101	3 min	0.676±0.101	0.684±0.091
8 min.	0.608±0.095	0.628±0.101	4 min	0.731±0.101	0.645±0.091
10 min.	0.587±0.095	0.593±0.101	5 min	0.788±0.101	0.575±0.091
			6 min	0.641±0.101	0.715±0.091

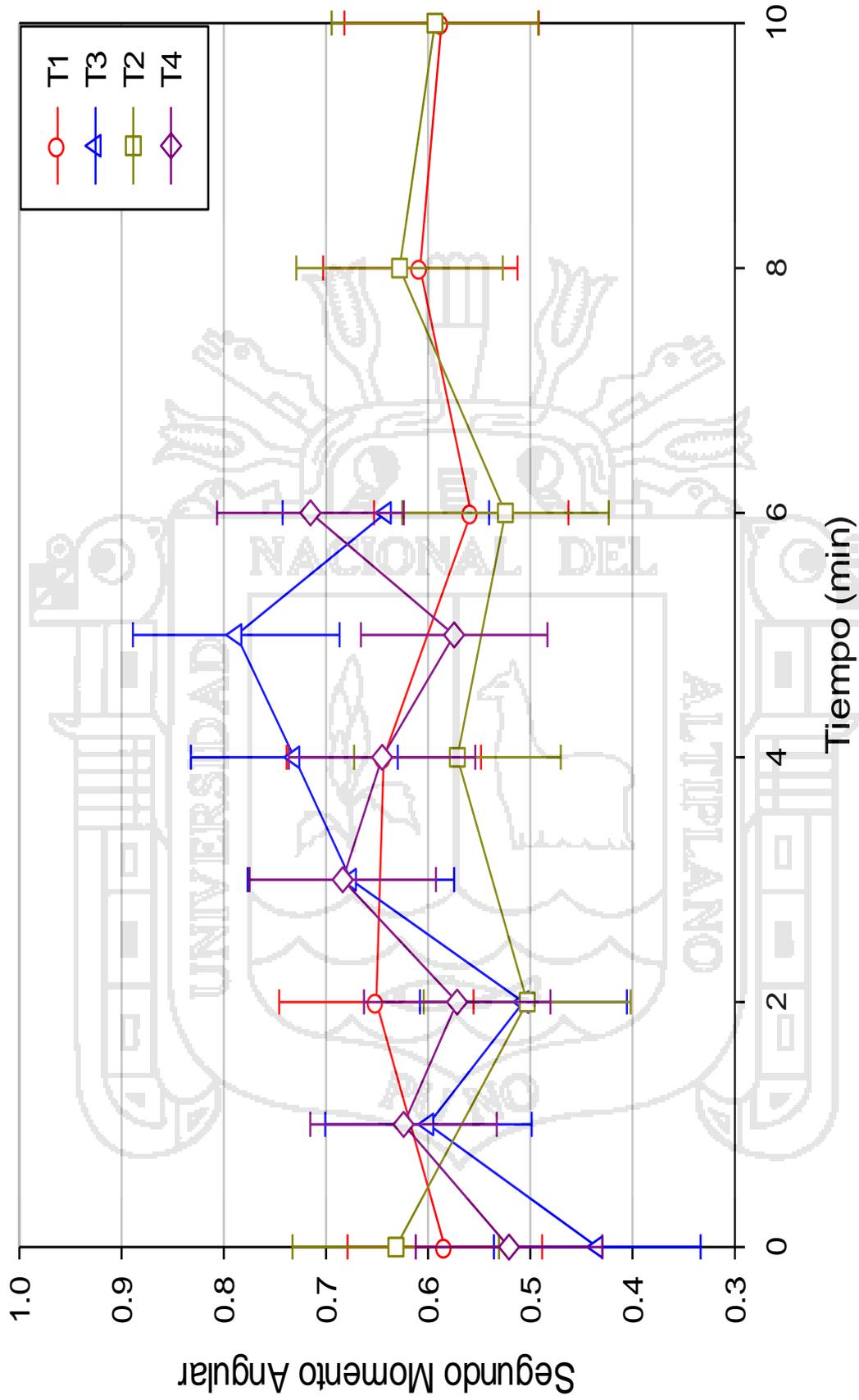


Fig. 7: Variación del Segundo Momento Angular (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción.

En la Figura 7 se observa que los espárragos cocidos en microondas tanto frescos como congelados muestran un comportamiento similar, ambos incrementan el valor de su ASM conforme transcurre el tiempo de cocimiento (entre 0.4 a 0.8). En el caso de los espárragos verdes frescos y congelados cocidos en agua estos muestran un comportamiento cíclico, en el cual los valores de ASM aumentan y disminuyen conforme transcurre el tiempo de cocimiento, sin embargo estos aumentos y disminuciones están en un rango reducido para el valor de ASM (0.40 a 0.65).

Considerando que el concepto de ASM está relacionado al de uniformidad (Haralick *et al.*, 1973); la evaluación de este parámetro durante el cocimiento de los espárragos está relacionado a los procesos de transferencia de calor al interior de su estructura. La transferencia comienza siempre en los extremos, en el caso del corte longitudinal las estructuras comienzan a hacerse uniformes desde el exterior hasta el interior motivo por el cual el valor del ASM se incrementa pues las estructuras son más uniformes conforme el producto es cocido.

En el caso del espárrago verde fresco cocido en agua, el valor del ASM se incrementa en el minuto dos, se mantiene constante hasta el minuto cuatro, en el minuto seis disminuye uniformidad, en los últimos minutos incrementa y disminuye, esto coincide con lo afirmado por Gadkari (2004) quien señala que una probable disminución del ASM en los últimos minutos de cocción se deben a la desintegración de la estructura estudiada.

Los valores de ASM para el espárrago verde congelado cocido mediante agua disminuyen e incrementan durante todo el proceso de cocción. La disminución inicial

del valor de ASM puede ser debido a que este producto es pre-cocido por lo que se puede suponer que un proceso de calentamiento inicial desordenará la estructura alcanzada durante el pre-tratamiento señalado, los subsecuentes aumentos y disminuciones reflejan el cambio en la estructura conforme transcurre el cocimiento.

El espárrago verde fresco cocido en microondas, el valor del ASM incrementa y disminuye en los dos primeros minutos, en el tercer minuto incrementa gradualmente su uniformidad hasta el quinto minuto donde presenta el mayor valor de ASM, en el sexto minuto se observa una caída del valor antes mencionado, según Gómez (2008) las temperaturas involucradas en un microondas y los breves tiempos de cocción hacen que la comida se modifique menos que en las cocinas tradicionales, por ende podemos afirmar que este tratamiento presenta mayor uniformidad en el quinto minuto.

El espárrago verde congelado cocido en microondas inicia con un incremento del valor de ASM, en los siguientes minutos disminuye e incrementa dicho valor, se debe considerar que los hornos de microondas pueden cocer los alimentos de forma no uniforme, dejando “zonas frías” donde sobreviven bacterias (Scheule, 2000), el incremento inicial se debe al pre-tratamiento ya que continua la cocción, disminuye la uniformidad debido que al ser congelado puede presentar zonas frías.

En el Tabla 12 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación del ASM para el corte longitudinal, el cual nos indica que no existe una diferencia significativa entre tratamientos y tiempo de cocción.

**Tabla 12:** Análisis de Varianza (ANOVA) para el Segundo Momento Angular en el corte longitudinal

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
tiempo (A)	8	0.149	0.018	1.303	n.s.
Tratamiento (B)	3	0.010	0.003	0.240	n.s.
AxB	14	0.273	0.019	1.377	n.s.
Error Exp.	52	0.737	0.014		
TOTAL	78	1.185			

#### 4.2.2. Contraste en el corte longitudinal

En la Tabla 13 y en la Figura 8 se presentan los valores promedios de la variación de Contraste como parámetro de evaluación de textura, en función del tiempo de cocción, el tipo de cocción y el tipo de espárrago verde: congelado y fresco.

**Tabla 13:** Resultados de la variación del Contraste (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	0.062±0.009	0.058±0.010	0 min.	0.061±0.010	0.078±0.011
2 min.	0.035±0.009	0.048±0.010	1 min.	0.042±0.010	0.037±0.011
4 min.	0.043±0.009	0.049±0.010	2 min	0.047±0.010	0.057±0.011
6 min.	0.058±0.009	0.051±0.010	3 min	0.035±0.010	0.032±0.011
8 min.	0.051±0.009	0.036±0.010	4 min	0.030±0.010	0.030±0.011
10 min.	0.049±0.009	0.039±0.010	5 min	0.024±0.010	0.047±0.011
			6 min	0.035±0.010	0.031±0.011

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

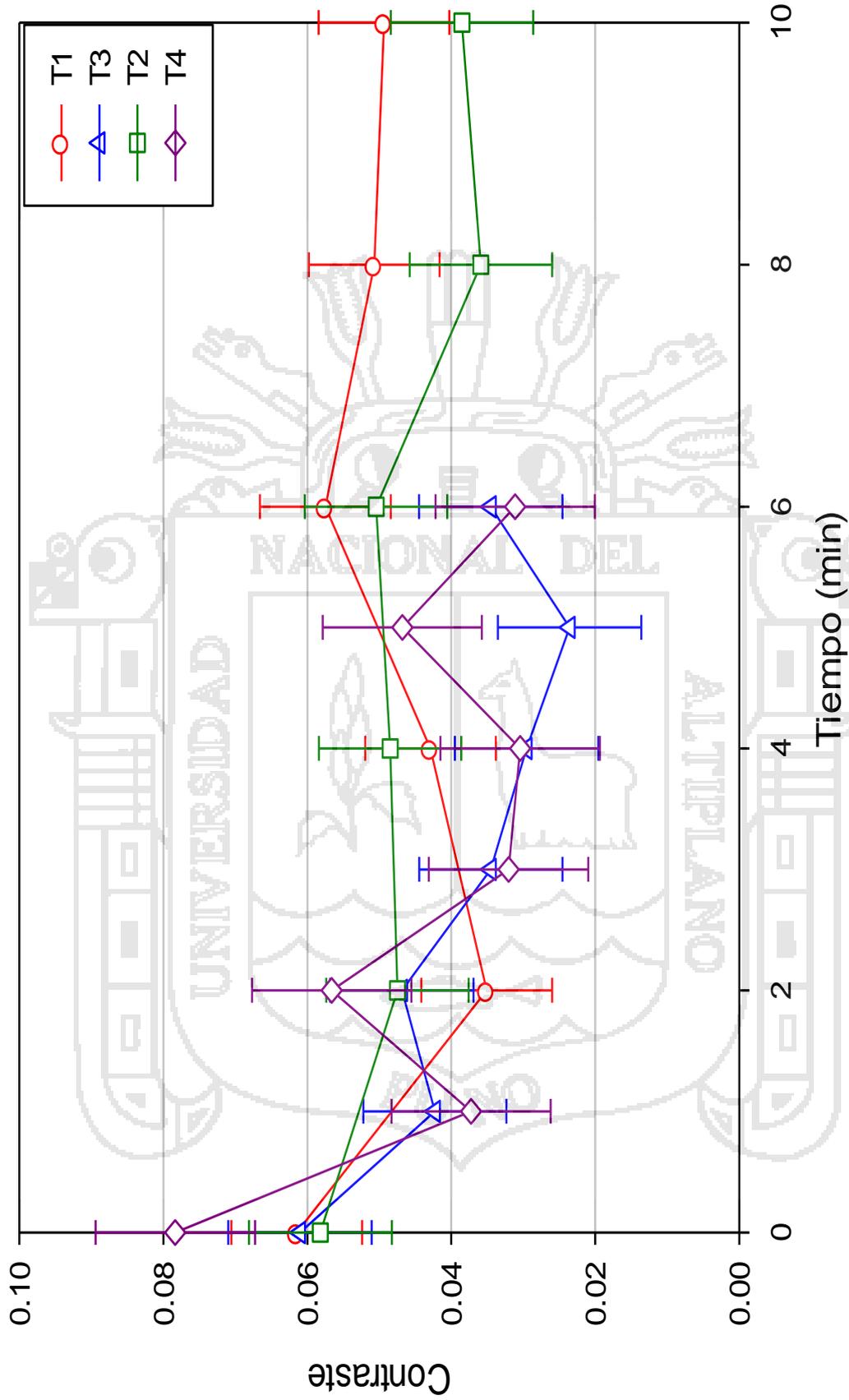


Fig. 8: Variación del Contraste (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 8 se observa que los espárragos frescos y congelado cocidos en agua muestran un comportamiento similar, ambos tratamientos disminuyen ligeramente los valores de contraste durante la cocción (entre 0.6 y 0.4). En el caso de los espárragos cocidos en microondas tanto congelados y frescos presentan un comportamiento cíclico con tendencia a disminuir, los valores de contraste aumentan y disminuyen conforme transcurre el tiempo de cocción presentando también una disminución de dicho valor claramente mostrada en la Figura 8 (0.8 a 0.3).

El contraste es una medida de la diferencia entre los valores de intensidad de los pixeles vecinos (Pérez, 2010); la evaluación de este parámetro durante el cocimiento de los espárragos esta relacionado a la heterogeneidad de la superficie estudiada, en el caso del corte longitudinal las fibras que muestra la estructura no presentara diferencia notoria entre los valores de la intensidad de los pixeles vecinos.

El valor del contraste del espárrago verde fresco cocido en agua en el primer minuto de cocción disminuye seguido de un incremento gradual hasta el minuto seis y en los dos últimos minutos dicho valor disminuye, en el primer minuto disminuye su contraste esto puede ser debido al cambio de temperatura lo cual genera una baja heterogeneidad, incrementa su contraste durante el tiempo lo cual indica que es heterogéneo conforme transcurre el tiempo de cocción lo cual coincide con lo afirmado por Haralick *et al.*, (1973) la heterogeneidad esta asociada a la suavidad; los alimentos van adquiriendo suavidad a medida que transcurre el tiempo de cocción.

El espárrago verde congelado cocido en agua en el primer minuto disminuye el contraste, el valor se mantiene constante hasta el minuto seis en el cual comienza a descender, la disminución del contraste indica que el tratamiento presenta una

superficie menos heterogénea a medida que transcurre el tiempo de cocción, esto se debe a el pre-tratamiento al cual fue sometido este tratamiento.

Los valores de contraste del espárrago verde fresco cocido mediante microondas en el primer minuto muestra una disminución, en el segundo minuto incrementa ligeramente seguido de una disminución de heterogeneidad hasta el quinto minuto ya que en el sexto comienza a incrementar, lo afirmado por Pérez (2010) se puede deducir que la presencia de fibras del espárrago no presentara mucha diferencia entre pixeles por ser la misma, por ello disminuye su contraste.

El espárrago verde congelado cocido mediante horno microondas presenta un comportamiento cíclico con tendencia a disminuir los valores del contraste, en el primer minuto muestra una disminución drástica esto se debe a la cocción rápida como lo indica Gómez (2008) anteriormente, ya que el espárrago no tiene tiempo de acondicionarse como en el cocido por agua, por ello la estructura continua el proceso y disminuye su contraste

En la Tabla 14 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de Contraste, el cual nos indica que existe una diferencia significativa para el factor tiempo de cocción. Esto implica que el contraste es directamente dependiente con respecto al factor tiempo con un nivel de significancia de 95.0%.

**Tabla 14:** Análisis de Varianza (ANOVA) del Contraste en el corte longitudinal.

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
tiempo (A)	8	0.006	0.001	5.259	**
Tratamiento (B)	3	0.001	0.000	1.391	n.s.
AxB	14	0.004	0.000	2.073	n.s.
Error Exp.	52	0.008	0.000		
TOTAL	78	0.200			

En la Tabla 15 se observa la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor tiempo. Muestra los resultados en el cual indica que el tiempo inicial es diferente respecto a los tiempos de cocción ya que el contraste va cambiando desde el cambio drástico de temperatura, el orden indica el orden de los que son mas heterogéneos a los que presentan menos heterogeneidad, en el minuto cero es en el cual presentan mayor heterogeneidad, seguido del minuto dos.

**Tabla 15:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el Contraste (longitudinal).

Tiempo	N	Media	
0 min.	12	0.065±0.013	a
2 min.	12	0.047±0,018	b
10 min.	6	0.044±0.009	b
6 min.	12	0.043±0.015	b
8 min.	6	0.043±0.011	b
1 min.	6	0.040±0.008	b
4 min.	12	0.038±0.015	b
5 min.	6	0.035±0.016	b
3 min.	6	0.033±0.007	b

### 4.2.3. Momento Inverso de Diferencia en el corte longitudinal

En la Tabla 16 y Figura 9 se presentan los valores promedios de la variación del momento inverso de diferencia como parámetro de evaluación de textura, en función del tiempo de cocción, el tipo de cocción y el tipo de espárrago verde: congelado y fresco.

**Tabla 16:** Resultados de la variación del Momento Inverso de Diferencia (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	0.970±0.004	0.971±0.005	0 min.	0.970±0.005	0.962±0.006
2 min.	0.983±0.004	0.977±0.005	1 min.	0.979±0.005	0.982±0.006
4 min.	0.980±0.004	0.976±0.005	2 min	0.977±0.005	0.972±0.006
6 min.	0.973±0.004	0.975±0.005	3 min	0.984±0.005	0.985±0.006
8 min.	0.976±0.004	0.983±0.005	4 min	0.986±0.005	0.985±0.006
10 min.	0.976±0.004	0.981±0.005	5 min	0.989±0.005	0.977±0.006
			6 min	0.984±0.005	0.985±0.006

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

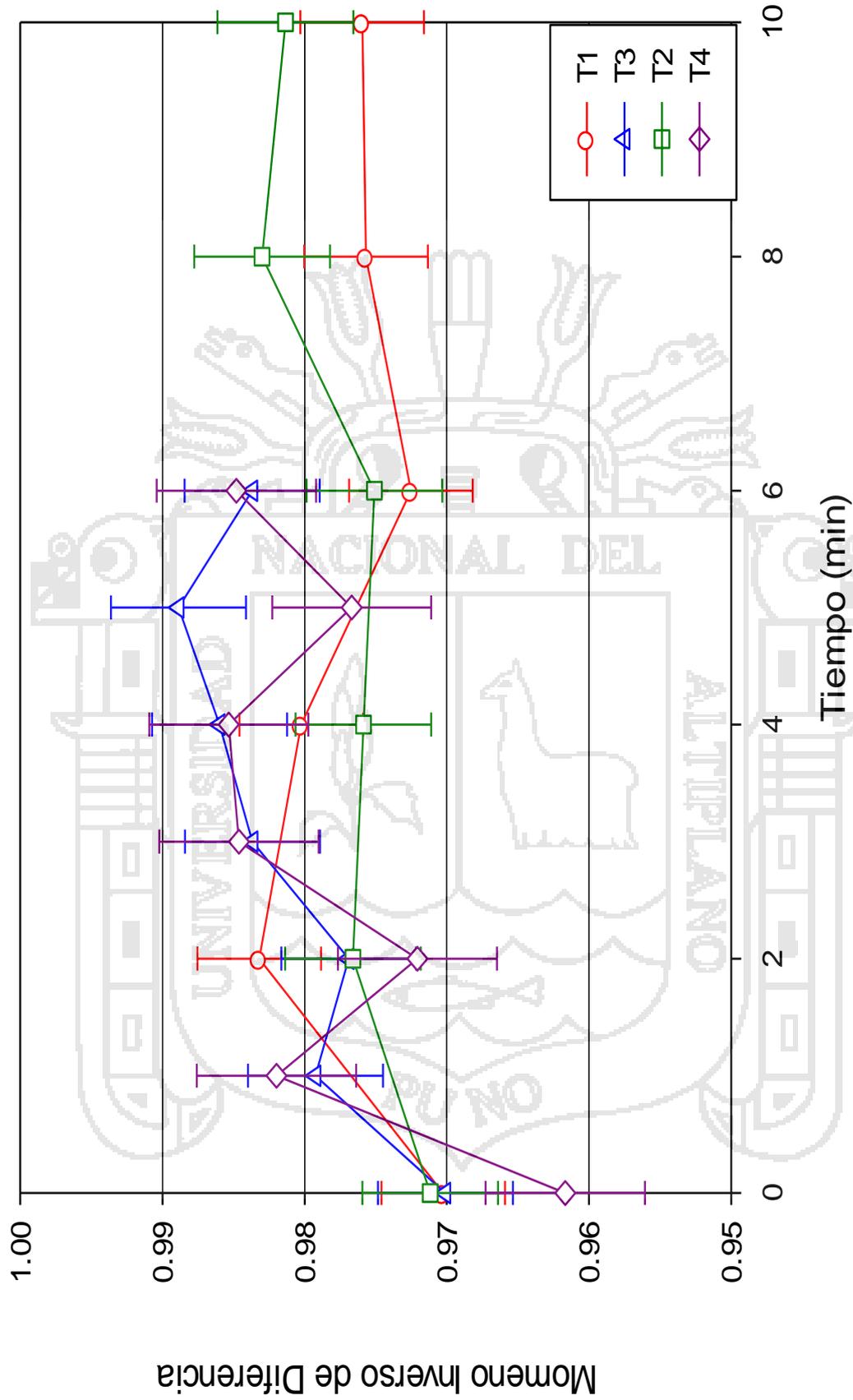


Fig. 9: Variación del Momento Inverso de Diferencia (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

La Figura 9 se observa que los espárragos cocidos en microondas frescos y congelados muestran un comportamiento similar, ambos incrementan el valor de su IDM conforme transcurre el tiempo de cocimiento (entre 0.96 a 0.99). En los espárragos verdes frescos y congelados cocidos en agua muestran un comportamiento cíclico, en el cual los valores de IDM incrementan y disminuyen conforme el tiempo de cocción (0.97 a 0.985).

El IDM mide la homogeneidad de la imagen (Gadkari, 2004); la evaluación de este parámetro durante la cocción de espárragos relacionado a la igualdad de los elementos de la imagen, los valores de IDM incrementan ya que las estructuras son más homogéneas conforme es cocido el producto.

Los valores de IDM del espárrago verde fresco cocido en agua en el minuto dos incrementa su valor, seguido de una disminución hasta el minuto seis donde presenta el valor más bajo, seguido de un incremento ligero en los dos últimos minutos, la superficie es homogénea en el minuto dos debido al inicio de cocción y la imagen muestra homogeneidad.

El espárrago verde congelado cocido en agua incrementa el valor de su IDM en el primer minuto manteniéndose constante hasta el minuto seis donde comienza a incrementar nuevamente su valor, Gadkari (2004) afirma que los valores son mayores debido a que los elementos de la imagen son iguales, el incremento en este caso se debe a la continuación de la cocción en su pre-tratamiento por ello el incremento.

Los valores de IDM en el espárrago verde fresco cocido mediante microondas presenta claramente un incremento de dicho valor, en el quinto minuto alcanza su

máximo valor, con lo afirmado anteriormente por Gadkari (2004) podemos deducir que en el quinto minuto presentan una superficie homogénea debido a que la cocción va incrementando la homogeneidad. El espárrago verde congelado cocido mediante microondas muestra un comportamiento cíclico de sus valores de IDM, en el primer minuto se observa un incrementado drástico se puede afirmar que se debe al pre-tratamiento de este producto y por la cocción rápida que indica Gómez (2008), este tratamiento continua su cocción y por ende incrementa su homogeneidad.

En el Tabla 17 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de momento inverso de diferencia en el corte longitudinal. La cual no presenta diferencias significativas.

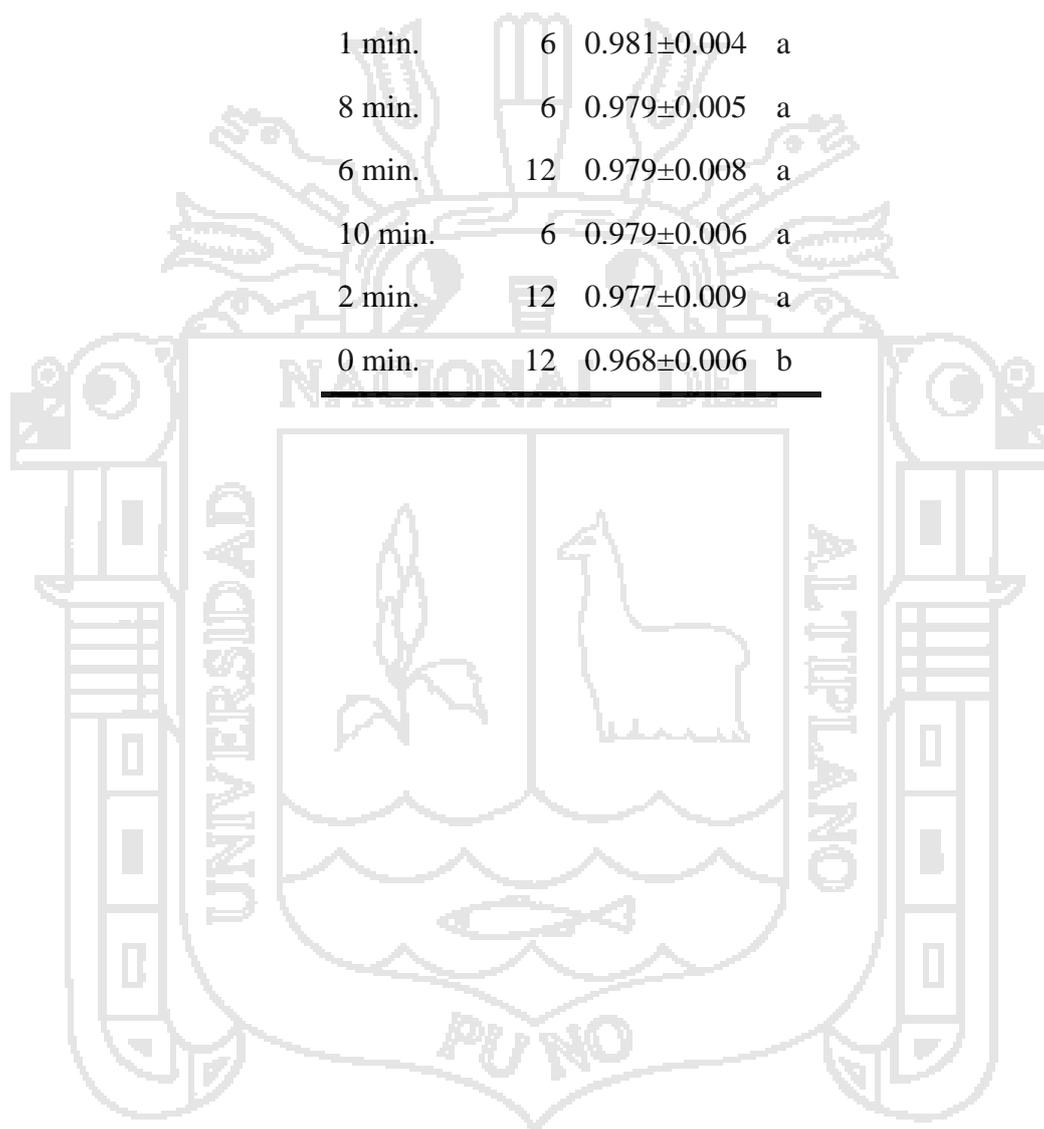
**Tabla 17:** Análisis de Varianza (ANOVA) del Momento Inverso de Diferencia en el corte longitudinal

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
Tiempo (A)	8	0.002	0.000	5.58	**
Tratamiento (B)	3	0.000	$4.994 \times 10^{-5}$	1.378	n.s.
AxB	14	0.001	$7.986 \times 10^{-5}$	2.204	n.s.
Error Exp.	52	0.002	$3.624 \times 10^{-5}$		
TOTAL	78	0.005			

En la Tabla 18 se observa la prueba de comparación múltiple de Duncan para el factor tiempo. Muestra los resultados en el cual indica que el tiempo inicial es diferente respecto a los tiempos de cocción ya que el IDM va cambiando desde el cambio drástico de temperatura, el orden indica el orden de la superficie más homogénea a las que presentan menos homogeneidad, en el minuto tres presentan mayor homogeneidad.

**Tabla 18:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el Momento Inverso de Diferencia (longitudinal) según el tiempo,  $\alpha= 0.05$

Tiempo	N	Media	
3 min.	6	0.984±0.003	a
5 min.	6	0.982±0.008	a
4 min.	12	0.982±0.007	a
1 min.	6	0.981±0.004	a
8 min.	6	0.979±0.005	a
6 min.	12	0.979±0.008	a
10 min.	6	0.979±0.006	a
2 min.	12	0.977±0.009	a
0 min.	12	0.968±0.006	b



#### 4.2.4. Entropía

En la Tabla 19 y Figura 10 se presentan los valores promedios de la variación del descriptor estadístico de textura Entropía de los tratamiento estudiados en función al tiempo de cocción y tratamiento.

**Tabla 19:** Resultados de la variación del Entropía (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	0.857±0.140	0.857±0.174	0 min.	1.023±0.155	0.976±0.126
2 min.	0.671±0.140	0.909±0.174	1 min.	0.777±0.155	0.776±0.126
4 min.	0.701±0.140	0.814±0.174	2 min	0.886±0.155	0.818±0.126
6 min.	0.819±0.140	0.936±0.174	3 min	0.651±0.155	0.650±0.126
8 min.	0.758±0.140	0.817±0.174	4 min	0.585±0.155	0.709±0.126
10 min.	0.810±0.140	0.803±0.174	5 min	0.504±0.155	0.836±0.126
			6 min	0.715±0.155	0.654±0.126

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

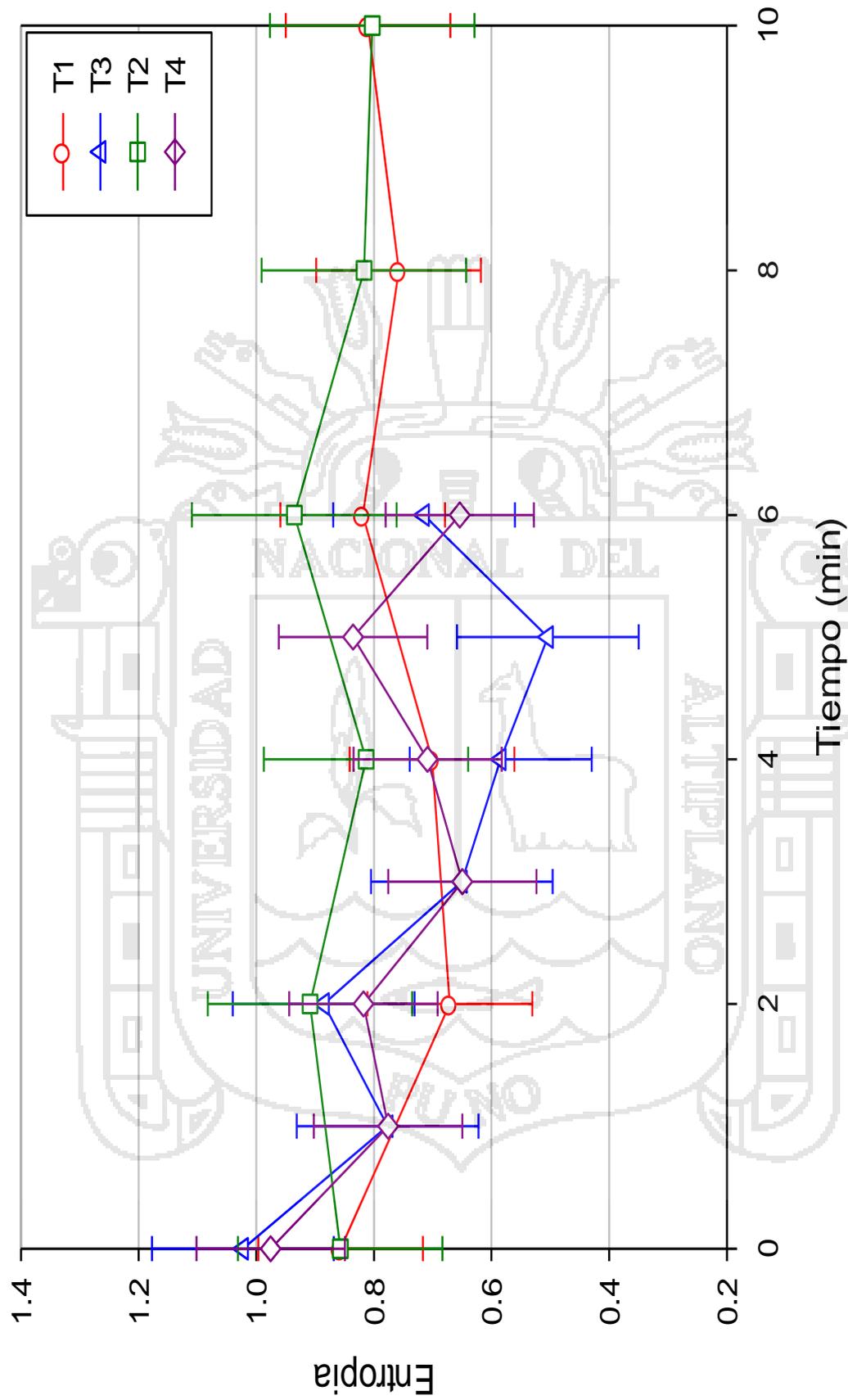


Fig. 10: Variación de Entropía (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 10 se observa que los espárragos verde cocidos en agua frescos y congelados muestran valores de entropía con un comportamiento cíclico, disminuyen e incrementan sus valores conforme transcurre el tiempo de cocimiento, sin embargo estas variaciones están en un rango reducido de (0.7 a 0.9), el espárrago verde cocido en microondas tanto fresco como congelado muestran similares los valores de entropía, los cuales van disminuyendo conforme transcurre el tiempo de cocción (entre 1.0 a 0.5).

La entropía como descriptor estadístico de textura está relacionado al desorden que muestra la imagen (Pérez, 2010), la evaluación de este parámetro durante el cocimiento de los espárragos en el caso del corte longitudinal va disminuyendo ya que las fibras que se observan en las imágenes muestran orden entre ellas.

Los valores de entropía en el espárrago verde fresco cocido en agua el cual muestra un comportamiento cíclico, incrementa y disminuye los valores a medida que transcurre el tiempo, en el primer minuto disminuye su entropía debido al cambio de temperatura ya que en este punto se muestra más ordenado, el incremento de su valor se debe a que la entropía varía conforme la cocción.

El espárrago verde congelado cocido en agua incrementa y disminuye ligeramente su entropía durante todo el tiempo de cocción debido a que inicia con un pre-tratamiento el cual influye en la entropía ya que en este proceso el espárrago se acondiciona nuevamente a la cocción por agua lenta y por ello muestra desorden en su estructura en el primer minuto.

El espárrago verde fresco cocido mediante microondas disminuye los valores de entropía en el primer minuto, incrementa ligeramente en el minuto dos para

disminuir gradualmente la entropía hasta el quinto minuto donde presenta menos desorden, La entropía es inversamente correlativa al ASM (Gadkari, 2004), lo cual concuerda con los resultados obtenidos anteriormente ya que en su ASM presenta mayor uniformidad en el quinto minuto.

El espárrago verde congelado cocido en microondas muestra una disminución e incremento en los valores de entropía, estas variaciones se deben al pre-tratamiento al que fue sometido, ya que la estructura es delicada en comparación con el espárrago fresco.

En el Tabla 20 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de Entropía para los tratamientos de espárragos verdes los cuales no presentan diferencia significativa ni para el tiempo ni el tratamiento.

**Tabla 20:** Análisis de Varianza (ANOVA) de la Entropía en el corte longitudinal.

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
tiempo (A)	8	0.476	0.059	1.784	n.s.
Tratamiento (B)	3	0.081	0.030	0.914	n.s.
AxB	14	0.462	0.033	0.990	n.s.
Error Exp.	52	1.733	0.033		
TOTAL	78	2.821			

#### 4.2.5. Determinación de Dimensión Fractal en el corte longitudinal

En la Tabla 21 y Figura 11 se presentan los valores promedios de la variación del descriptor estadístico Dimensión Fractal (DF) del espárrago verde estudiado en diferentes métodos de cocción y tiempo.

**Tabla 21:** Resultados de la variación de la Dimensión Fractal (longitudinal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	-2.776±0.127	-2.997±0.094	0 min.	.2918±0.083	-2.936±0.081
2 min.	-2.950±0.127	-3.087±0.094	1 min.	-3.001±0.083	-2.972±0.081
4 min.	-2.975±0.127	-3.131±0.094	2 min.	-3.014±0.083	-2.975±0.081
6 min.	-2.914±0.127	-2.968±0.094	3 min.	-3.081±0.083	-2.906±0.081
8 min.	-2.947±0.127	-3.211±0.094	4 min.	-3.108±0.083	-3.100±0.081
10 min.	-2.986±0.127	-3.139±0.094	5 min.	-2.924±0.083	-2.798±0.081
			6 min.	-3.079±0.083	-3.110±0.081

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

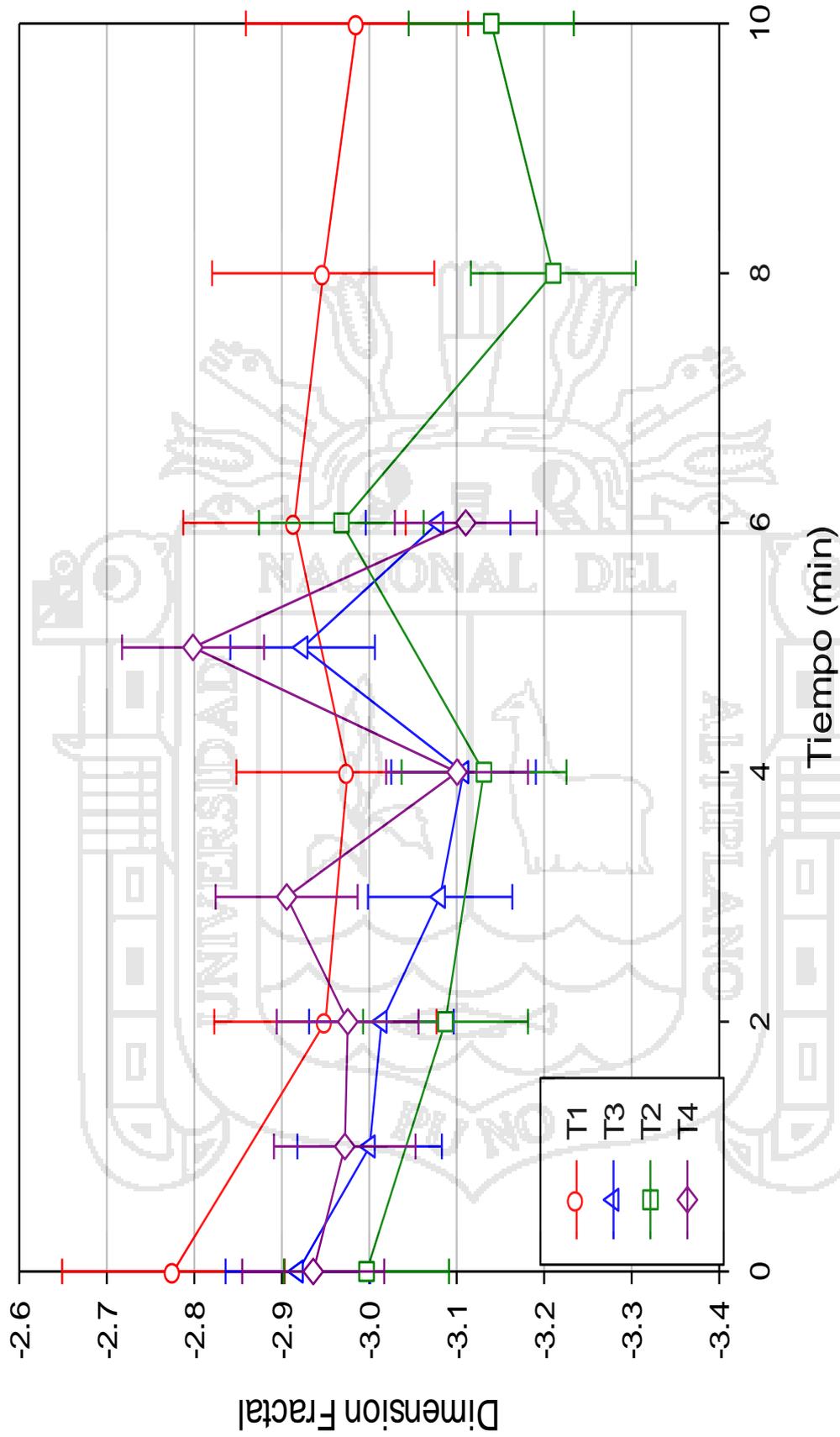


Fig. 11: Variación de la Dimensión Fractal (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 11 se observa que los espárragos cocidos por microondas tanto fresco y congelado presentan un comportamiento similar con valores cercanos que fluctúan entre -3.1 y -2.8, en el caso del espárrago verde cocido en agua presentan una tendencia similar mas no presentan valores similares, ya que el espárrago verde congelado presenta valores menores a -3 mientras que el espárrago verde fresco presenta valores mayores al mismo.

Los valores de DF del espárrago verde fresco cocido en agua va disminuyendo hasta el minuto cuatro, incrementa ligeramente dicho valor y en los últimos minutos va disminuyendo gradualmente, Pentland (1984) indica que la dimensión fractal es una propiedad que caracteriza la desigualdad (aspereza) o uniformidad (suavidad) de una superficie en una imagen, los valores que presenta este tratamiento indican que presenta suavidad.

El espárrago verde congelado cocido en agua muestra los valores de DF con una tendencia a disminuir a excepción del minuto seis que presenta un incremento, los valores de su DF indican que presenta una superficie lisa, se debe a que el espárrago congelado posee un pre- tratamiento.

El espárrago verde fresco cocido mediante microondas presenta valores que van disminuyendo gradualmente a excepción del quinto minuto que presenta un incremento, la disminución indica que posee una superficie lisa.

El espárrago verde congelado cocido en microondas presenta valores de DF que van disminuyendo e incrementando durante el proceso de cocción, esto se debe a

que es un alimento sometido a un pre-tratamiento y por ello solo muestra tendencia en los primeros minutos, en el cual indica que presenta un superficie lisa.

En la Tabla 22 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la DF, el cual nos indica que existe una diferencia significativa para el factor tratamiento y el tiempo. Esto implica que la dimensión fractal es directamente dependientes de estos factores al 95.0% de nivel de significancia.

**Tabla 22:** Análisis de Varianza (ANOVA) de la Dimensión Fractal en el corte longitudinal

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
tiempo (A)	8	0.416	0.052	3.691	**
Tratamiento (B)	3	0.324	0.108	7.65	**
AxB	14	0.129	0.009	0.654	n.s.
Error Exp.	52	0.733	0.014		
TOTAL	78	1.562			

En la Tabla 23 se muestra la prueba de comparación múltiple de Duncan para el tiempo en la cual observamos el orden en el que se encuentran los valores de DF. El primer grupo presenta al minuto cinco, cero y uno los cuales presentan una superficie poco lisa.

**Tabla 23:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para la Dimensión Fractal (longitudinal) según tiempo,  $\alpha= 0.05$ .

Tiempo	N	Media	
5 min	6	-2.861±0.116	a
0 min	12	-2.903±0.127	a b
1 min	6	2.986±0.100	a b c
3 min	6	-2.993±0.139	b c
2 min	12	-3.002±0.116	b c
6 min	12	-3.020±0.146	b c
10 min	6	-3.043±0.170	c
4 min	12	-3.078±0.109	c
8 min	6	-3.097±0.166	c

En la Tabla 24 se muestra la prueba de comparación múltiple de Duncan, donde los observamos el orden en el cual se presentan los tratamientos, primero se encuentra el espárrago verde fresco cocido en agua (T1) seguido del espárrago verde congelado cocido en microondas (T2), tratamientos que presentan superficie mas lisa respecto los dos siguientes tratamientos, en tercer lugar esta el espárrago verde fresco cocido en microondas (T3) y finalmente el espárrago fresco verde congelado cocido en microondas (T3).

**Tabla 24:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para la Dimensión Fractal (longitudinal) según tratamientos,  $\alpha= 0.05$ .

Tratamiento	N	Media	
T1	18	-2.919±0.152	a
T4	21	-2.971±0.133	a b
T3	21	-3.018±0.111	b c
T2	18	-3.089±0.130	c

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas





Fig. 12: Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en agua en el corte longitudinal.

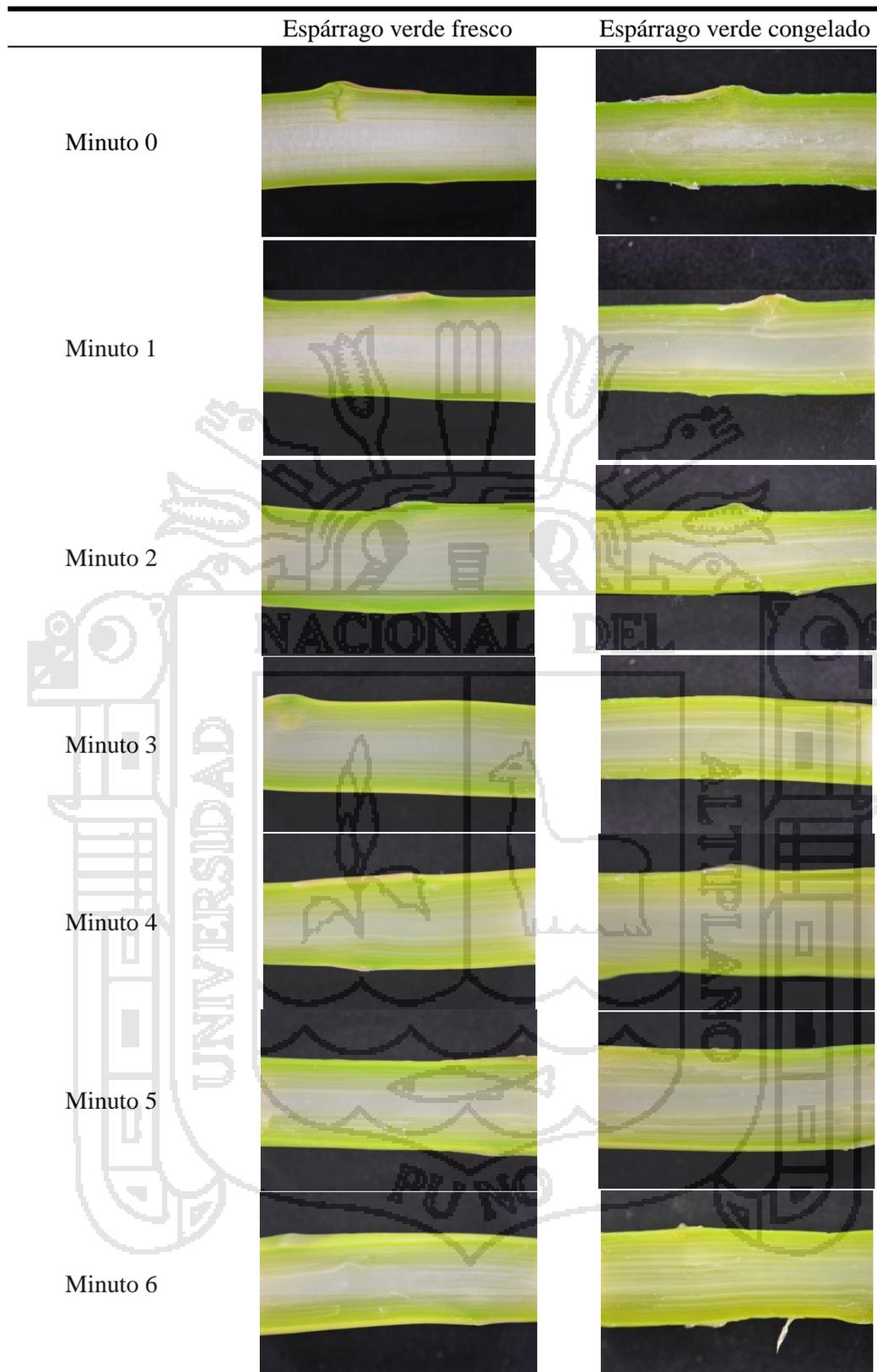


Fig. 13: Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en microondas en el corte longitudinal.

En las Figura 12 se muestran las imágenes de los espárragos verdes tanto frescos y congelados cocidos en agua, los descriptores estadísticos de textura nos muestran que el espárrago verde congelado cocido en agua desde el sexto minuto presenta desorden en la superficie tal como lo indica la entropía, también indica que incrementa su homogeneidad en el minuto dos, seguido de una disminución hasta el minuto seis. El espárrago verde congelado cocido en agua presentan un ligero incremento de homogeneidad para mantenerse constante y como se observa en la imagen en el minuto ocho presenta cambios, ya que incrementa esto se debe al pre-tratamiento al que fue sometido puesto que esta homogeneidad se debe a presentan un estructura más blanda.

En la Figura 13 se presentan las imágenes de los espárragos verdes frescos y congelados cocidos en agua, los descriptores estadísticos de textura nos indican que el espárrago verde fresco cocido en microondas en el quinto minuto presenta un valor de ASM alto, lo cual indica homogeneidad. El espárrago congelado cocido en microondas presenta valores de heterogeneidad muy variables ya que incrementa y disminuye los valores de contraste. Según Datta y Hu (1992) aunque el calentamiento por microondas es generalmente uniformes que un proceso de calentamiento convencional, puede existir falta de uniformidad considerable debido a los flujos de generación de calor; por ello observamos que la cocción en microondas de espárragos verdes congelados presentan estas variaciones puesto que se observa que el primer minuto una estructura aun congelada en áreas.

En la Figura 12 y Figura 13 se observa que los espárragos presentan un cambio de color minuto a minuto, hasta presentan un color que tiende a ser amarillo. Esto se

debe a lo afirmado por Schwartz y Von Elbe (1983) La conversión de la clorofila a feofitina.

#### 4.2.6. Segundo Momento Angular en el corte Transversal

En la Tabla 25 y en la Figura 14 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 del espárrago verde estudiado en diferentes métodos de cocción y tiempo.

**Tabla 25:** Resultados de la variación del Segundo Momento Angular (transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	0.456±0.083	0.515±0.069	0 min.	0.468±0.073	0.483±0.067
2 min.	0.738±0.083	0.464±0.069	1 min.	0.548±0.073	0.415±0.067
4 min.	0.813±0.083	0.484±0.069	2 min	0.643±0.073	0.498±0.067
6 min.	0.670±0.083	0.451±0.069	3 min	0.644±0.073	0.435±0.067
8 min.	0.630±0.083	0.491±0.069	4 min	0.542±0.073	0.425±0.067
10 min.	0.593±0.083	0.461±0.069	5 min	0.595±0.073	0.508±0.067
			6 min	0.486±0.073	0.489±0.067

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

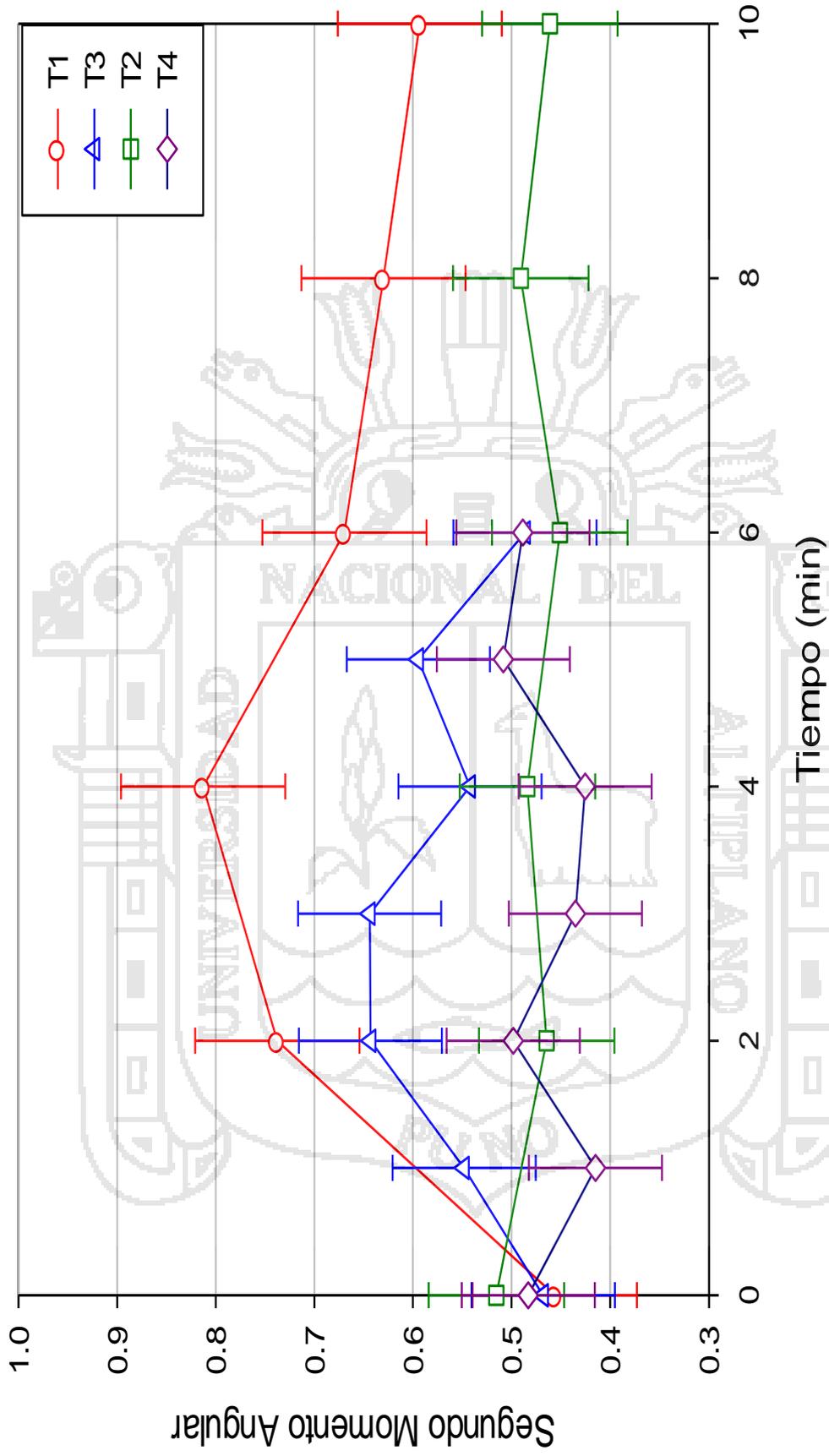


Fig. 14: Variación del Segundo Momento Angular (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 14 observamos que los espárragos verdes frescos cocidos tanto en agua como en microondas muestran un comportamiento similar, ambos incrementan el valor de su ASM conforme transcurre el tiempo de cocimiento (0.45 a 0.82). En el caso de los espárragos verdes congelados cocidos en agua y en microondas muestran un comportamiento cíclico, en el cual los valores de ASM aumentan y disminuyen conforme transcurre el tiempo de cocimiento, sin embargo las variaciones están en un rango reducido para el valor de ASM (0.42 a 0.52).

El concepto de ASM está relacionado al de uniformidad (Haralick *et al.*, 1973); la evaluación de este parámetro durante el cocimiento de los espárragos está relacionada a los procesos de transferencia de calor al interior de su estructura. La transferencia comienza siempre en los extremos, en el caso del corte transversal las estructuras comienzan a hacerse uniformes rápidamente por el contacto directo por el cual el valor del ASM se incrementa pues las estructuras son más uniformes conforme el producto es cocido.

Los valores de ASM del espárrago verde fresco cocido en agua incrementa su valor drásticamente en los dos primeros minutos, seguido de una disminución gradual hasta el final de la cocción; el incremento drástico de su ASM se debe al inicio de cocción ya que se uniformiza la estructura, la disminución de uniformidad concuerda con Brennan (2008) quien afirma que la textura se hace más suave y/o blanda con el transcurrir del tiempo.

El espárrago verde congelado cocido en agua muestra un comportamiento cíclico, pues incrementa y disminuye los valores de ASM, sin embargo varía en un intervalo reducido de dicho valor (entre 0.45 a 0.51), esto sucede durante todo el

proceso en los primeros minutos se debe a que inicia con su estructura congelada y en el minuto dos solo transfiere calor a la superficie por ello no es uniforme, el incremento en el minuto cuatro está relacionada con la uniformidad en el calentamiento.

El espárrago verde fresco cocido en microondas incrementa gradualmente hasta el minuto dos, se mantiene hasta el tercer minuto para luego descender, incrementa ligeramente en el minuto cinco y finalmente desciende, Coenders (1996) afirma que el tiempo de cocción requerido para la cocción en microondas es tan corto que los cambios químicos lentos no tienen tiempo de ocurrir, por ello este tratamiento presenta uniformidad minuto tres.

El espárrago verde congelado cocido en microondas disminuye en el minuto uno, incrementa en el segundo minuto seguido de una disminución hasta el quinto minuto donde vuelve a incrementarse, la disminución inicial se debe a que no siempre existe uniformidad en la cocción por microondas como lo indican Datta y Hu (1992).

En la Tabla 26 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el Segundo Momento Angular, el cual nos indica que existe una diferencia significativa para el factor tratamiento. Esto implica que el segundo momento angular es directamente dependiente al tratamiento con un 95.0% de nivel de significancia.

**Tabla 26:** Análisis de varianza (ANOVA) para Segundo Momento Angular en el corte transversal.

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
Tiempo (A)	8	0.110	0.014	1.724	n.s.
Tratamiento (B)	3	0.421	0.140	17.576	**
AxB	14	0.240	0.017	2.148	n.s.
Error Exp.	52	0.416	0.008		
TOTAL	78	1.180			

Para el factor tratamiento se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan mostrada en la Tabla 27. Se distinguen tres grupos el primer grupo espárrago verde fresco cocido en agua (T1) presenta un segundo momento angular mayor cuyo valor promedio es 0.650 lo cual indica uniformidad este tratamiento presenta diferencia respecto al espárrago verde fresco cocido mediante microondas (T3) que presenta un valor de 0.561. Los espárragos verdes congelados cocidos en agua (T2) y el espárrago verde congelado cocido mediante microondas (T4) se encuentran en el mismo grupo, lo que indica que presentan menor uniformidad respecto a los anteriores mencionados.

**Tabla 27:** Prueba de comparación múltiple Duncan para Segundo Momento Angular (transversal) según tratamientos,  $\alpha=0.05$

Tratamiento	N	Media	
T1	18	0.650±0.144	a
T3	21	0.561±0.100	b
T2	18	0.478±0.074	c
T4	21	0.465±0.078	c

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

#### 4.2.7. Contraste en el corte Transversal

En la Tabla 28 y Figura 15 se presentan los valores promedios de la variación de la heterogeneidad de los tratamientos de espárragos verdes estudiados mediante la evaluación de Contraste de sus imágenes.

**Tabla 28:** Resultados del Contraste (transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	0.073±0.013	0.098±0.014	0 min.	0.118±0.021	0.110±0.022
2 min.	0.023±0.013	0.083±0.014	1 min.	0.082±0.021	0.104±0.022
4 min.	0.029±0.013	0.087±0.014	2 min.	0.049±0.021	0.082±0.022
6 min.	0.046±0.013	0.082±0.014	3 min.	0.059±0.021	0.083±0.022
8 min.	0.056±0.013	0.076±0.014	4 min.	0.084±0.021	0.085±0.022
10 min.	0.076±0.013	0.078±0.014	5 min.	0.071±0.021	0.081±0.022
			6 min.	0.082±0.021	0.077±0.022

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

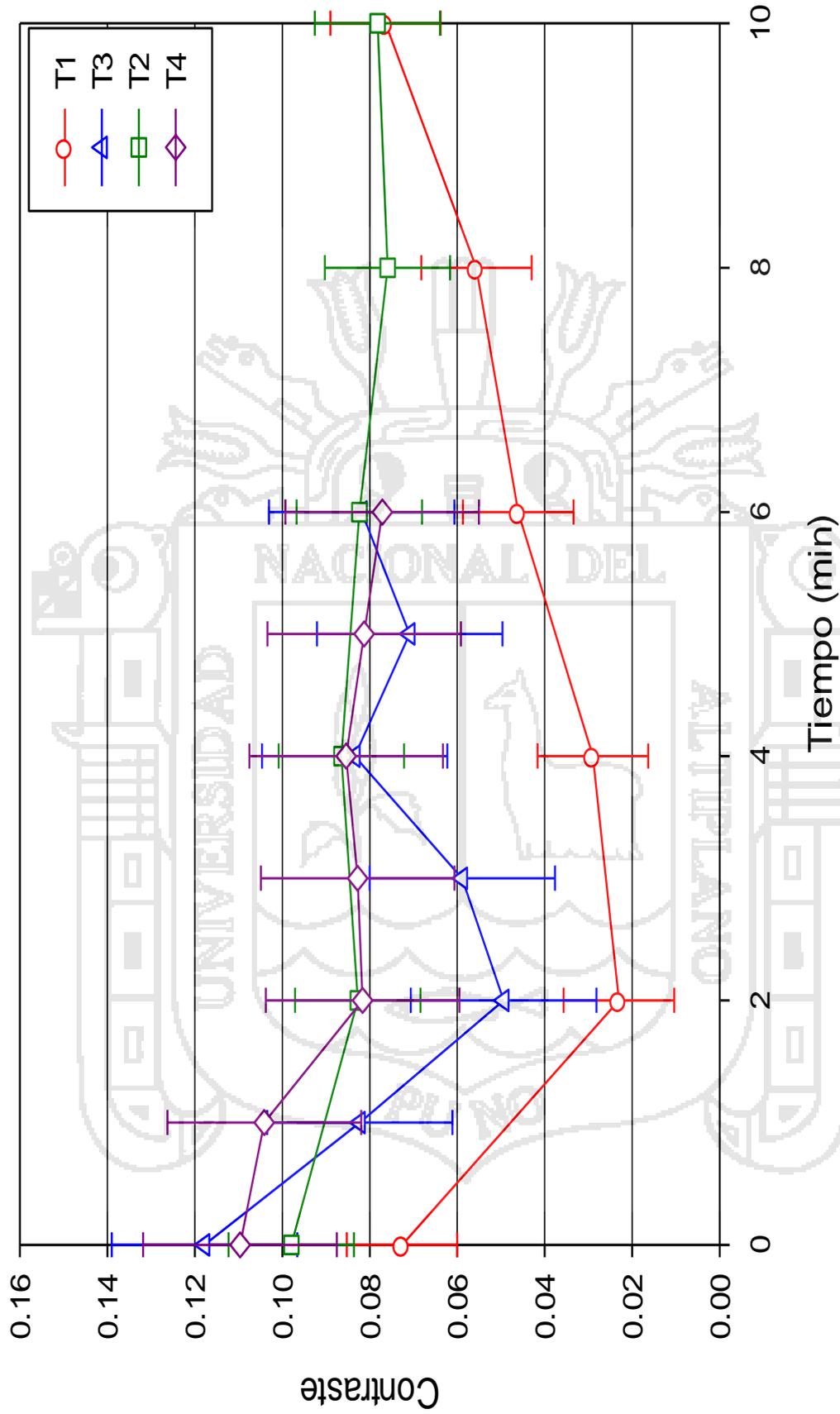


Fig. 15: Variación del Contraste (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 15 observamos que el espárrago verde congelado cocido tanto en agua como en microondas, muestran un comportamiento similar ya que disminuyen ligeramente los valores de su contraste (0.11 a 0.78), mientras que los espárragos verdes frescos cocidos en agua y en microondas presentan cambio drásticos, disminuyen e incrementan su contraste gradualmente los valores del contraste (entre 0.12 a 0.02).

El contraste es una medida de la diferencia entre los valores de intensidad de los pixeles vecinos (Pérez, 2010); la evaluación de este parámetro durante el cocimiento de los espárragos esta relacionado a la heterogeneidad de la superficie estudiada, en el caso del corte transversal la estructura presentara diferencia notoria entre los valores de la intensidad de los pixeles vecinos.

El espárrago verde fresco cocido en agua en el minuto dos disminuyo drásticamente su contraste, incrementa gradualmente su contraste hasta el minuto 10, Haralick *et al.*, (1973) indica que a un alimento menos blando tiene valores menores de contraste, la disminución en el minuto dos debe al cambio de temperatura, el incremento del contraste está ligado al ablandamiento que presenta el alimento ya que a medida que transcurre el tiempo de cocción el alimento se ablanda.

El espárrago verde congelado cocido en agua presenta una disminución ligera y gradual durante el tiempo de cocción, en el quinto minuto presenta un incremento de contraste lo cual indica que incrementan su heterogeneidad, estas variaciones se deben a que el espárrago es un producto congelado.

El espárrago verde fresco cocido en microondas presenta una disminución de los valores del contraste, incrementa desde el minuto dos hasta el cuarto minuto donde

varía, la disminución en los valores concuerda con lo afirmado por Pérez (2010) quien indica que diferencia entre pixeles por ser la misma, por ello disminuye su contraste.

El espárrago verde congelado cocido mediante microondas disminuye gradualmente los valores de su contraste durante el tiempo de cocción, dicha disminución se debe a que la cocción en microondas es rápida y con ello el espárrago no presenta el tiempo de acondicionarse como en el caso de la cocción por agua, esto concuerda con lo afirmado por Gómez (2008)

En el Tabla 29 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de Contraste en el corte transversal, el cual nos indica que existe una diferencia significativa para los factores tiempos de cocción y tratamientos. Esto implica que el contraste es directamente dependientes los factores con un nivel de significancia de 95.0%.

**Tabla 29:** Análisis de varianza (ANOVA) para Contraste en el corte transversal.

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
Tiempo (A)	8	0.013	0.002	3.267	**
Tratamiento (B)	3	0.017	0.006	10.918	**
AxB	14	0.006	0.000	0.916	n.s.
Error Exp.	52	0.026	0.001		
TOTAL	78	0.063			

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan como se muestra en la Tabla 30: el minuto cero es el punto mas heterogéneo seguido de el minuto uno y diez, esto se debe a que el espárrago inicia con una superficie

heterogénea y durante la cocción pierde heterogeneidad para finalmente ser heterogéneo nuevamente.

**Tabla 30:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para Contraste (transversal) según tiempo,  $\alpha= 0.05$

Tiempo	N	Media
0 min.	12	0.100±0.034 a
1 min.	6	0.093±0.038 a b
10 min.	6	0.077±0.013 a b c
5 min.	6	0.076±0.023 a b c
6 min.	12	0.072±0.021 b c
4 min.	12	0.071±0.028 b c
3 min.	6	0.071±0.014 b c
8 min.	6	0.066±0.017 c
2 min.	12	0.059±0.030 c

Para el factor tratamiento se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan (ver Tabla 31). Donde se distingue tres tratamientos con alineaciones similares para los espárragos verdes congelado cocido mediante microondas (T4), espárragos verdes congelados cocido en agua (T2) y espárragos verdes frescos cocidos mediante microondas (T3) los cuales presentan un mayor valor del contraste, en comparación con el espárrago fresco cocido en agua (T1).

**Tabla 31:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para Contraste (transversal) según tratamiento,  $\alpha= 0.05$

Tratamiento	N	Media
T4	21	0.089±0.026 a
T2	18	0.084±0.016 a
T3	21	0.078±0.030 a
T1	18	0.050±0.024 b

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

#### 4.2.8. Momento Inverso de Diferencia en el corte Transversal

En la Tabla 32 y Figura 16 se presentan los valores promedios de la evaluación de la homogeneidad de los cuatros tratamientos a través del descriptor estadístico de textura Momento Inverso de Diferencia (IDM) en el corte transversal, en función al tiempo de cocción.

**Tabla 32:** Resultados del Momento Inverso de Diferencia (transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	0.964±0.006	0.948±0.007	0 min.	0.941±0.007	0.940±0.010
2 min.	0.976±0.006	0.953±0.007	1 min.	0.951±0.007	0.944±0.010
4 min.	0.979±0.006	0.951±0.007	2 min	0.965±0.007	0.955±0.010
6 min.	0.970±0.006	0.951±0.007	3 min	0.964±0.007	0.951±0.010
8 min.	0.970±0.006	0.957±0.007	4 min	0.954±0.007	0.952±0.010
10 min.	0.962±0.006	0.956±0.007	5 min	0.955±0.007	0.951±0.010
			6 min	0.954±0.007	0.955±0.010

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

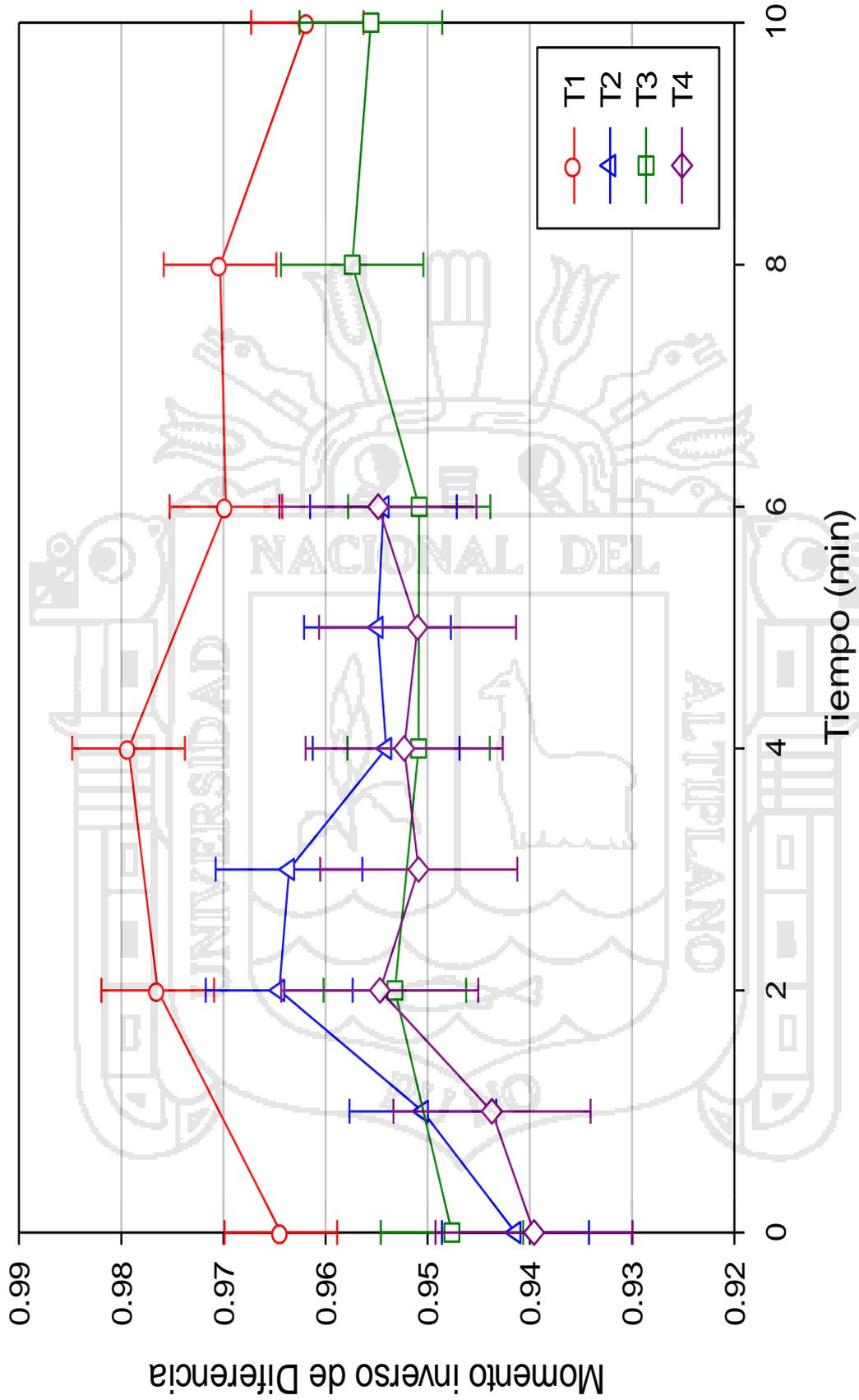


Fig. 16: Variación del Momento Inverso de Diferencia (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 16 observamos que los espárragos verdes congelados cocidos tanto en agua como microondas muestran un comportamiento similar ya que incrementan ligeramente los valores de su IDM (0.94 a 0.955), a diferencia de los espárragos verdes frescos cocidos en agua y en microondas que presentan un incremento y disminución gradual de los valores de IDM (0.94 a 0.98).

El IDM mide la homogeneidad de la imagen (Gadkari,2004); la evaluación de este parámetro durante la cocción de espárragos relacionado a la igualdad de los elementos de la imagen, los valores de IDM incrementan ya que las estructuras son mas homogéneas conforme es cocido el producto.

Los valores de IDM del espárrago verde fresco cocido en agua presentan un incremento de IDM seguido de una disminución gradualmente de dicho valor, esto se debe a que según transcurre el tiempo de cocción el espárrago incrementa la homogeneidad en su superficie para disminuir en los últimos minutos, esto concuerda con lo afirmado por Gadkari (2004)

El espárrago verde congelado cocido en agua muestra un comportamiento cíclico, ya que los valores de IDM incrementan y disminuyen pero en un rango reducido (0.948 a 0.957), el rango reducido se debe a que el espárrago fue sometido a un pre-tratamiento.

El espárrago verde fresco cocido en microondas incrementa el valor de su IDM gradualmente hasta el segundo minuto manteniéndose constante hasta el minuto tres donde disminuye nuevamente su valor, Gadkari (2004) afirma que los valores son mayores debido a que los elementos de la imagen son iguales.

El espárrago verde congelado cocido en microondas muestra un incremento de los valores de IDM en los dos primeros minutos y se mantiene constante en los últimos minutos, esto indica que la superficie no presenta variaciones en la homogeneidad (Haralick *et al.*, 1973).

En el Tabla 33 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación del Momento Inverso de Diferencia (transversal), el cual nos indica que existe una diferencia significativa para el factor tratamiento. Esto implica que el factor es independiente con respecto al IDM con nivel de significancia de 95.0%.

**Tabla 33:** Análisis de varianza (ANOVA) para Momento Inverso de Diferencia en el corte transversal

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
tiempo (A)	8	0.002	0.000	2.467	n.s.
Tratamiento (B)	3	0.004	0.001	16.370	**
AxB	14	0.001	$6.311 \times 10^{-5}$	0.735	n.s.
Error Exp.	52	0.004	$8.584 \times 10^{-5}$		
TOTAL	78	0.012			

Para el factor tratamiento se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan en la Tabla 34. Los resultados de esta prueba distinguen dos grupos similares donde los espárragos verdes frescos cocidos en microondas (T3), espárragos verdes congelados cocidos en agua (T2) y espárragos verdes congelados cocidos en microondas (T4) presentan poca homogeneidad a diferencia de los espárragos verdes frescos en agua (T1) que presente una mejor homogeneidad, en la Tabla 34 se observa el orden de IDM del mayor valor al menor.

**Tabla 34:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el Momento Inverso de Diferencia (transversal) según tratamiento,  $\alpha= 0.05$ .

Tratamiento	N	Media	
T1	18	0.970±0.008	a
T3	21	0.955±0.010	b
T2	18	0.953±0.008	b
T4	21	0.950±0.011	b

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

#### 4.2.9. Entropía en el corte Transversal

En la Tabla 35 y Figura 17 se presentan los valores promedios de la variación del descriptor estadístico de textura Entropía de los tratamientos estudiados espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción por hervor y horno microondas.

Tabla 35: Resultados de la Entropía (Transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos.

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	1.067±0.143	1.047±0.111	0 min.	1.100±0.130	1.172±0.114
2 min.	0.643±0.143	1.126±0.111	1 min.	0.975±0.130	1.225±0.114
4 min.	0.524±0.143	1.068±0.111	2 min	0.828±0.130	1.092±0.114
6 min.	0.734±0.143	1.128±0.111	3 min	0.852±0.130	1.257±0.114
8 min.	0.819±0.143	1.082±0.111	4 min	1.086±0.130	1.227±0.114
10 min.	0.875±0.143	1.097±0.111	5 min	0.976±0.130	1.105±0.114
			6 min	1.111±0.130	1.125±0.114

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

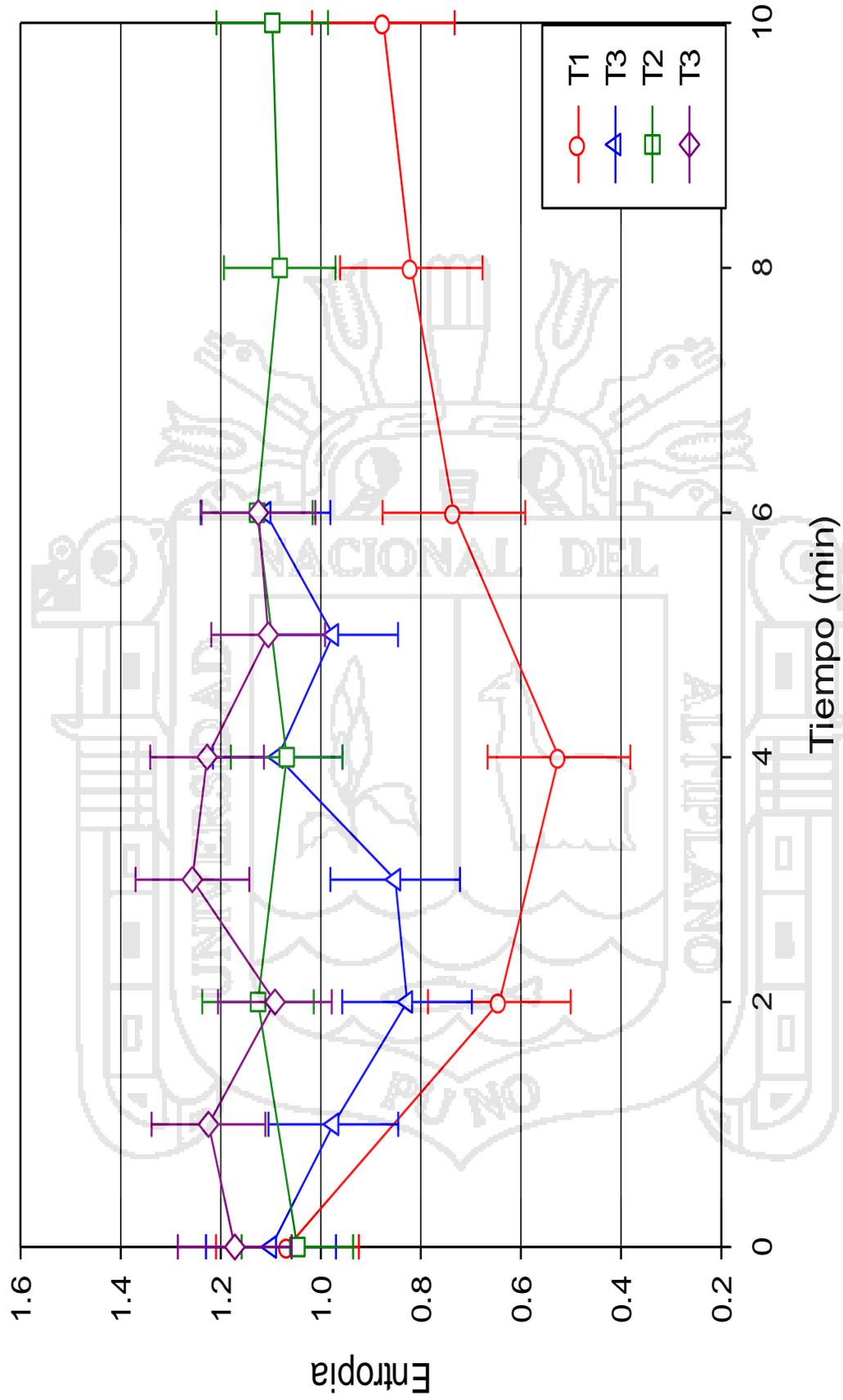


Fig. 17: Variación de la Entropía (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

La Figura 17 observamos que los espárragos verdes congelados cocidos en microondas y en agua muestran un comportamiento cíclico, ya que ambos incrementan y disminuyen los valores mayores de la entropía (1.02 a 1.22), los valores de entropía para el espárrago verde fresco cocidos en microondas presentan un comportamiento similar ya que disminuyen y vuelven a incrementar (1.1 a 0.5).

La entropía como descriptor estadístico de textura esta relacionado al desorden que muestra la imagen (Pérez, 2010), la evaluación de este parámetro durante el cocimiento de los espárragos.

Los valores de entropía en el espárrago verde fresco cocido en agua el cual muestra un comportamiento en el cual disminuye hasta el minuto cuatro, incrementa gradualmente hasta el minuto 10, disminuye el valor de su entropía debido al cambio de temperatura ya que en este punto se muestra mas ordenado, el incremento de su valor se debe a que la entropía varia conforme la cocción.

El espárrago verde congelado cocido en agua incrementa y disminuye ligeramente su entropía durante todo el tiempo de cocción debido a que inicia con un pre-tratamiento el cual influye en la entropía ya que en este proceso el espárrago se acondiciona lentamente otra vez a una cocción, por ello muestra un incremento de entropía en el minuto dos.

Los valores de entropía del espárrago verde fresco cocido mediante microondas disminuye los valores de entropía hasta el minuto dos para incrementan nuevamente dicho valor a medida de que transcurre el tiempo de cocimiento, la entropía es inversamente correlativa al ASM (Gadkari, 2004), lo cual concuerda con los

resultados obtenidos anteriormente ya que en su ASM ya que incrementan sus valores de uniformidad en el minuto dos.

El espárrago verde congelado cocido en microondas muestra una disminución e incremento en los valores de entropía, un comportamiento ciclico, estas variaciones se deben al pre-tratamiento al que fue sometido, ya que la estructura es delicada en comparación con el espárrago fresco.

En el Tabla 36 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación del Entropía, el cual nos indica que existe una diferencia significativa para el factor tratamiento. Esto implica que la entropía es directamente dependiente con respecto al tratamiento con un 95.0% de nivel de significancia.

**Tabla 36:** Análisis de varianza (ANOVA) para Entropía en el corte transversal.

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
tiempo (A)	8	0.241	0.030	1.292	n.s.
Tratamiento (B)	3	1.607	0.536	22.958	**
AxB	14	0.635	0.045	1.944	n.s.
Error Exp.	52	1.213	0.023		
TOTAL	78	3.743			

Para el factor tratamiento se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan (Tabla 36). Los cuatro tratamientos presentan diferencia en la entropía el tratamiento mas desordenado son los espárragos verdes congelados cocidos en microondas (T4), seguido del espárrago verde congelado cocido en agua (T2) estos dos presentan un comportamiento similar por eso se encuentran en el mismo grupo. El espárrago verde fresco cocido mediante horno microondas (T3) presenta diferencia

frente a T4 y T2; el tratamiento de espárrago verde fresco cocido en agua (T1) es diferente y toma el menor valor respecto a los tres anteriormente mencionado, esto indica que presenta una superficie menos desordenada.

**Tabla 37:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para Entropía (transversal) según tratamiento,  $\alpha= 0.05$

Tratamiento	N	Media	
T4	21	1.172±0.132	a
T2	18	1.091±0.119	a
T3	21	0.990±0.173	b
T1	18	0.777±0.230	c

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

#### 4.2.10. Dimensión Fractal en el corte Transversal

En la Tabla 38 y Figura 18 se presentan los valores promedios de la variación del descriptor estadístico Dimensión Fractal (DF) de los espárragos verdes frescos y congelados cocidos mediante hervor y horno microondas durante su proceso de cocción

**Tabla 38:** Resultados de la Dimensión Fractal (transversal) durante el proceso de cocción de espárragos verdes congelados y frescos

Tiempo	T1	T2	Tiempo	T3	T4
0 min.	-3.163±0.029	-3.238±0.057	0 min.	-3.080±0.047	-3.171±0.054
2 min.	-3.271±0.029	-3.249±0.057	1 min.	-3.090±0.047	-3.184±0.054
4 min.	-3.251±0.029	-3.198±0.057	2 min.	-3.174±0.047	-3.226±0.054
6 min.	-3.257±0.029	-3.212±0.057	3 min.	-3.219±0.047	-3.197±0.054
8 min.	-3.258±0.029	-3.228±0.057	4 min.	-3.158±0.047	-3.214±0.054
10 min.	-3.217±0.029	-3.267±0.057	5 min.	-3.173±0.047	-3.224±0.054
			6 min.	-3.159±0.047	-3.244±0.054

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas

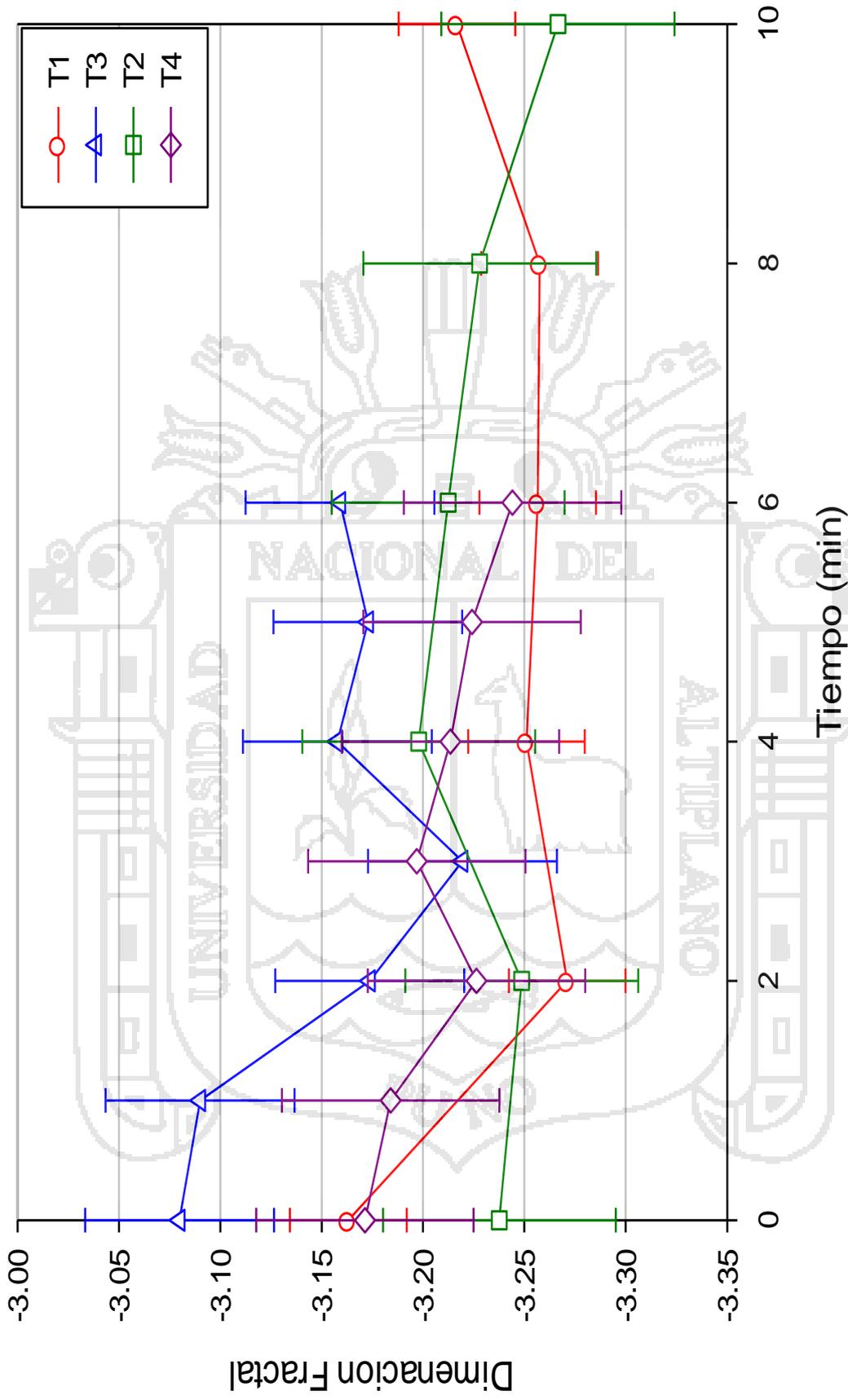


Fig. 18: Variación de la Dimensión Fractal (transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 18 podemos observar que el espárrago verde fresco cocido en microondas presentan valores mayores de DF, lo cual indica que presenta una superficie lisa, Pentland (1984) indica que la dimensión fractal es una propiedad que caracteriza la desigualdad (aspereza) o uniformidad (suavidad) de una superficie en una imagen, mientras que el espárrago verde fresco cocido en agua presenta los valores mas bajos menor a -3.15 lo cual indica que posee una superficie áspera. Los espárragos verdes congelados cocidos tanto en microondas como en agua muestran un comportamiento similar.

En el Tabla 39 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de la Dimensión Fractal (transversal), el cual nos indica que existe una diferencia significativa para el factor tratamiento. Esto implica que la dimensión fractal es directamente dependientes del tratamiento con un 95.0% de nivel de significancia.

**Tabla 39:** Análisis de varianza (ANOVA) para Dimensión Fractal en el corte transversal.

F. de V.	GL.	SC	CM	FC	Significancia
tiempo (A)	8	0.050	0.006	1.797	n.s.
Tratamiento (B)	3	0.068	0.023	6.509	**
AxB	14	0.039	0.003	0.805	n.s.
Error Exp.	52	0.180	0.003		
TOTAL	78	0.363			

Para el factor tratamiento se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan mostrada en la Tabla 40, donde se muestra el orden de los valores de DF. El espárrago verde fresco cocido mediante horno microondas tiene una DF de -3.15 lo cual indica que presenta el mayor valor, por ende presenta una superficie lisa.

**Tabla 40:** Prueba de comparación múltiple de Duncan para Dimensión Fractal (transversal) según tratamiento,  $\alpha= 0.05$

Tratamiento	N	Media	
T3	21	-3.150±0.067	a
T4	21	-3.209±0.060	b
T2	18	-3.232±0.064	b
T1	18	-3.236±0.048	b

T1 → Espárrago verde fresco en agua

T2 → Espárrago verde congelado en agua

T3 → Espárrago verde fresco en microondas

T4 → Espárrago verde congelado en microondas



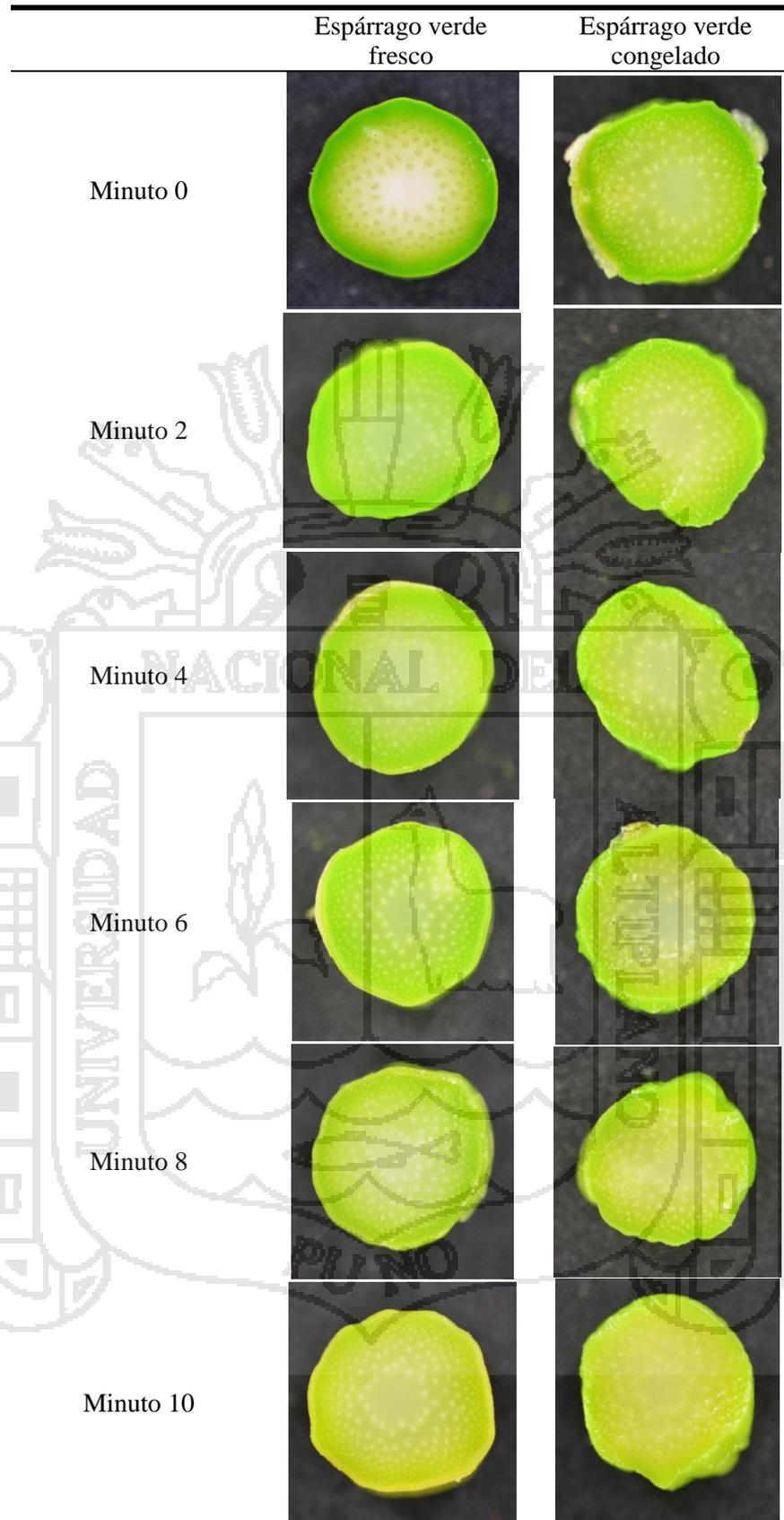


Fig. 19: Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en agua en el corte transversal

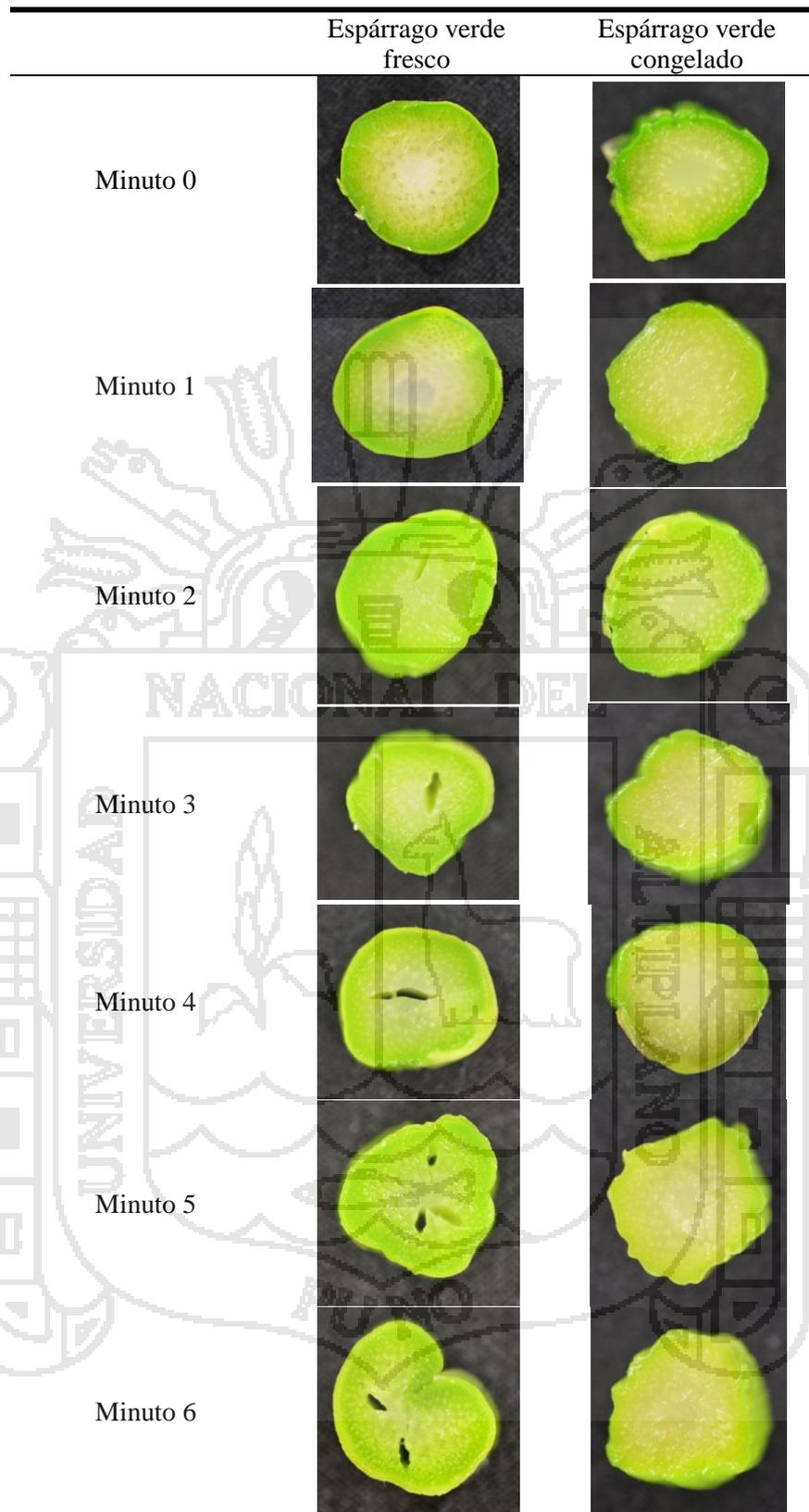


Fig. 20 Variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en microondas en el corte transversal.

En la Figura 19 se muestra la variación de textura durante los diferentes tiempos de cocción en agua, el espárrago verde fresco muestra características deseables hasta el minuto seis, según el ASM y IDM este tratamiento presentan mayor uniformidad y homogeneidad según corresponde, mientras que el espárrago verde congelado cocido en agua presenta mayores valores en CT y ET lo cual indica que presentan una superficie heterogénea y desordenada, esto se debe a que el espárrago verde congelado sufrió un pre-tratamiento y con ello su estructura es mucho más delicada que en el espárrago verde fresco.

En la Figura 20 se observan los espárragos verdes frescos y congelados cocidos en microondas de los cuales tenemos que en segundo lugar quien posee valores altos en ASM, IDM y DF es el espárrago verde fresco cocido en microondas, es uniforme, homogéneo y presentan una superficie lisa, mas presenta problemas desde el minuto tres donde se percibe un corte, el espárrago verde congelado cocido en microondas presenta una superficie desordenada y heterogénea al igual que en el caso del cocido en agua, presenta mejor característica que en el caso anterior.

### **4.3 DETERMINACIÓN DEL MODELO DE COLOR HSL**

#### **4.3.1. Determinación del modelo de color HSL en el corte longitudinal.**

En la Tabla 40 y Tabla 41 se presentan los valores promedios del modelo de color HSL de espárrago verde cocidos mediante hervor y horno microondas estudiados 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 41:** Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de espárragos verdes cocidos en agua (longitudinal).

Tiempo	Espárrago Fresco			Espárrago Congelado		
	H (°)	S (%)	L	H (°)	S (%)	L
0 min.	63.67	0.20	169.83	64.52	0.31	163.66
2 min.	68.52	0.26	173.45	64.02	0.31	162.52
4 min.	68.43	0.34	168.17	64.15	0.30	166.02
6 min.	67.71	0.29	173.44	61.98	0.32	154.55
8 min.	65.95	0.27	174.08	61.12	0.26	164.35
10 min.	65.78	0.33	168.41	59.42	0.28	169.68

**Tabla 42:** Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de espárragos verdes cocidos en microondas (Longitudinal).

Tiempo	Espárrago Fresco			Espárrago Congelado		
	H (°)	S (%)	L	H (°)	S (%)	L
0 min.	59.30	0.15	164.22	67.23	0.33	156.16
1 min.	62.36	0.18	169.18	64.00	0.43	155.33
2 min.	72.72	0.25	158.98	63.31	0.33	159.93
3 min.	68.82	0.23	164.41	62.50	0.30	165.45
4 min.	66.97	0.28	161.95	62.30	0.31	158.47
5 min.	67.04	0.28	161.95	63.14	0.29	153.40
6 min.	65.53	0.27	160.55	61.10	0.32	154.94

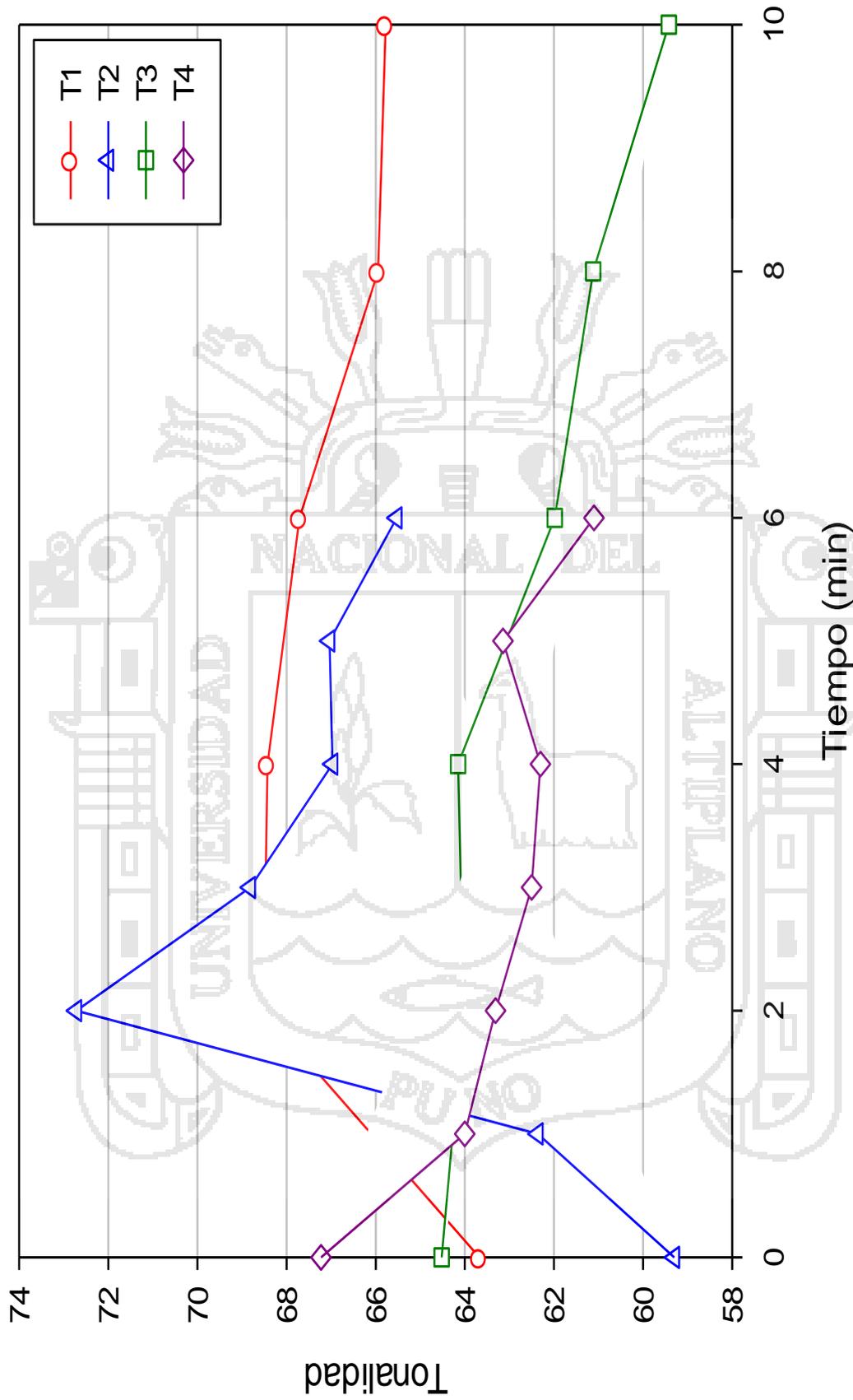


Fig. 21: Comportamiento de la Tonalidad (longitudinal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 21 observamos que el espárrago verde fresco cocido tanto en agua como en microondas muestran comportamientos similares, ya que incrementan los valores de su tonalidad en los primeros minutos para luego disminuir (entre  $59^\circ$  a  $73^\circ$ ). Los espárragos verdes congelados muestran un comportamiento similar, ya que disminuyen gradualmente los valores de la tonalidad ( $59^\circ$  a  $67^\circ$ ).

Se denomina tonalidad a la longitud de onda dominante a la luz que se ve y que corresponden a una determinada cantidad de tono (UPM, 2009), presentando el espárrago verde un tono verde el cual varía respecto al tiempo de cocimiento.

El espárrago verde fresco cocido en agua presenta un incremento en su tonalidad en el minuto dos seguido de una disminución ligera. La conversión de la clorofila a feofitina sigue de la reacción cinética de primer orden (Schwartz y Von Elbe, 1983). El espárrago verde fresco cocido mediante horno microondas incrementa su tonalidad drásticamente los dos primeros minutos para luego descender nuevamente.

El espárrago verde congelado cocido tanto en agua como en microondas presentan cambios de color, los puntos más bajos se deben al color interno que presenta el espárrago el cual tiende a ser blanco y esto influye en la tonalidad que presenta el espárrago durante toda su cocción, este cambio de coloración se debe a los cambios de color en los vegetales verdes durante el procesamiento térmico son el resultado de la conversión de la clorofila a feofitina, a través de la sustitución del magnesio de la clorofila por hidrógeno (Woolfe, 1979).

La saturación nos indica la pureza del color lo cual en este punto tiene valores menores al 50%. Para los cuatro tratamientos el color no es puro ya que su rango de

saturación es bastante bajo oscilando entre 15% y 43%. Las medidas de Luminosidad (L) varían entre 115 a 173 predominante con algunos colores blancos presentes Medina *et al.*, (2010).

#### 4.3.2. Determinación del modelo de color HSL en el corte transversal.

En la Tabla 42 y Tabla 43 se presentan los valores promedios del modelo de color HSL de espárrago verde cocidos mediante hervor y horno microondas estudiados 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 43:** Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de espárragos verdes cocidos en agua (transversal).

Tiempo	Espárrago Fresco			Espárrago Congelado		
	H (°)	S (%)	L	H (°)	S (%)	L
0 min.	72.95	0.58	147.77	71.86	0.68	144.80
2 min.	78.77	0.65	149.86	70.42	0.63	150.29
4 min.	75.09	0.62	153.77	68.98	0.59	153.62
6 min.	73.42	0.63	152.38	68.49	0.61	153.54
8 min.	71.19	0.61	153.97	65.84	0.59	154.70
10 min.	65.49	0.60	156.64	66.13	0.62	154.14

**Tabla 44:** Resultados de Modelo de color HSL (Hue – Saturation – Lightness) de espárragos verdes cocidos en microondas (transversal).

Tiempo	Espárrago Fresco			Espárrago congelado		
	H (°)	S (%)	L	H (°)	S (%)	L
0 min.	69.79	0.67	143.33	68.84	0.60	150.68
1 min.	72.66	0.63	146.53	68.96	0.67	146.66
2 min.	74.32	0.71	146.46	67.48	0.63	151.07
3 min.	73.56	0.67	148.06	69.64	0.65	145.93
4 min.	72.55	0.65	145.91	65.33	0.59	153.42
5 min.	71.34	0.69	148.07	67.17	0.56	155.57
6 min.	71.49	0.68	144.79	65.26	0.59	156.67



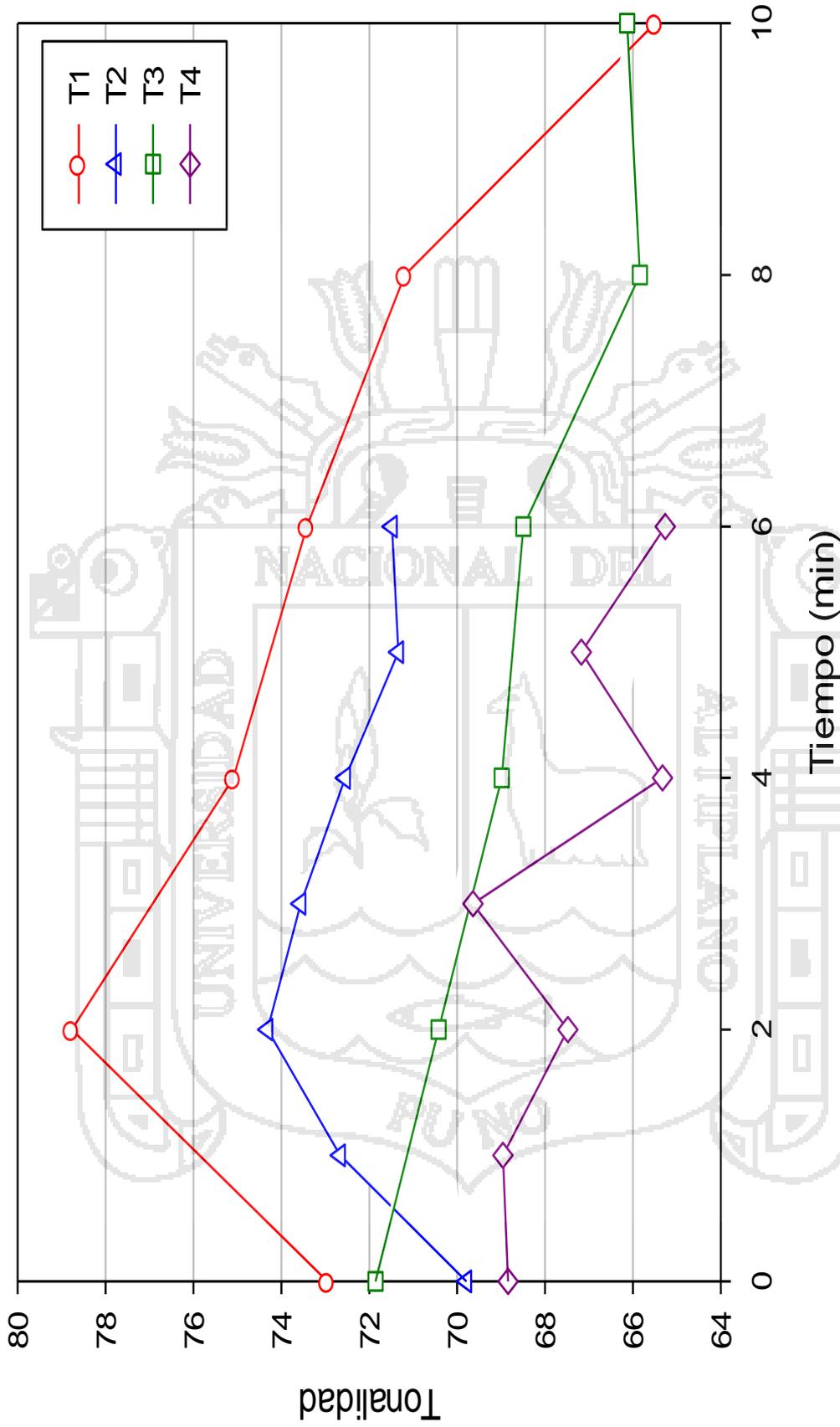


Fig. 22: Comportamiento de la Tonalidad (Transversal) durante el tiempo de cocción de espárragos verdes frescos y congelados en dos tipos de cocción

En la Figura 22 observamos que el espárrago verde fresco cocido tanto en agua como en microondas muestran comportamientos similares, ya que incrementan los valores de su tonalidad en los primeros minutos para luego disminuir (entre 66° a 79°). Los espárragos verdes congelados muestran un comportamiento similar, ya que disminuyen gradualmente los valores de la tonalidad (65° a 72°).

Se denomina tonalidad a la longitud de onda dominante a la luz que se ve y que corresponden a una determinada cantidad de tono (UPM, 2009), presentando el espárrago verde un tono verde el cual varía respecto al tiempo de cocimiento.

El espárrago verde fresco cocido en agua presenta un incremento en su tonalidad en el minuto dos, en los siguientes minutos disminución gradualmente. La conversión de la clorofila a feofitina sigue de la reacción cinética de primer orden (Schwartz y Von Elbe, 1983). El espárrago verde fresco cocido mediante horno microondas incrementa su tonalidad ligeramente los dos primeros minutos para luego descender nuevamente.

El espárrago verde congelado cocido tanto en agua como en microondas presentan cambios de color, la reducción en ángulo de coloración de este estudio coincide con los resultados reportados por Woolfe (1979) y por Lau *et al.*, (2000) que sostiene que el calentamiento prolongado en vegetales verdes causada deterioro de los pigmentos de clorofila que dio lugar a dar un cambio de color de verde a oliva verde, y finalmente a amarillo.

La saturación nos indica la pureza del color lo cual en este punto tiene valores mayores al 58%, la pureza es mayor ya que el análisis fue realizado en un corte

transversal, y el área de la presencia de blanco fue menor según ya que la saturación se ve influenciada por la cantidad de blanco que presenta (UPM 2009). Las medidas de Luminosidad (L) varían entre 143 a 156 con algunos colores blancos presentes Medina *et al.*, (2010a).

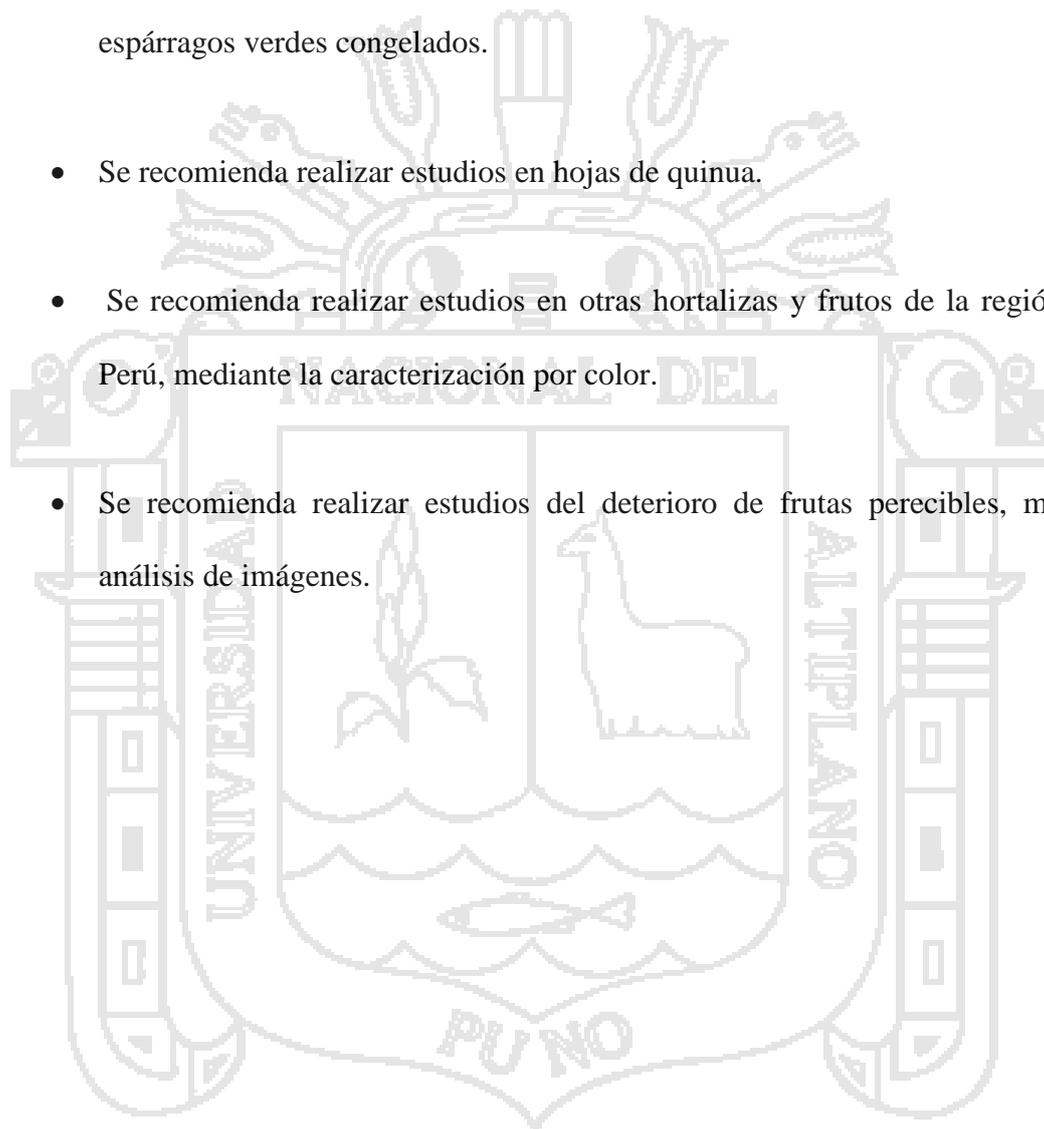


## V. CONCLUSIONES

- La firmeza en espárragos verdes es mayor para el espárrago verde fresco en agua, mientras que el espárrago verde congelado cocido en agua presenta valores menores; entre los espárragos verde frescos quien presenta mayor firmeza es el espárrago cocido en agua; en cuanto a los espárragos congelados el espárrago cocido en microondas presenta mayo firmeza.
- La textura fue determinada por los descriptores estadísticos tales como segundo momento angular (ASM), Contraste (CT), momento inverso de diferencia (IDM) y entropía (ET). En el corte longitudinal los mayores valores de ASM es el espárrago verde fresco cocido en microondas; de CT es el espárrago verde congelado cocido en agua; de IDM es el espárrago verde congelado cocido en microondas; de ET es el espárrago verde congelado cocido en agua. En el corte transversal los mayores valores de ASM e IDM es el espárrago verde fresco cocido en agua; de CT y ET es el espárrago verde congelado cocido en microondas. Los mayores valores de DF en el corte longitudinal es el espárrago verde fresco cocido en agua; en el corte transversal es el espárrago verde fresco cocido en microondas.
- La Tonalidad ( $H^\circ$ ) en el corte longitudinal se presenta en mayor tonalidad en el espárrago verde fresco cocido en agua, mientras que el menor lo presenta el espárrago verde congelado cocido en microondas, la saturación que presenta corresponde a menos de la mitad; la tonalidad en el corte transversal se presenta mayores valores es en el espárrago verde fresco cocido en agua y el menor valor lo presenta el espárrago verde congelado cocido en agua, la saturación es mayor a la mitad.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la cocción en agua durante 6 minutos para los espárragos verdes frescos.
- Se recomienda realizar la cocción en microondas durante 2 minutos en espárragos verdes congelados.
- Se recomienda realizar estudios en hojas de quinua.
- Se recomienda realizar estudios en otras hortalizas y frutos de la región y del Perú, mediante la caracterización por color.
- Se recomienda realizar estudios del deterioro de frutas perecibles, mediante análisis de imágenes.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abramoff, M. D., Magelhaes, P. J., and Ram, S. J. (2004). Image processing with Image J. *Biophotonics International*, *11*, 36 – 42.
- Agrobanco (2007). Cultivo del espárrago. Área de Desarrollo. Perú
- Agroica (2013). Estadística Agrícola (en línea). Consultado el 7 Julio 2014 en <http://www.agroica.gob.pe/>
- Alimentos (2009). Espárragos (en línea). Consultado el 12 Julio 2013 en <http://alimentos.cc/espárragos>.
- Bourne, M. 1979. Rupture Tests versus small-strain tests in Predicting Consumer Response to Texture. *Food Technology*. *33* (10), 67 -70
- Bourne, M. (1982a). Effect of temperature on firmness of raw fruits and vegetables. *J food Science* 47:440-444
- Bourne, M. (1982b). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press. New York. 325 p.
- Brennan, J. G. (2008). *Manual del procesado de los alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza (España).
- Cantwell, M. (2013). Espárragos verdes: Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha (en línea). Consultado 25 Noviembre 2013 en <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/Asparagus/>.
- Castleman, K. R. (1996). *Digital Imaging Processing*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

- Chan, K.L. (1995). Quantitative characterization of electron micrograph image fractal features. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 42, 1033-1037.
- Cocquerez, J. y Philipp, S. (1997). *Analyse D'Images Filtrage et Segmentation*. Masson.
- Coenders, A. (1996). *Química culinaria*. Zaragoza, España, Acribia.
- Cuevas, E., Zalvívar, D., & Pérez, M. (2010). *Procesamiento digital de imágenes usando MATLAB y Simulink (Primera ed.)*. Alfaomega Grupo Editor S.A. México.
- Datta, A.K. & Hu, W. (1992). Quality optimization of dielectric heating processes. *Food Technol.*, v.46, n.12, p.53-56
- Du, C., and Sun, D. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Food Science and Technology*. 15, 230-249
- FAO (2005). *Statistic* (en línea). Consultado el 15 Septiembre 2013 en <http://faostat.fao.org/faostat>
- 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. and Pardini, G. (1996). *Perfilru: 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.

- Gómez, P., (2008). Microondas: Verdades y mentiras. Revista virtual visitada el 28 noviembre 2013 en <http://eltamiz.com>.
- Gonzalez, R., and Woods, R. (1996). Tratamiento digital de imágenes, Addison-Wesley Publishing Co, Reading, Washington.
- Haralick, R., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on System, Man and Cibernetics*.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (2012). Productos de exportación (en línea). Consultado el 29 marzo 2013 en [http://www.indecopi.gob.pe/repositorioaps/0/14/jer/guias\\_informativas/probandera\\_peru.pdf](http://www.indecopi.gob.pe/repositorioaps/0/14/jer/guias_informativas/probandera_peru.pdf)
- Instituto peruano del espárrago y hortalizas. (2005). Espárrago en el Peru (en línea). Consultado 13 octubre 2013 en <http://www.ipeh.org>.
- Krarup, A. y Krarup, J. (1987). Parámetros de calidad y composición química de turiones verdes y blancos de espárragos. *Revista Agrosur*, 15(2):54 – 61 p.
- Lau, MH; Tang, j; Swanson, BG. (2000). Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments. *Journal of Food Engineering*. USA.
- Linares, H. (2008). Espárragos. Programa de Desarrollo Económico Sostenible de Centro América. Guatemala.
- Lipton, W. (1990). Postharvest biology of fresh asparagus. *Horticultural reviews*. Jules Janik, Purdue University. Vol 12.

- Matheis, G. 1990. La lipoxigenasa como enzima indicador en el blanqueado de verduras. *Dragoco Report. Información sobre sabores.* 2/1990: 52 – 59.
- Medina, W.; Skurtys, O. and Aguilera, J. M. (2010a). Study on image analysis application for identification Quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) geographical provenance. *Journal Food Science and Technology.* 43, 238–246.
- Medina, W.; Laurent, S.; Brandan, E. and Aguilera, J. M. (2010b). Uptake of tritiated liquids by individual breakfast cereal flakes. *Journal Food Science and Technology.* 75, 197.
- 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. (2011) Automated Detection of Welding Discontinuities Without Segmentation. *Journal Food Science.*
- Ministerio de Agricultura – MINAG (2010). Espárragos (en línea). Consultado el 04 abril 2013 en <http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/agricola/cultivos-de-importancia-nacional/esp%C3%A1rragos/generalidades-del-producto17>
- 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.

- Pedreschi, F., León, J., Mery, D. and Moyano, P. (2006). Development of a computer vision system to measure the 3 color of potato chips. *Food Research International*. 39, 1092-1098.
- 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, and Aguilera, J.M. (2002). Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*. 53, 361-371
- Scheule, M., (2000). Introductory foods. Nueva Jersey, Prentice Hall.
- Schwartz, S. J., and Von Elbe, J. H. (1983). Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. *Journal of Food Science*.
- Tracnova (2005). Análisis y procesamiento de imágenes. National Instruments. Argentina.
- Trujillo, J. (2010) Directo al Paladar. Espárragos en la gastronomía (en línea). Consultado el 28 noviembre 2013 en <http://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/el-esparrago-en-la-gastronomia>
- UPM (2009). El color, Grupo de Ingeniería Grafica (en línea) consultado el 28 noviembre 2013 en [http://www.gig.etsii.upm.es/pdf/doctorado/EL\\_COLOR.pdf](http://www.gig.etsii.upm.es/pdf/doctorado/EL_COLOR.pdf)

- Vallejos, J. (2010). Caracterización física, química y nutricional de espárrago verde (*Asparagus officinalis*), en tres diferentes suelos edafoclimaticos del ecuador como un aportote a la norma INEN, espárragos (*asparagus officinalis*) requisitos. Tesis pre-grado. Universidad Tecnologica Equinoccial Ecuador.
- 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.
- Vilca, R., (2013). Evaluacion del proceso de cocción de tres variedades de papa (*solanum tuberosum L.*) peruana utilizando análisis de imágenes. Tesis Pre-grado. Universidad Nacional del Altiplano.
- Vizcarra, C. (2012). Vizcarra proyectos, Boletín N° 35-13: El espárrago (en línea). Consultado 18 de octubre 2013 en <http://vizcarraproyectos.com/web/el-espárrago/>.
- Voisey, P. (1979). Test Cells for Objective Textural Measurements. *J. Inst. Can. technol. Aliment.*
- Woolfe, M. L. (1979). Pigments. In R. J. Priestley, *Efects of heating on foodstu€s* (pp. 77±119). London, UK: Applied Science Publishers.



Anexo 1: Resultados de la segmentación de color RGB en ImageJ. de los espárragos verdes frescos y congelados cocidos en agua y microondas en el corte longitudinal convertidas a modelo HSL

Tiempo	Rojo	Verde	Azul	Max	Min	Diferencia	Ho	Hº	S%	L
0	185.088	188.274	136.120	188.274	136.120	52.155	1.061	63.665	0.198	169.827
2	190.587	200.784	128.982	200.784	128.982	71.802	1.142	68.521	0.256	173.451
4	190.142	203.015	111.360	203.015	111.360	91.656	1.140	68.427	0.338	168.172
6	193.485	203.880	122.963	203.880	122.963	80.918	1.128	67.708	0.291	173.443
8	193.782	201.099	127.366	201.099	127.366	73.733	1.099	65.954	0.268	174.082
10	191.630	199.941	113.646	199.941	113.646	86.296	1.096	65.779	0.325	168.406

Espárrago verde fresco cocido en agua

Tiempo	Rojo	Verde	Azul	Max	Min	Diferencia	Ho	Hº	S%	L
0	185.809	191.696	113.488	191.696	113.488	78.208	1.075	64.516	0.307	163.665
2	185.229	190.500	111.841	190.500	111.841	78.660	1.067	64.021	0.312	162.523
4	188.255	193.607	116.207	193.607	116.207	77.400	1.069	64.149	0.300	166.023
6	177.768	180.228	105.646	180.228	105.646	74.582	1.033	61.980	0.316	154.547
8	185.431	186.656	120.977	186.656	120.977	65.679	1.019	61.119	0.264	164.355
10	194.162	193.458	121.415	194.162	121.415	72.747	0.990	59.420	0.284	169.678

Espárrago verde congelado cocido en agua

Tiempo	Rojo	Verde	Azul	Max	Min	Diferencia	Ho	Hº	S%	L
0	176.685	186.458	105.332	186.458	105.332	81.126	1.120	67.228	0.325	156.158
1	184.941	191.773	89.265	191.773	89.265	102.508	1.067	63.999	0.425	155.326
2	184.148	188.648	107.006	188.648	107.006	81.642	1.055	63.307	0.331	159.934
3	188.733	191.901	115.719	191.901	115.719	76.182	1.042	62.496	0.301	165.451
4	181.834	184.748	108.843	184.748	108.843	75.905	1.038	62.304	0.313	158.475
5	173.866	177.453	108.878	177.453	108.878	68.574	1.052	63.138	0.290	153.399
6	179.188	180.573	105.056	180.573	105.056	75.517	1.018	61.100	0.322	154.939

Espárrago verde congelado cocido en microondas.

Tiempo	Rojo	Verde	Azul	Max	Min	Diferencia	Ho	Hº	S%	L
0	177.017	176.576	139.071	177.017	139.071	37.947	0.988	59.302	0.153	164.221
1	183.384	185.199	138.966	185.199	138.966	46.233	1.039	62.356	0.179	169.183
2	171.994	186.357	118.584	186.357	118.584	67.773	1.212	72.716	0.254	158.979
3	179.071	188.227	125.946	188.227	125.946	62.282	1.147	68.821	0.234	164.415
4	180.635	189.121	116.105	189.121	116.105	73.016	1.116	66.973	0.283	161.953
5	180.639	189.243	115.956	189.243	115.956	73.287	1.117	67.044	0.284	161.946
6	178.984	185.233	117.441	185.233	117.441	67.792	1.092	65.531	0.269	160.552

Espárrago verde fresco cocido en microondas

Anexo 2: Resultados de la segmentación de color RGB en ImageJ. de los espárragos verdes frescos y congelados cocidos en agua y microondas en el corte transversal convertidas a modelo HSL

Tiempo	Rojo	Verde	Azul	Max	Min	Diferencia	Ho	Hº	S%	L
0	177.668	209.915	46.805	209.915	46.805	163.110	1.198	71.862	0.677	144.796
2	183.960	210.839	56.068	210.839	56.068	154.771	1.174	70.420	0.627	150.289
4	187.731	209.602	63.541	209.602	63.541	146.061	1.150	68.984	0.586	153.625
6	189.778	211.230	59.610	211.230	59.610	151.621	1.141	68.489	0.612	153.539
8	193.270	207.258	63.565	207.258	63.565	143.693	1.097	65.841	0.589	154.698
10	194.271	209.725	58.421	209.725	58.421	151.304	1.102	66.128	0.621	154.139

Espárrago verde congelado cocido en agua

Tiempo	Rojo	Verde	Azul	Max	Min	Diferencia	Ho	Hº	S%	L
0	174.983	206.011	62.308	206.011	62.308	143.703	1.216	72.955	0.578	147.767
2	171.428	225.503	52.638	225.503	52.638	172.865	1.313	78.769	0.649	149.856
4	180.826	221.925	58.546	221.925	58.546	163.379	1.252	75.093	0.619	153.766
6	182.228	218.479	56.428	218.479	56.428	162.051	1.224	73.422	0.630	152.378
8	186.353	215.252	60.308	215.252	60.308	154.944	1.187	71.191	0.608	153.971
10	196.691	210.152	63.076	210.152	63.076	147.076	1.092	65.491	0.597	156.640

Espárrago verde fresco cocido en agua

Tiempo	Rojo	Verde	Azul	Max	Min	Diferencia	Ho	Hº	S%	L
0	185.324	207.027	59.689	207.027	59.689	147.338	1.147	68.838	0.604	150.680
1	183.895	207.669	48.425	207.669	48.425	159.244	1.149	68.958	0.670	146.663
2	189.050	207.976	56.174	207.976	56.174	151.802	1.125	67.480	0.628	151.067
3	180.914	205.751	51.123	205.751	51.123	154.628	1.161	69.638	0.650	145.930
4	192.359	204.963	62.953	204.963	62.953	142.010	1.089	65.325	0.590	153.425
5	191.108	207.858	67.747	207.858	67.747	140.111	1.120	67.173	0.565	155.571
6	196.290	208.927	64.781	208.927	64.781	144.146	1.088	65.260	0.587	156.666

Espárrago verde congelado cocido en microondas.

Tiempo	Rojo	Verde	Azul	Max	Min	Diferencia	Ho	Hº	S%	L
0	178.351	203.785	47.854	203.785	47.854	155.931	1.163	69.786	0.666	143.330
1	176.530	209.394	53.667	209.394	53.667	155.726	1.211	72.662	0.634	146.530
2	177.118	219.093	43.160	219.093	43.160	175.932	1.239	74.315	0.705	146.457
3	178.870	217.017	48.284	217.017	48.284	168.733	1.226	73.565	0.674	148.057
4	176.800	210.139	50.785	210.139	50.785	159.354	1.209	72.553	0.652	145.908
5	183.192	215.202	45.819	215.202	45.819	169.382	1.189	71.339	0.691	148.071
6	178.500	209.871	46.010	209.871	46.010	163.861	1.191	71.487	0.682	144.794

Espárrago verde fresco cocido en microondas

Anexo 3: Especificaciones técnicas

	<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS</b>	Código	-IC-n-10
	<b>Espárrago verde IQF CRC 11 - 14 mm</b>	Página	- 1 de 1
		Revisión	- 01
		Fecha	- 09-01-01
		Elaborada	- JIC
		Aprobada	- GCS

1. AREA: Planta Congelados  
Aseguramiento de la Calidad

2. PRODUCTO

2.1 Descripción del producto:

Producto elaborado a partir espárrago tipo AS, frescos, sano y libres de material extraños a la planta.

Durante el proceso de fabricación el espárrago se selecciona, calibra y corta para continuar con la etapa de escaldado y enfri, posterior a esto es congelado en túnel IQF, hasta alcanzar una temperatura igual o inferior a -18°C.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS/ 1.0 kg

Organolépticas	Descripción
Díametro	11 a 14 mm
Tolerancias para diámetro	< 11 mm y > 14 mm = 10 % $\Sigma$
Longitud	60 a 80 mm
Tolerancias para longitud	< 60 mm y > 80 mm = 10 % $\Sigma$
Puntas	60 - 80 Unid
Unidades	190 - 230
Fibrosidad	2 %
Olor y sabor	Característico y agradable excepto de olores y sabores extraños.

Valor Nutricional por cada 100 Gramos		Unidad Medida
Energía	28.1	Kcal
Proteína	2.4	g
Grasa total	0.1	g
Hidratos de carbono	4.3	g