

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

**Estudio de la Variación de la Firmeza en Espárragos  
Verdes (*Asparagus officinalis* L.) Sometidos a Diversos  
Tratamientos de Escaldado**

Tesis presentada como parte de los  
requisitos para optar al grado de  
licenciado en Ingeniería en Alimentos

**Ricardo Alberto Fuentealba Almarza**

VALDIVIA – CHILE

2004

- **Profesor Patrocinante:**

Sr. Elton Francisco Morales Blancas

Ingeniero en Industrias Alimentarias, Mg. Sc.

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL)

.....

- **Profesor Copatrocinante:**

Sr. Erwin Carrasco Ruiz

Ingeniero Civil Químico

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL)

.....

- **Profesor Informante:**

Sr. Bernardo Fraser Leiva

Médico Veterinario, M. Sc.

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL)

.....

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi profesor patrocinante Sr. Elton Morales Blancas por el apoyo, guía y cooperación durante todo el desarrollo del trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) a través del Proyecto FONDECYT 1970303 por el financiamiento de la presente tesis.

Al ICYTAL por la formación y apoyo entregados durante los años de estudio.

A los profesores Marcia Costa Lobo y Bernardo Carrillo López, quiénes supieron motivarme y darme el apoyo necesario para cumplir esta meta.

## ÍNDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
2.1	Espárragos	3
2.2	Escaldado	3
2.2.1	Origen	3
2.2.2	Definición	4
2.2.3	Efectos secundarios	4
2.3	Textura	5
2.3.1	Textura en espárragos	5
2.3.2	Método de análisis de la textura en espárragos	6
2.3.3	Aplicación del método de perforación para el análisis de firmeza en espárragos	6
2.3.4	Principios de la prueba de perforación	7
2.4	Factores precosecha que afectan la firmeza de los espárragos	8
2.4.1	Fisiología	8
2.4.2	Velocidad de crecimiento	9
2.5	Cambios poscosecha que afectan la firmeza de los espárragos	9
2.5.1	Factores internos	9
2.5.2	Factores ambientales	10
2.6	Efectos intrínsecos del espárrago sobre la firmeza	10
2.6.1	Efecto de la zona del turión	10
2.6.2	Efecto del diámetro del turión	11

2.6.3	Efecto de la longitud del turión	11
2.7	Efecto de los tratamientos térmicos en la textura de los vegetales	12
<b>3</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODO</b>	<b>13</b>
3.1	Lugar de ejecución	13
3.2	Materia prima	13
3.3	Equipos e instrumentos	13
3.4	Método	15
3.4.1	Caracterización de la materia prima	15
3.4.1.1	Sólidos solubles	15
3.4.1.2	pH	15
3.4.1.3	Acidez titulable	15
3.4.1.4	Humedad	15
3.4.2	Determinación de la firmeza en espárragos	15
3.5	Procedimiento experimental	20
3.5.1	Preparación de las muestras	20
3.5.2	Etapas de escaldado - hidrogenfriado	21
3.5.3	Medición de firmeza	22
3.6	Diseño experimental	22
3.7	Procedimientos estadísticos	23
3.7.1	Análisis de varianza	23
3.7.2	Test de rangos múltiples	23
3.7.3	Obtención de los modelos empíricos	24
3.7.4	Error promedio de estimación	24
<b>4</b>	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>25</b>
4.1	Caracterización físico – química de la materia prima	25
4.1.1	Humedad	25
4.1.2	Acidez titulable	26
4.1.3	pH	26

4.1.4	Sólidos solubles	26
4.2	Evaluación de la firmeza en espárragos verdes frescos	26
4.2.1	Efecto del punto de medición sobre la firmeza	27
4.2.2	Efecto del calibre del turión de espárrago sobre la firmeza	29
4.2.3	Efecto del cultivar en la firmeza	30
4.3	Efecto del tratamiento térmico sobre la firmeza de los espárragos verdes	31
4.3.1	Efecto de la temperatura sobre el cultivar UC - 72	38
4.3.2	Efecto de la temperatura sobre el cultivar UC – 157	38
4.3.3	Efecto del tiempo de escaldado sobre la firmeza de los espárragos	39
4.4	Determinación de modelos para estimar la variación de la firmeza por efecto de los tratamientos	40
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>RESUMEN</b>	<b>49</b>
	<b>SUMMARY</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Condiciones de trabajo del INSTRON para la determinación de firmeza en espárragos	20
2	Diseño experimental utilizado	23
3	Características físico-químicas de los turiones de espárrago	25
4	Valores promedio de firmeza de los espárragos frescos	27
5	Valores experimentales promedio de firmeza (N) para espárragos, cultivar UC-72, sometidos a diferentes tratamientos de escaldado	32
6	Valores experimentales promedio de firmeza (N) para espárragos, cultivar UC-157, sometidos a diferentes tratamientos de escaldado	33
7	Ecuaciones de estimación de firmeza para las condiciones experimentales evaluadas	41
8	Ecuaciones para la estimación de la firmeza (F) en función de las temperaturas (T) y tiempos (t) de procesamiento	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Curvas fuerza – distancia típicas en los alimentos	8
2	Equipo Universal de Pruebas utilizado para medir la resistencia a la perforación en espárragos verdes	16
3	Dispositivo utilizado en el INSTRON para medir la resistencia al corte (Celda Kramer)	17
4	Secciones de medición preliminar de firmeza en el espárrago	18
5	Dispositivo utilizado en las determinaciones de resistencia a la perforación	19
6	Clasificación de turiones de espárrago según su calibre	21
7	Sistema de escaldado (a) e hidrogenfriado (b)	22
8	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos cultivar UC - 72	28
9	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos cultivar UC - 157	28
10	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos, medidos a 100 mm del ápice	29
11	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos, medidos a 135 mm del ápice	30
12	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos, calibre 10 mm	31
13	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos, calibre 13 mm	31
14	Firmeza relativa de espárragos verdes UC – 72 de calibre 10 mm	



	para diferentes tratamientos de escaldado	34
15	Firmeza relativa de espárragos verdes UC – 72 de calibre 13 mm para diferentes tratamientos de escaldado	35
16	Firmeza relativa de espárragos verdes UC – 157 de calibre 10 mm para diferentes tratamientos de escaldado	36
17	Firmeza relativa de espárragos verdes UC – 157 de calibre 13 mm para diferentes tratamientos de escaldado	37
18	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes UC – 72 a 95 °C medidos a 100 y 135 mm del ápice	43
19	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes UC – 157 a 95 °C medidos a 100 y 135 mm del ápice	44
20	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes UC – 72 a 85 °C medidos a 100 y 135 mm del ápice	45
21	Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes UC – 157 a 85 °C, medidos a 100 y 135 mm del ápice	46

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Caracterización química de espárragos verdes	56
2	Perfiles de temperatura del centro térmico de espárragos sometidos al proceso de escaldado (95 °C) e hidrogenfriado (2 °C)	57
3	Análisis de varianza de las características físico-químicas de los espárragos verdes entre los cultivares UC – 72 y UC – 157	58
4	Análisis de varianza para evaluar el efecto de los puntos de medición en la firmeza de espárragos verdes	59
5	Análisis de varianza para evaluar el efecto del calibre en la firmeza de espárragos verdes	60
6	Análisis de varianza para evaluar el efecto del cultivar en la firmeza de espárragos verdes	61
7	Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC – 72, calibre 10 mm, medición a 100 mm del ápice	62
8	Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC – 72, calibre 10 mm, medición a 135 mm del ápice	63
9	Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC – 72, calibre 13 mm, medición a 100 mm del ápice	64

- 10 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC – 72, calibre 13 mm, medición a 135 mm del ápice 65
- 11 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 157, calibre 10 mm, medición a 100 mm del ápice 66
- 12 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 157, calibre 10 mm, medición a 135 mm del ápice 67
- 13 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 157, calibre 13 mm, medición a 100 mm del ápice 68
- 14 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 157, calibre 13 mm, medición a 135 mm del ápice 69
- 15 Análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de escaldado sobre la firmeza de espárragos verdes en cada tratamiento 70
- 16 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 72 de calibre 10 mm y a 100 mm del ápice 71
- 17 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 72 de calibre 10 mm y a 135 mm del ápice 72
- 18 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en

	espárragos verdes UC – 72 de calibre 13 mm y a 100 mm del ápice	73
19	Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 72 de calibre 13 mm y a 135 mm del ápice	74
20	Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 157 de calibre 10 mm y a 100 mm del ápice	75
21	Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 157 de calibre 10 mm y a 135 mm del ápice	76
22	Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 157 de calibre 13 mm y a 100 mm del ápice	77
23	Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 157 de calibre 13 mm y a 135 mm del ápice	78

# 1 INTRODUCCIÓN

El espárrago es un cultivo de importancia comercial tanto para el mercado nacional como de exportación. Su consumo ha ido creciendo así como las exigencias del consumidor en cuanto a su calidad sensorial, especialmente por los espárragos congelados. Anterior al proceso de congelación los espárragos son sometidos a un tratamiento térmico de escaldado, el cual tiene por objetivo detener la actividad enzimática causante del deterioro durante su almacenamiento congelado.

Dentro de las características que influyen en la aceptación por parte del consumidor y que son inevitablemente modificadas por el proceso de escaldado, se incluyen el color, sabor/olor y la textura, siendo ésta última una de las que indicaría en mejor forma un procesamiento adecuado. Un sobretratamiento afectaría en gran medida la textura del producto reflejándose en un ablandamiento del mismo. Por lo tanto, existe un gran interés en implementar procesos térmicos que no influyan grandemente en la pérdida de la característica de textura, y en especial de la firmeza, del producto original.

La determinación de tratamientos adecuados de escaldado se basa en parámetros que deben ser establecidos sobre una base experimental como son la temperatura y tiempo de proceso, los cuales difieren entre vegetales ya sea por tamaño, forma, propiedades termofísicas, características químicas y concentraciones de enzimas. Por esta razón, encontrar las condiciones de proceso apropiadas que satisfagan el objetivo propio del escaldado, conjuntamente con mantener la propiedad principal de textura de los vegetales, como lo es la firmeza, es una materia de gran importancia para los profesionales e investigadores del área.

Para el caso de vegetales la literatura técnica especializada reporta variados equipos, dispositivos y condiciones de trabajo para la determinación de firmeza. Los principios básicos ampliamente usados en los instrumentos son tres: perforación, deformación y extrusión. La industria de los alimentos ha usado ampliamente la prueba de perforación, utilizando innovadores dispositivos y técnicas, para medir la firmeza de varios vegetales frescos y cocidos, concluyendo que esta prueba es un método efectivo para productos individuales. También las pruebas tipo extrusión han reportado resultados satisfactorios cuando se mide la textura de productos en forma grupal.

En base a lo expuesto, la hipótesis que se propone probar es que la temperatura y el tiempo de escaldado afectan significativamente la firmeza de los turiones de espárragos, para lo cual se plantea el siguiente objetivo general:

- Evaluar la variación de la resistencia a la perforación en espárragos verdes sometidos a diversos tratamientos de escaldado.

Además de establecer el objetivo general, se señalan los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la influencia de los cultivares (UC – 72 y UC – 157), calibre y puntos de medición sobre la firmeza de turiones de espárragos.
- Determinar la influencia de la temperatura y tiempo de escaldado sobre la firmeza en turiones de espárragos.
- Determinar modelos que expliquen el efecto de la temperatura y tiempo de tratamiento sobre la firmeza de los turiones de espárragos.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Espárragos

Es una angiosperma y monocotiledónea que pertenece a la familia de las Liláceas y al género *Asparagus* (*Asparagus officinalis* L.), es una planta generalmente de climas templados, cuya temperatura óptima de crecimiento es de 14 – 22 °C. El brote de espárrago puede ser producido como verde o blanco, el espárrago verde es conocido por tener un alto valor nutricional (Ketsa y Uhaiburt, citado por BOVELLI *et al.*, 1988) y el espárrago blanco es conocido por tener un mayor sabor distintivo y mejor calidad del brote (Vilmorin-Andrieux, citado por BOVELLI *et al.*, 1998).

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, 1987a).

El turión de espárrago verde es un tejido vegetal que presenta una alta tasa respiratoria inicial, afectada directamente por la temperatura (LIPTON, 1990), por lo cual presenta una menor vida útil. Esto hace necesario mantener la temperatura de almacenamiento entre 1 – 5 °C, para permitir su conservación en un plazo de 2 a 4 semanas, acompañado de una humedad relativa de 95 % (KRARUP, 1987).

### 2.2 Escaldado

**2.2.1 Origen.** La congelación es usada para mantener la calidad del producto durante largo tiempo de almacenamiento congelado debido a la disminución de la tasa de las reacciones deteriorativas tales como envejecimiento, decaimiento enzimático y químico

y crecimiento microbiano (Labuza, citado por RODRIGUEZ - SAONA *et al.*, 1995). Sin embargo, la congelación no previene el desarrollo de sabores desagradables o el deterioro de color y textura en los vegetales, debido a que los sistemas enzimáticos pueden permanecer activos aún a temperaturas bajo 0 °C (POTTER, 1978). Kohman, citado por WILLIAMS *et al.* (1986), fue el primero en notar que un corto tratamiento térmico podría inactivar las enzimas y estabilizar o proteger a los vegetales congelados del desarrollo de sabores extraños durante largo tiempo de almacenamiento congelado.

**2.2.2 Definición.** El escaldado se define como un tratamiento térmico de corta duración con una posterior etapa de enfriamiento, que pretende la desactivación de enzimas tales como catalasas, peroxidasas y las oxidasas que causan deterioro en los vegetales al inducir cambios de color y generación de malos sabores (PLANK, 1963; CHEFTEL *et al.*, 1983 y POSTOLSKI, 1986). El escaldado es utilizado, previo a la congelación u otro tratamiento de preservación, para inactivar enzimas, reducir la carga microbiana y aumentar la digestibilidad de algunos productos.

**2.2.3 Efectos secundarios.** Los efectos secundarios del escaldado están relacionados con una reducción del contenido microbiano y la fijación del color verde en ciertas hortalizas debido al rompimiento de organelos que contienen clorofila. Por otro lado, un escaldado en medio acuoso implica un lavado adicional de los vegetales. Las ventajas de este tratamiento térmico incluyen la estabilización de la textura (evita cambios causados por enzimas), del color, sabor, calidad nutricional y la destrucción de microorganismos, además favorece la eliminación de gases intracelulares (aire) ocluidos en el producto (FENNEMA, 1993). Los efectos adversos incluyen alguna pérdida de textura y firmeza, color y sabor por el proceso de calentamiento, cierta pérdida de sólidos solubles (especialmente en escaldado acuoso) (MATHEIS, 1990), además de la modificación irreversible de la estructura celular, la solubilización y/o destrucción de algunas vitaminas y nutrientes, y la conversión de la clorofila verde a feofitinas verde-amarillas (Bald y Katsaboxakis, citados por RODRÍGUEZ-SAONA *et al.*, 1995;



HAYAKAWA *et al.*, 1977), principalmente en los tratamientos térmicos de alta temperatura y corto tiempo (Olhagaray citado por JIMÉNEZ, 1993).

### **2.3 Textura**

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.

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 principal propiedad textural de los vegetales es la firmeza y son tres los principios básicos ampliamente usados para medirla, clasificados en un sistema basado sobre el principio físico de la medición de textura de vegetales: perforación, extrusión y deformación. Estas tres principales pruebas son usadas en productos frescos, pero sólo las dos primeras son usadas además en materiales procesados (BOURNE, 1976; 1989).

**2.3.1 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).

**2.3.2 Métodos de análisis de la textura en espárragos.** 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.

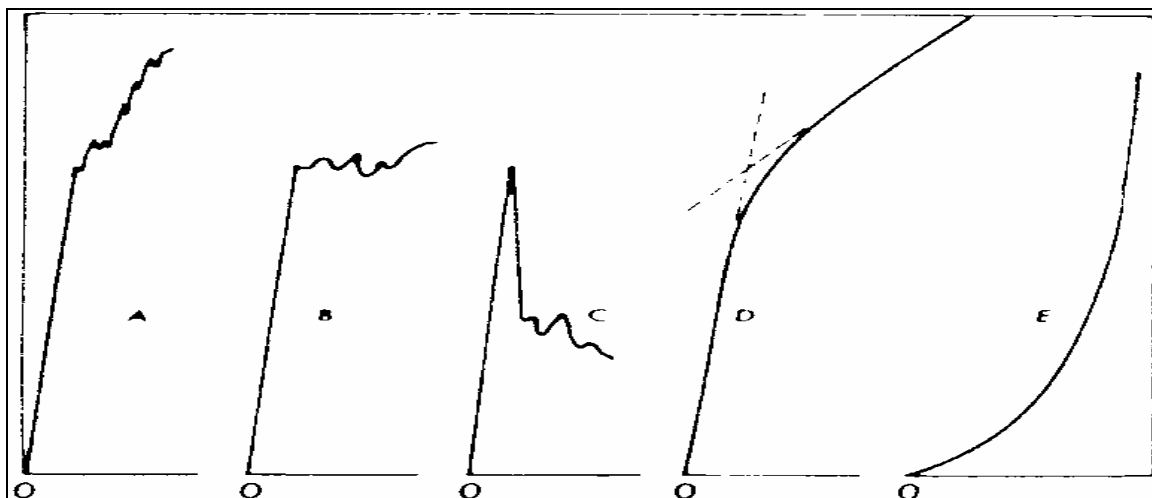
Al seleccionar un dispositivo adecuado de medición se debe considerar que el modo de ruptura del alimento es diverso y complejo y que se ve afectado por las propiedades del producto estudiado y la forma de esos cambios durante la compresión. Además, la ruptura ocurre de una manera progresiva, la que 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).

**2.3.3 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, 1976, 1979, 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 el turgor 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).

**2.3.4 Principios de la prueba de perforación.** Según BOURNE (1979; 1982b), cuando un punzón es montado en un instrumento que dibuja automáticamente una curva fuerza-distancia o fuerza-tiempo, tal como el INSTRON, se obtienen cinco tipos básicos de curvas como las esquematizadas en la FIGURA 1. En las curvas tipo A, B y C, típicas en los vegetales, hay un ascenso inicial rápido en la fuerza sobre la distancia corta de movimiento cuando el dispositivo de presión se mueve encima de la muestra, durante esta etapa la muestra se deforma debido a la presión y no hay perforación del tejido, esta etapa finaliza abruptamente cuando el punzón comienza a penetrar el alimento, tal evento es representado por el cambio repentino en la pendiente, llamado el punto de decaimiento, este punto marca el instante en que el punzón comienza a penetrar el alimento, provocando un flujo o rompimiento irreversible del tejido subyacente y es el punto de mayor interés en las pruebas de perforación. En la tercera fase la dirección de la fuerza cambia después del punto de decaimiento y durante la penetración del punzón en el alimento. En las curvas tipo A (ver FIGURA 1) la fuerza continua aumentando, en las de tipo B la fuerza es aproximadamente constante y en las de tipo C la fuerza decae. Aunque se han realizado estudios para explicar este comportamiento, no se ha encontrado una respuesta tajante al significado sensorial y físico de las diferencias entre estas curvas.



**FIGURA 1** Curvas fuerza – distancia típicas en los alimentos.

FUENTE: BOURNE (1982b).

## 2.4 Factores precosecha que afectan la firmeza de los espárragos

**2.4.1 Fisiología.** Los componentes de la pared celular y la presión de turgor son las dos entidades que provee la textura de los vegetales. Las sustancias y enzimas pécticas están estrechamente relacionadas a la firmeza y suavidad de muchos vegetales y las celulosas y ligninas están asociadas a la dureza y textura leñosa (JEN, 1989).

Desde el punto de vista anatómico, el espárrago está compuesto por epidermis, corteza, periciclo, conglomeración vascular y tejido base. Las fibras del periciclo y de los grupos vasculares son de pared celular delgada y no lignificadas cerca de la punta de los turiones (Bisson et al., Bitting, Brennan, citados por LIPTON, 1990); sin embargo, se vuelven progresivamente más gruesas y más lignificadas hacia la base del turión, por lo tanto, la sección basal de estas fibras es la principal responsable de la rigidez de la porción más baja de los brotes de espárragos (Billau, citado por LIPTON, 1990).

La pared celular de los vegetales mantiene la presión hidrostática a causa de su naturaleza semipermeable, de esta manera permite que pequeñas moléculas la atraviesen

(agua), mientras impide el paso a otras de mayor tamaño como los azúcares (AGUILERA y STANLEY, 1990). Los procesos fisiológicos dentro de la célula permiten absorber agua contra un gradiente de presión osmótica, generando así presión hidrostática, ésta es llamada presión de turgor (BOURNE, 1976).

**2.4.2 Velocidad de crecimiento.** Böttner, citado por LIPTON (1990), basado presumiblemente en experiencias prácticas, establece que la dureza de los turiones es una consecuencia del crecimiento lento, debido a una fertilización desfavorable, clima o suelo helado o a plantas enfermas. Es decir, el crecimiento rápido del espárrago, facilitado principalmente por temperaturas relativamente altas, conlleva a un menor contenido de fibra por unidad de longitud del turión que aquel que se desarrolló a una velocidad de crecimiento lenta. Así, la temperatura durante el crecimiento del espárrago, en longitud y diámetro, afecta la resistencia al corte al menos dentro de algún grupo de cultivares (Billau, Gonzalez-Ramirez, citados por LIPTON, 1990).

## **2.5 Cambios poscosecha que afectan la firmeza de los espárragos**

El cambio físico principal que ocurre en frutas y verduras, después de la cosecha, es la pérdida de humedad por la respiración y transpiración que resultan en la pérdida de turgor. También ocurren cambios fisiológicos en los vegetales puesto que aún están vivos los tejidos y las células continúan el proceso de crecimiento, lo que afecta la textura (BOURNE, 1976).

**2.5.1 Factores internos.** Como el espárrago envejece después de la cosecha, la lignificación de las fibras del periciclo progresa a lo largo del turión, haciendo las porciones de fibra aún más firmes, quedando ternura sólo a unos pocos centímetros de la punta del espárrago. La lignificación del conglomerado vascular también contribuye a la firmeza del espárrago, pero menos que las fibras del periciclo (Billau, citado por LIPTON, 1990). Además del aspecto anatómico mencionado anteriormente, se presenta el punto de vista bioquímico, sobre el cual LIPTON (1990) sostiene que varios autores sugieren que al cosechar el espárrago se acrecienta la producción de etileno como

reacción al corte del tallo y de esta forma se promueve la lignificación, proceso que se vuelve más activo en la zona basal de los turiones. Esto es debido a que el etileno favorece la actividad de la fenilalanina amoniolasa (FAL), enzima de apoyo en la síntesis de lignina (Chang, Hsiao *et al.*, Goldstein, Chen *et al.*, citados por LIPTON, 1990). Además, como los espárragos tienen una alta tasa de respiración, ocurre un cambio sustancial en la textura dentro de unos pocos días, volviéndose más fibroso a medida que la lignificación de las células ocurre (BOURNE, 1976).

**2.5.2 Factores ambientales.** El examen detallado de la lignificación de los tubos traqueales de los espárragos, realizado por Bisson *et al.*, citado por LIPTON (1990), claramente establece que este proceso es fuertemente dependiente de la temperatura y que la lignificación se vuelve más prominente a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento; además, demostraron que el proceso de lignificación es mucho más lento en la zona apical que en la zona medial o basal de los turiones, independiente de la temperatura de almacenamiento, y que la velocidad de lignificación permaneció claramente constante entre las temperaturas de almacenamiento de 0 a 13 °C en todas las zonas del turión, pero aumentó con temperaturas mayores, especialmente en la zona media y basal.

Por otro lado, niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) más altos de lo normal tienden a retardar el endurecimiento de los espárragos y a nivelar la ternura de ellos, no obstante, en relación con el último término, no existe una desaparición de las fibras existentes. En contraste, niveles subnormales de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) parecen no tener efecto en el desarrollo de las fibras (Brennan, Loughheed y Dewey, citados por LIPTON, 1990).

## **2.6 Efectos intrínsecos del espárrago sobre la firmeza**

**2.6.1 Efecto de la zona del turión.** Todos los estudios enfocados al contenido de fibra y a la firmeza del espárrago afirman que estos parámetros aumentan desde la zona basal

hacia el ápice (Clare *et al.*, Culpepper y Moon, González-Ramírez, Kaufmann, Scott *et al.*, Sharma y Wolfe, Shewfelt y Mohr, Sosa-Coronel *et al.*, citados por LIPTON, 1990).

**2.6.2 Efecto del diámetro del turión.** Los turiones delgados tienen mayor porcentaje de fibra que los turiones gruesos, según determinaciones por el método de maceración. Esta conclusión es aplicable a turiones con diámetros entre 4.5 mm y 19 mm (González-Ramírez, Segerlind y Herner, citados por LIPTON, 1990). Billau, citado por LIPTON (1990), no sólo aportó evidencias reológicas, sino que también anatómicas para que sean más deseados los turiones gruesos que los delgados. El grosor y número de capas de células en el periciclo son casi los mismos en turiones con un diámetro entre 16 y 23 mm (cortados a 110 mm del ápice), además el número de elementos de xilema es casi igual en ambos tamaños de turiones; de este modo, la proporción de tejido potencialmente firme es más grande en turiones delgados. Los resultados anteriores están en contradicción por aquellos que encontraron que se requiere una mayor fuerza para cortar o penetrar turiones gruesos que delgados (Kaufmann, Kieseewetter y Hellebrand, Kramer *et al.*, citados por LIPTON, 1990), sin embargo, cuando estos resultados son calculados sobre una base relativa (fuerza/diámetro), éstos corresponden a aquellos basados en el contenido de fibra. Aparentemente el diámetro por sí solo es una variable, debido a que los turiones gruesos presentan una mayor zona de contacto para los instrumentos reológicos que los turiones delgados y, por lo tanto, ofrecen mayor resistencia. De este modo, el contenido de fibra más que la resistencia al corte parece ser más apropiado como una base de comparación del desarrollo de fibras en turiones de varios diámetros.

**2.6.3 Efecto de la longitud del turión.** A medida que la longitud de los turiones aumenta, la longitud de las porciones firmes y tiernas tiende a aumentar también (González-Ramírez, Segerlind y Herner, citados por LIPTON, 1990). Los turiones largos tienen una alta proporción de tejido con alto contenido de fibra, por lo tanto, el porcentaje de contenido de fibra de turiones enteros aumenta a medida que crece el turión. Este resultado es ejemplificado por los datos de Shewfelt y Mohr, citados por LIPTON (1990), quienes informaron que el contenido de fibra para turiones con

longitudes de 50 a 100 mm, 130 a 180 mm y 200 a 250 mm, fue de 0.02, 0.12 y 0.26% respectivamente. Los resultados de Billau, citado por LIPTON (1990), indican que cerca de la base, donde el contenido de fibra es alto, la influencia de la longitud del turión sobre la resistencia al corte es directa, en cambio, cerca del ápice, donde ocurre la elongación, la relación es inversa (LIPTON, 1990).

### **2.7 Efecto de los tratamientos térmicos en la textura de los vegetales**

La aplicación de calor sobre los vegetales destruye las células, provocando que los procesos fisiológicos se detengan. De especial importancia es la pérdida de turgor, ya que no hay forma de preservar esta propiedad deseable de textura en los productos procesados (BOURNE, 1976). El turgor es perdido cuando los vegetales son privados de agua o cuando cesan de respirar (RAHMAN *et al.*, 1971). Tratamientos, tales como el escaldado, destruyen los mecanismos de transporte de agua con el resultado de la pérdida de turgor (AGUILERA y STANLEY, 1990).

El escaldado, por efecto de la temperatura, produce la separación y rompimiento celular en vegetales, perdiéndose la textura y firmeza natural del vegetal. El calor puede causar la rotura de las sustancias pécticas que componen el cemento intercelular, lo que implicaría la separación celular con la inminente pérdida de firmeza (SÁNCHEZ y FUSTER, 1986).



## 3 MATERIAL Y MÉTODO

### 3.1 Lugar de ejecución

El trabajo experimental de este trabajo se realizó en los Laboratorios de Procesamiento de Alimentos y de Química del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL) de la Universidad Austral de Chile.

### 3.2 Materia prima

Para la realización de las pruebas experimentales se utilizaron espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L.) de los cultivares UC – 72 y UC – 157 provenientes de Espárragos Valdivia S.A. (Lanco) y de la Estación Agrícola Experimental Santa Rosa de la Universidad Austral de Chile, respectivamente.

Una vez recepcionados los turiones, éstos fueron seleccionados y clasificados según su calibre (medido a 10 cm del ápice) y fueron almacenados a temperaturas de refrigeración ( $\pm 5$  °C). Para los ensayos se utilizaron turiones de calibres  $10 \pm 0,5$  mm y  $13 \pm 0,5$  mm., los cuales corresponden a los que comúnmente son utilizados por la industria de espárragos congelados.

### 3.3 Equipos e instrumentos

- Determinación de humedad:
  - Estufa a 55 °C; GALLENKAMP H-150, Inglaterra.
  - Estufa con bomba de vacío, LAB-LINE Squaroid DUO-VAC OVEN.
  - Balanza analítica digital; CHYO, JK-200, precisión 0,1 mg, Japón.
  - Cápsulas de aluminio, 100 cm<sup>3</sup> aproximados.

- Determinación de pH y acidez titulable:
  - pH-metro, COLE PARMER DIGIPHASE TYPE PHM26, Dinamarca.
  - Papel filtro WATMAN N° 4, Inglaterra.
  - Pipetas de 5 ml; AMBERSTAM, Alemania.
  - Termómetros de mercurio; DBGM, Alemania.
  - NaOH 0,1 N.
  - Extractor de jugo SOMELA T-338, China.
  
- Determinación de sólidos solubles:
  - Refractómetro Digital Palette Series; ATAGO CO LTD PR – 101 Japón
  - Tela fina (muselina)
  
- Determinación de firmeza:
  - Instrumento universal de pruebas INSTRON, modelo 1011.
  - Vástago de perforación agudo de acero inoxidable de 3 mm de diámetro.
  - Celda Kramer.
  
- Escaldado de muestras:
  - Baño de agua termoregurable, GCA/PRECISION SCIENTIFIC con termostato y termómetro digitales, serie EC 50 programable.
  - Baño de agua fría, SHELDON MFG INCV WR 1285PC, U.S.A.
  - Registrador de temperatura DIGI-SENSE modelo N° 92800-15 de 12 canales.
  - Software “PCDAC12-Analysis and Control for Temperature and Time Logger”
  - Computador EPSON PC/TX, modelo 80c85, America Inc. Korea.
  - Cronómetro digital, CASIO 705, Japón.
  - Termocuplas rígidas tipo T, cobre-constantan.
  - Termocuplas flexibles tipo T, cobre-constantan, calibre 24, recubiertas de teflón.
  - Termómetros patrones de calibración y convencionales de medición; DBGM, Alemania

### **3.4 Método**

**3.4.1 Caracterización de la materia prima.** Previo a la determinación de firmeza, la materia prima fue caracterizada mediante análisis de Sólidos Solubles, pH, Acidez Titulable y Humedad. Los resultados de estas caracterizaciones se presentan en el ANEXO 1.

**3.4.1.1 Sólidos solubles.** Para esta determinación se utilizó un refractómetro digital marca ATAGO. Para tal efecto se obtuvo extractos de jugo filtrado de muestras representativas de turiones para cada lote recolectado. Los resultados fueron reportados en °Brix (% sólidos solubles).

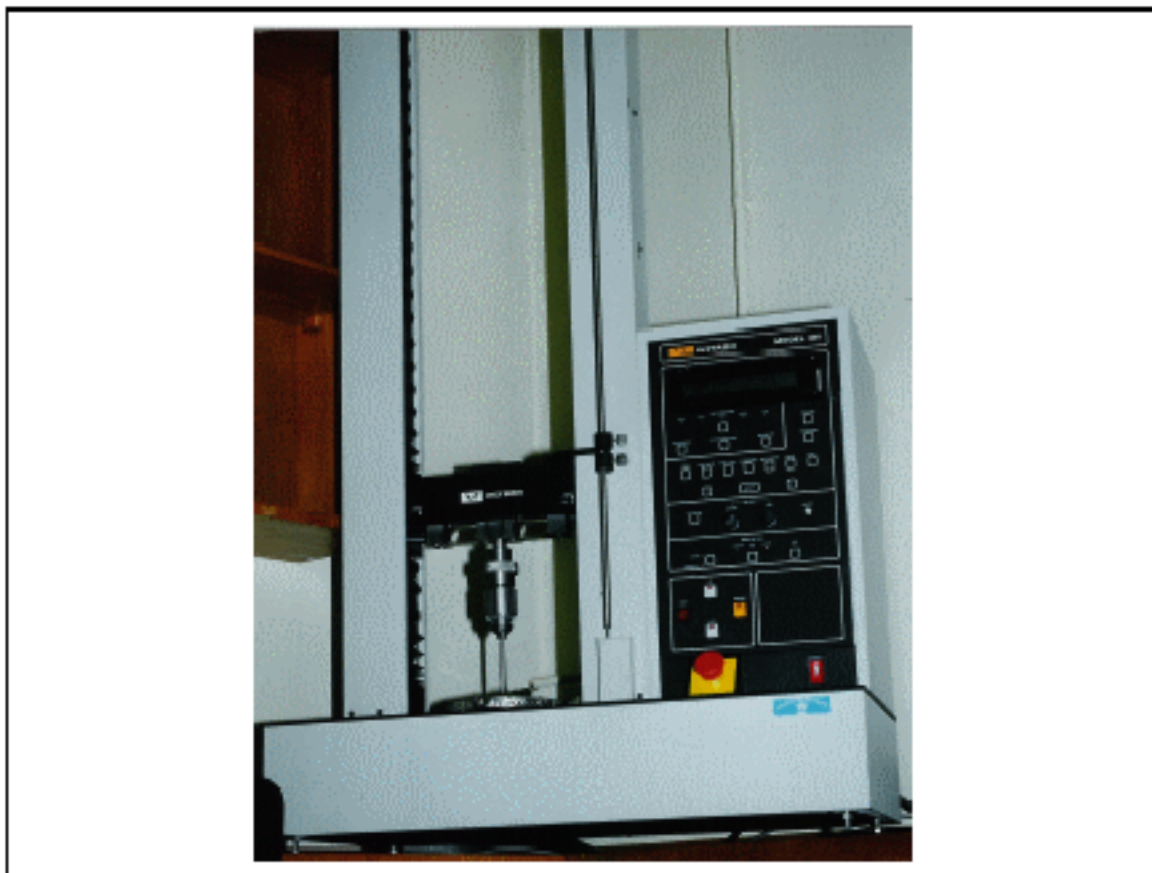
**3.4.1.2 pH.** Este parámetro se determinó utilizando un potenciómetro de electrodos, calibrado a 25 °C. El electrodo del instrumento fue sumergido en el jugo filtrado obtenido para tales fines.

**3.4.1.3 Acidez titulable.** Se determinó la acidez como porcentaje de ácido cítrico anhidro presente en el jugo. Para ello se tomó 5 ml de jugo de espárrago, que fueron diluidos a 200 ml con agua destilada. Una alícuota de 25 ml con indicador de fenoftaleína (1%) fue titulada con NaOH 0,1 N hasta pH 8.2 – 8.4 (viraje de fenoftaleína). Debido a que los extractos eran coloreados, la titulación se realizó introduciendo el electrodo del potenciómetro en la solución.

**3.4.1.4 Humedad.** La humedad de los espárragos se determinó mediante el método de ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, A.O.A.C. (1995).

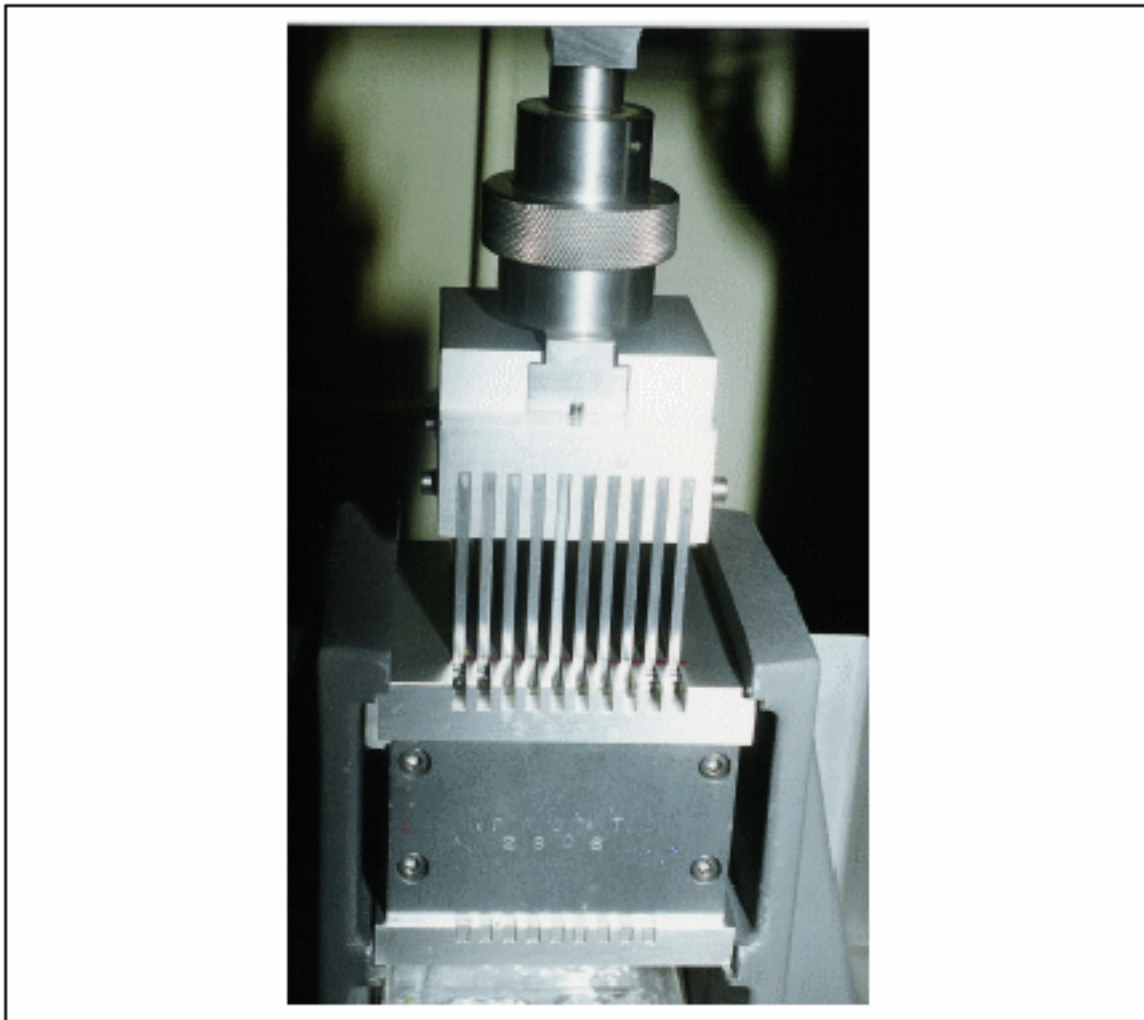
**3.4.2 Determinación de la firmeza en espárragos.** Para el caso de vegetales y frutas frescas la literatura técnica especializada reporta variados dispositivos y condiciones de trabajo para la determinación de firmeza; sin embargo, no reporta un método aceptado específico para medir la firmeza de los espárragos. Debido a lo anterior fue necesario

realizar pruebas preliminares para encontrar un dispositivo apropiado para el Universal Testing Machine INSTRON 1011 (ver FIGURA 2), disponible en el ICYTAL, que permita medir la FIRMEZA de los turiones frescos y procesados.



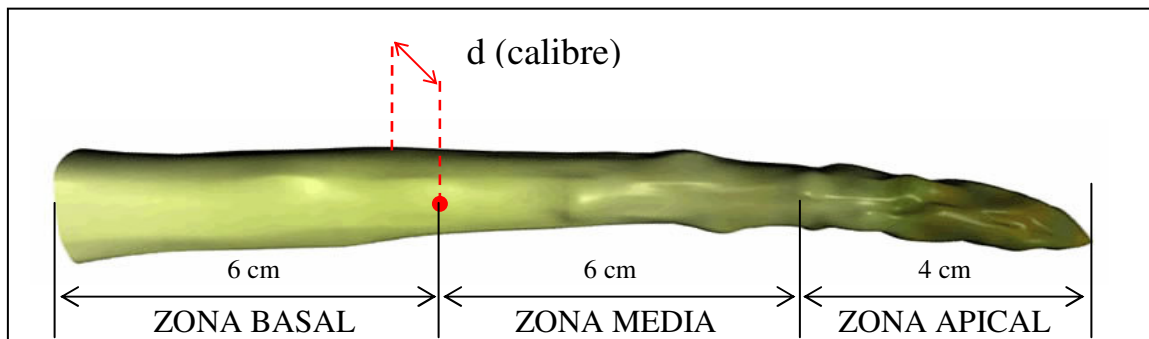
**FIGURA 2** Equipo Universal de Pruebas utilizado para medir la resistencia a la perforación en espárragos verdes.

En un comienzo se midió la firmeza del espárrago en tres secciones del turión utilizando la celda Kramer (ver FIGURA 3). Las dimensiones de cada una de las secciones se muestran en la FIGURA 4. Las mediciones se realizaron por separado para cada sección en triplicado ubicándose en su interior 5 unidades para obtener una medición de resistencia al corte o fuerza de cizalla. Para realizar estos análisis se seleccionaron muestras de peso similar tanto para formar un grupo de medición como para las repeticiones.



**FIGURA 3** Dispositivo utilizado en el INSTRON para medir la resistencia al corte (Celda Kramer).

Se determinó la firmeza, definido como fuerza de cizalla, de cada sección tanto para espárragos sin procesar como para espárragos escaldados por 7 minutos a 95 °C. Aunque los resultados obtenidos fueron bastante confiables, este método tuvo que ser desechado, dado que el volumen de muestras demandado para cada análisis era elevado. El suministro de materia prima no era uniforme para seleccionar y contar con el número apropiado de espárragos para todas las experiencias requeridas y de acuerdo a las dimensiones definidas.



**FIGURA 4 Secciones de medición preliminar de firmeza en el espárrago.**

El siguiente método consistió en determinar la firmeza de los espárragos a 100 y 135 mm desde el ápice, utilizando para ello vástagos de acero inoxidable de distintos diámetros (1.5, 3, 7 y 10 mm) sobre turiones sin tratamiento térmico y otros escaldados a 95 °C por 7 y 10 minutos. La razón para seleccionar los puntos de medición estuvo basada en el requerimiento de relacionar la firmeza con el calibre del turión (a 100 mm desde el ápice) y con el punto más frío (a 135 mm desde el ápice) de un turión de 16 cm de longitud durante el escaldado. El punto más frío es definido como aquel dónde el perfil de temperaturas denotaría un calentamiento más lento y por ende el último en alcanzar la temperatura final de proceso ZÚÑIGA (2000).

Los resultados obtenidos con los distintos vástagos utilizando una velocidad de 100 mm/minuto y una fuerza constante de 50 Newton indicaron lo siguiente: a) con el de 10 mm se producía un rompimiento general del turión crudo y un aplastamiento tipo extrusión con el turión procesado; b) con el de 7 mm se producía un rompimiento similar pero de menor grado para el crudo y para el procesado se producía una perforación del turión; c) con el de 3 mm se producía una perforación adecuada tanto para del turión crudo como procesado; d) con el de 1,5 mm se producía una perforación adecuada del turión crudo, sin embargo para el caso del turión procesado no se detectaba fácilmente la resistencia máxima a la perforación.

De acuerdo a las características de resistencia a la perforación se seleccionó el vástago de 3 mm de diámetro como dispositivo para los ensayos definitivos, presentado en la FIGURA 5.



**FIGURA 5** Dispositivo utilizado en las determinaciones de resistencia a la perforación.

En general, el método de medición de firmeza definido como la resistencia a la perforación presentó resultados más confiables y razonables que el que medía la fuerza de cizalla utilizando la celda Kramer. Además, presentó la ventaja de requerir una cantidad de materia prima más factible de conseguir bajo condiciones controladas de cultivo.

Una vez definido el método, se procedió a ajustar las condiciones de trabajo más apropiadas del INSTRON para los ensayos definitivos, las que se detallan en el CUADRO 1.

**CUADRO 1 Condiciones de trabajo del INSTRON para la determinación de firmeza en espárragos.**

CONDICIONES	ESPECIFICACIONES
Dispositivo perforador	Vástago de punta cónica de 3 mm de diámetro
Transmisor Máximo de fuerza	50 Newton
Amplitud de carga	100 %
Velocidad de perforación	100 mm/minuto
Valor registrado	Fuerza máxima

Es importante destacar que las determinaciones realizadas a los turiones procesados a 95 °C por 10 minutos fueron descartadas, puesto que el instrumento de medición no tuvo la sensibilidad adecuada para registrar los valores de firmeza al perforar los espárragos en las condiciones de estudio definidas.

### **3.5 Procedimiento experimental**

**3.5.1 Preparación de las muestras.** Luego de la recepción de los espárragos, se procedió a separarlos de acuerdo a los calibres de trabajo de ambos cultivares (ver FIGURA 6), realizándose además una selección de los turiones más homogéneos en forma y frescura, desechándose aquellos que tuviesen la zona basal blanca o presentasen algún defecto como curvaturas o picaduras. Una vez calibrados los espárragos, estos fueron cortados a una distancia de 180 mm del ápice y posteriormente fueron almacenados bajo refrigeración ( $\pm 5$  °C) y 95% de humedad relativa hasta el momento de su estudio. Los turiones de espárragos fueron procesados dentro de las 24 horas posteriores al momento de su recepción, con la finalidad de evitar mayores cambios físicos y fisiológicos en el vegetal. Antes de ser escaldadas las muestras, éstas fueron

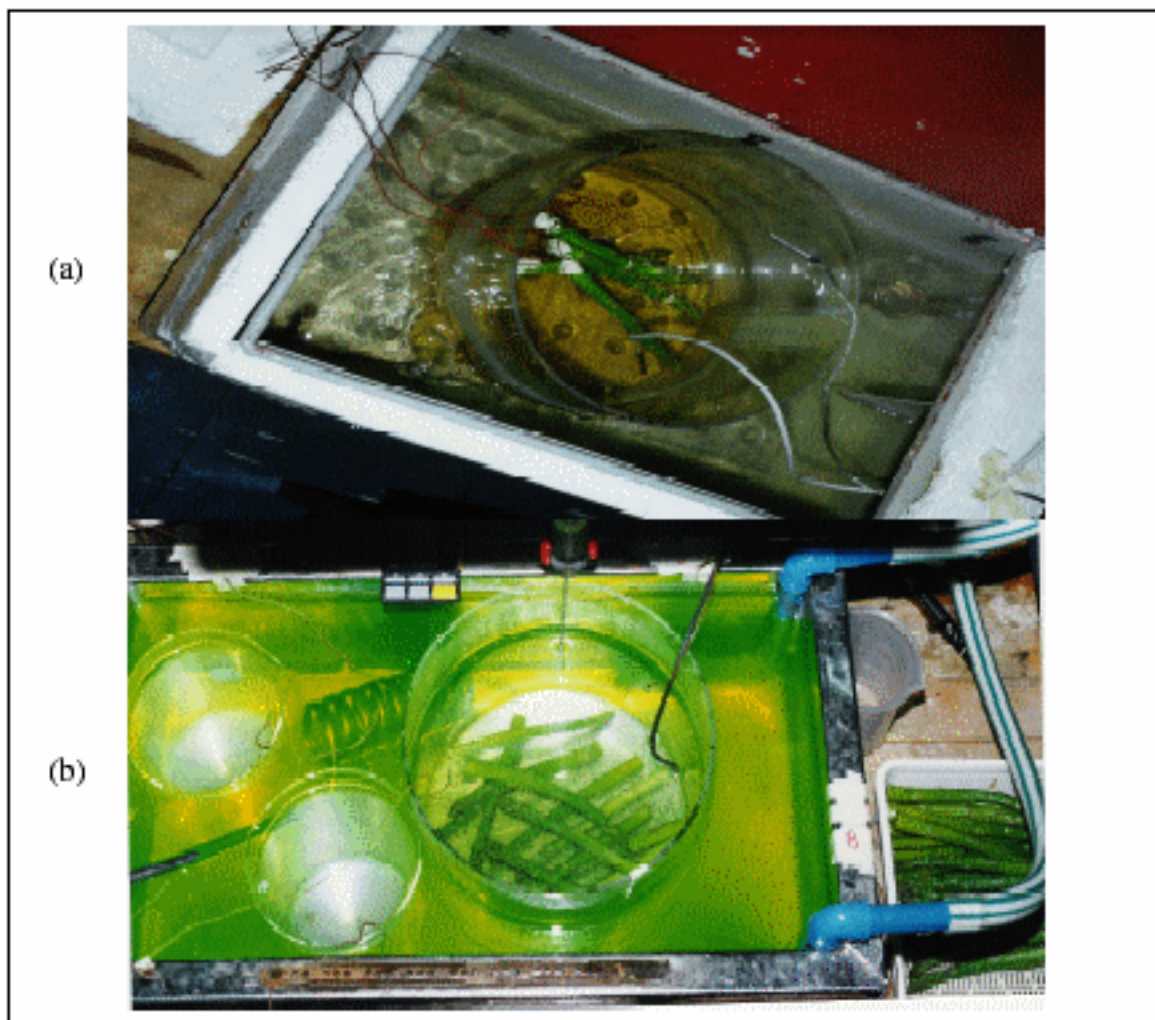


cortadas a una distancia de 160 mm del ápice y pesadas, para finalmente formar grupos con espárragos de pesos similares.



**FIGURA 6** Clasificación de turiones de espárrago según su calibre.

**3.5.2 Etapa de Escaldado – Hidroenfriado.** En esta etapa se utilizó termocuplas rígidas y flexibles, las que fueron previamente calibradas según el método descrito por Nicholas y White, citado por ZÚÑIGA (2000), para verificar que las muestras sean escaldadas a la temperatura deseada. Los turiones se sometieron a escaldado en baños térmicos a diferentes temperaturas del medio (55, 65, 75, 85 y 95 °C) por un tiempo determinado (1, 3, 5 y 7 minutos) y a algunos de ellos se les insertó una termocupla a 135 mm del ápice con la finalidad de verificar un escaldado bajo condiciones de calentamiento uniforme (simetría térmica). Los perfiles tiempo-temperatura registrados por las termocuplas son presentados en el ANEXO 2. Posterior al tratamiento térmico, las muestras pasaron inmediatamente a un baño de hidroenfriamiento a 2 °C por un tiempo constante (5 minutos), para evitar un sobre tratamiento térmico por efecto de la inercia térmica (ver FIGURA 7).



**FIGURA 7** Sistema de escaldado (a) e hidrogenfriado (b).

**3.5.3 Medición de firmeza.** A cada uno de los espárragos frescos y procesados de los cultivares UC – 72 y UC – 157, bajo los diferentes tratamientos térmicos, se le determinó la fuerza máxima requerida de perforación (N) en los dos puntos ya descritos anteriormente y para ambos calibres.

### **3.6 Diseño experimental**

El diseño experimental que describe los tratamientos aplicados y los tipos de muestras necesarias para obtener los datos de firmeza de los turiones de espárragos verdes en cuestión, se presentan en el CUADRO 2.

**CUADRO 2 Diseño experimental utilizado.**

Cultivar	Punto de medición (mm)	Calibre (mm)	Temperatura del medio (°C)	Tiempo de proceso (minutos)	Número de repeticiones	Número de experiencias/ mediciones de firmeza
UC-72	100	10 ± 0,5	55	0	10	1000 / 2000
UC-157	135	13 ± 0,5	65	1		
			75	3		
			85	5		
			95	7		

### 3.7 Procedimientos estadísticos

Con la finalidad de evaluar los resultados obtenidos en la investigación, se utilizaron los Software *Statgraphics Plus* versión 5,1 y Microsoft Excel versión 7,0.

**3.7.1 Análisis de varianza.** Con la finalidad de determinar la variabilidad de la materia prima utilizada en el presente trabajo se realizaron análisis de varianza sobre los resultados del contenido de humedad, sólidos solubles, pH, acidez titulable y firmeza de los turiones en estado fresco.

También se utilizó este análisis para evaluar la firmeza entre los cultivares, calibres y puntos de medición de los turiones, así como para establecer el efecto del tiempo y de la temperatura de escaldado sobre la firmeza de los espárragos.

**3.7.2 Test de rangos múltiples.** Este análisis se requirió cuando se encontró diferencias en los parámetros evaluados, para identificar cual o cuales de los parámetros fueron estadísticamente diferentes de los otros.

**3.7.3 Obtención de los modelos empíricos.** En términos prácticos sería de suma utilidad la estimación de la variación de la firmeza en función de las variables de proceso involucradas en el tratamiento de escaldado. Así, para cada cultivar, calibre y punto de medición se evaluaron ecuaciones para estimar la pérdida de firmeza de los turiones de espárragos en función del tiempo y temperatura de proceso.

$$F = f(t), \text{ para cada temperatura de proceso, } T.$$

ó

$$F = f(T, t)$$

Después de una evaluación de diferentes modelos de regresión se observó que los modelos multivariantes lineales explicaban satisfactoriamente y en forma funcional el grado de dependencia de la firmeza en función de las variables temperatura y tiempo. El análisis multivariable de regresión múltiple fue realizado de acuerdo a HAIR *et al.* (1999) utilizando StatGraphics Plus 5.1 (Statistical Graphics, Englewood Cliffs, NJ USA).

**3.7.4 Error promedio de estimación.** La bondad de ajuste de los valores estimados o predichos, mediante las ecuaciones obtenidas del análisis de regresión, en comparación con los datos experimentales fue evaluada mediante el error promedio de estimación en porcentaje ( $\% \bar{e}$ ).

$$\bar{e} (\%) = \sum_i^n \left( \frac{Fe_i - F_i}{F_i} \right) \times 100 / n$$

Donde:

$n$  = número de puntos experimentales

$F_i$  = valor del parámetro experimental

$Fe_i$  = valor del parámetro estimado

## 4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Caracterización físico-química de la materia prima

Con la finalidad de caracterizar la materia prima utilizada en el presente estudio, se determinaron la humedad, los sólidos solubles, el pH y la acidez titulable de los espárragos verdes. En el CUADRO 3 se presenta el promedio de 54 determinaciones para cada cultivar con su desviación estándar correspondiente a 18 muestras realizadas en triplicado durante el periodo de ejecución experimental. En el ANEXO 3 se presentan los análisis estadísticos respectivos.

**CUADRO 3 Características físico-químicas de los turiones de espárrago. \***

Cultivar	Humedad (kg agua/100 kg prod.)	Acidez Titulable (% ác. cítrico anhidro)	pH	Sólidos Solubles (°Brix)
UC-72	93,61 ± 0,14	0,102 ± 0,017	6,02 ± 0,06	5,31 ± 0,25
UC-157	93,58 ± 0,18	0,093 ± 0,012	5,95 ± 0,13	5,38 ± 0,31

\* Promedios de dieciocho muestras en triplicado totalizando 54 mediciones.

**4.1.1 Humedad.** Los porcentajes de humedad obtenidos fueron similares a los reportados por LARRAZÁBAL (2000), quien encontró valores de 90,46 – 93,45 % y 90,43 – 93,15 % para los cultivares UC-72 y UC-157, respectivamente; y levemente cercanos al valor promedio de 92% señalado por KRARUP (1998). Según el análisis

estadístico no hubo diferencia significativa entre los valores de humedad de los turiones durante el tiempo de ejecución del trabajo experimental para ambos cultivares.

**4.1.2 Acidez titulable.** El porcentaje de ácido cítrico anhidro fue de 0,102 % para el cultivar UC – 72 y 0,093 % para el cultivar UC – 157, valores superiores a 0,006 % informado por NUÑEZ *et al.* (1998) y similares a los informados por CHANDÍA (2000) de 0,09 – 0,12 % y LARRAZÁBAL (2000) de 0,08 – 0,1 % para UC – 72 y 0,099 – 0,104 % para UC – 157. No se observaron entre los cultivares diferencias significativas en relación con este parámetro.

**4.1.3 pH.** El valor promedio del pH del cultivar UC-72 fue de 6,02 y del cultivar UC-157 fue de 5,95; estos valores son cercanos a los reportados por LARRAZÁBAL (2000), 6,0 y 5,95 para UC-72 y UC-157, respectivamente. Asimismo, son levemente inferiores al valor de 6,28 reportado por KRARUP (1987). Estadísticamente no se encontró diferencias entre los cultivares.

**4.1.4 Sólidos solubles.** Ambos cultivares presentaron un contenido de sólidos solubles similares, siendo 5,31 y 5,38 °Brix para el cultivar UC – 72 y UC – 157, respectivamente. Estos valores resultaron ser bastante similares a los reportados por LARRAZABAL (2000), quien encontró valores de 5,1 y 5,6 °Brix para el ápice y el tallo del cultivar UC-72, respectivamente; y de 5,3 °Brix para el ápice y tallo del cultivar UC-157.

## **4.2 Evaluación de la firmeza en espárragos verdes frescos**

La materia prima sin procesar fue caracterizada de acuerdo al parámetro de estudio del presente trabajo, evaluándose las posibles diferencias de la firmeza entre los puntos de medición de los turiones, entre los calibres y entre los cultivares. Los valores promedio de firmeza de los espárragos frescos se presentan en el CUADRO 4.

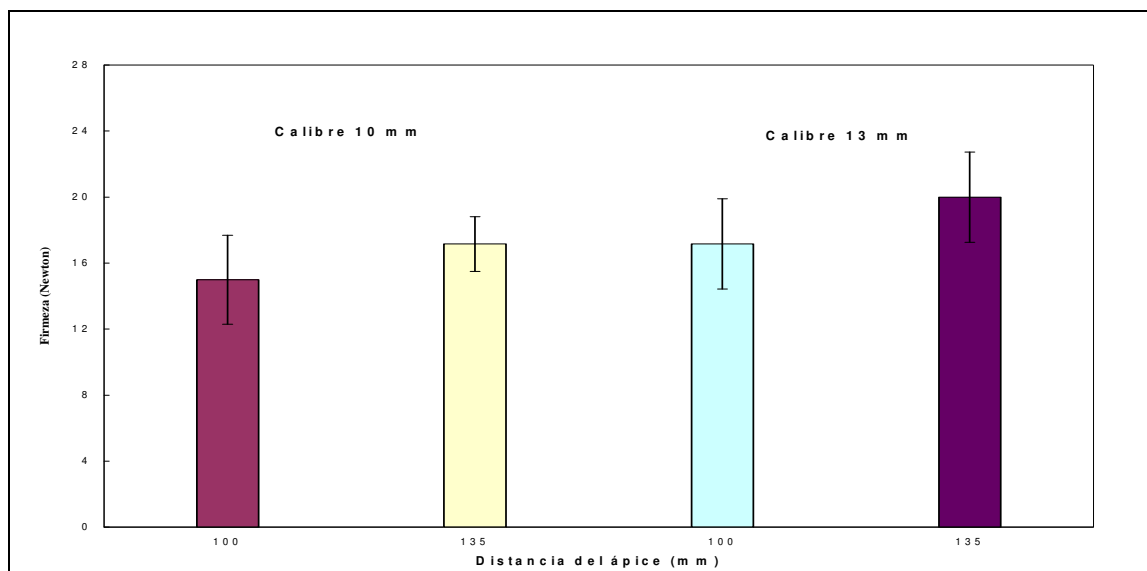
**CUADRO 4 Valores promedio de firmeza de los espárragos frescos.**

CULTIVAR	CALIBRE (mm)	PUNTO DE MEDICIÓN	FIRMEZA (N)
UC – 72	10	A 100 mm del ápice	14,99 ± 1,20
		A 135 mm del ápice	17,15 ± 2,70
	13	A 100 mm del ápice	17,17 ± 1,66
		A 135 mm del ápice	19,99 ± 2,73
UC – 157	10	A 100 mm del ápice	14,92 ± 1,30
		A 135 mm del ápice	17,28 ± 1,63
	13	A 100 mm del ápice	16,67 ± 1,23
		A 135 mm del ápice	20,12 ± 3,19

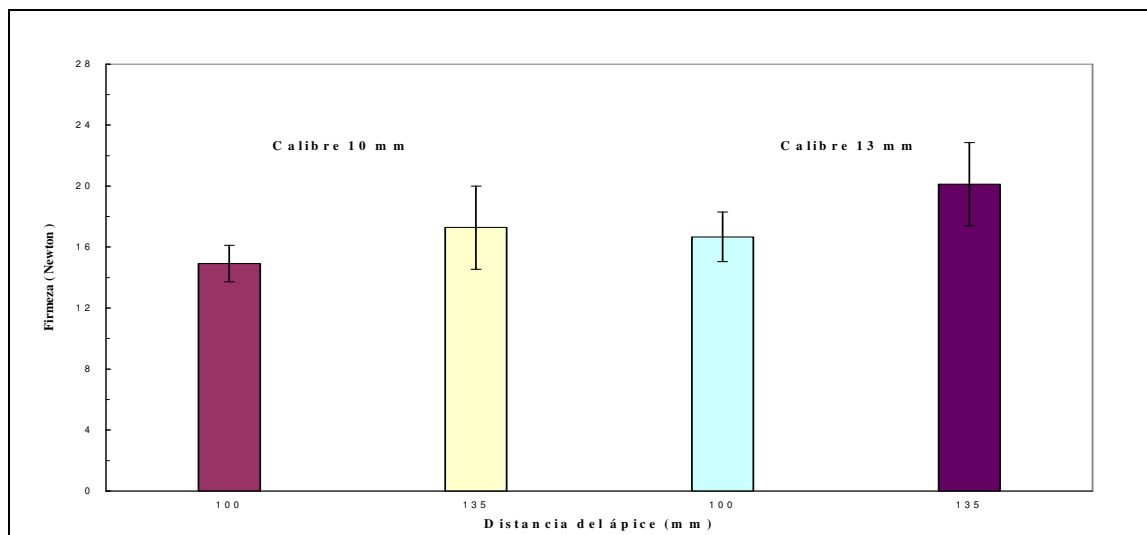
**4.2.1 Efecto del punto de medición sobre la firmeza.** Al evaluar el efecto de los puntos de medición sobre la firmeza de los espárragos (CUADRO 4), se observa que se requirió una mayor fuerza de perforación en el punto más lejano del ápice o cerca de la base (135 mm), lo cual coincide con la zona de mayor diámetro del turión. Esta situación fue válida para los dos calibres evaluados y para ambos cultivares. Es decir, la firmeza aumentaría desde el ápice hacia la base del espárrago, independientemente del calibre o del cultivar, lo que se corrobora al determinar estadísticamente que existe diferencia entre los puntos de medición evaluados (ver ANEXO 4).

Lo anterior se explicaría en el mayor contenido de fibra de la zona basal, mismo que va disminuyendo hacia el ápice del espárrago, por lo que la fuerza necesaria para perforar la base del espárrago es mayor que la necesaria para perforar cualquier otra zona más cercana al ápice. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado en la literatura, en donde muchos autores concuerdan en que la firmeza del espárrago es mayor en la zona basal y decrece hacia la zona del ápice (Clare et al., Culpepper y Moon, Kaufmann, Scott et al., Sharma y Wolfe, Shewfelt y Mohr, Sosa-Coronel et al., citados por

LIPTON, 1990). En las FIGURAS 8 y 9 se presentan los gráficos que muestran el efecto del punto de medición en la firmeza de espárragos verdes.



**FIGURA 8** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos cultivar UC-72.

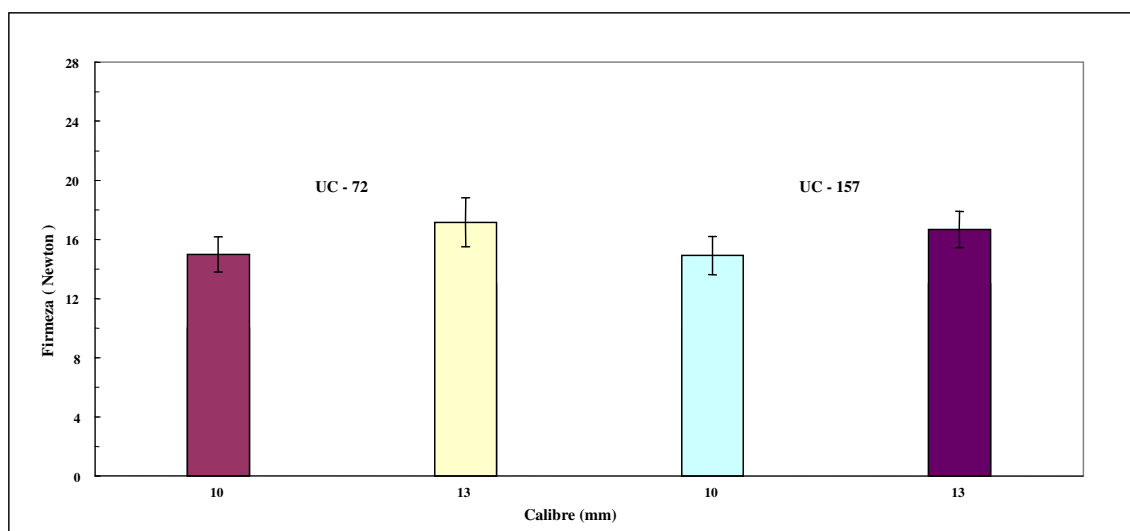


**FIGURA 9** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos cultivar UC-157.

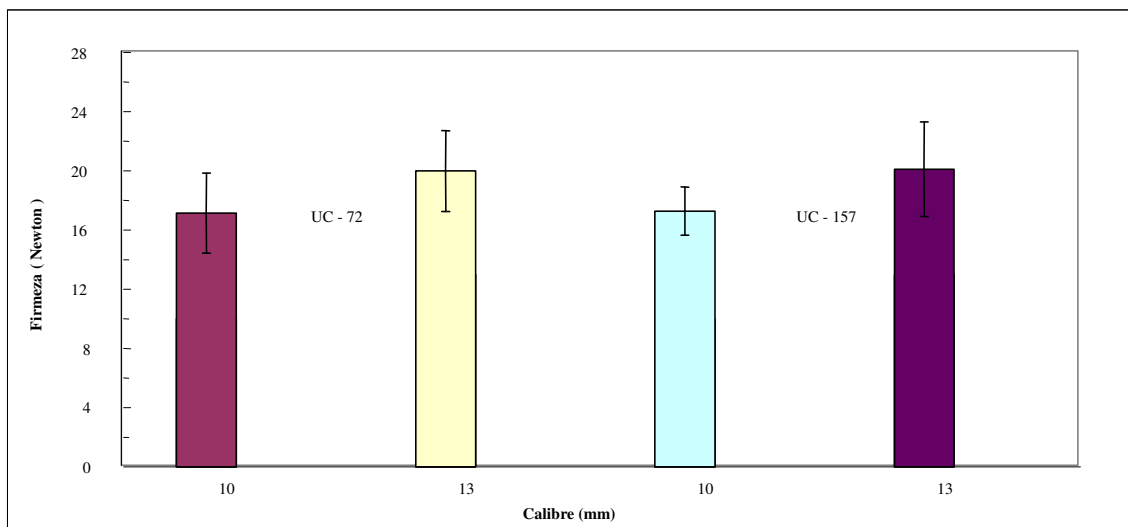


**4.2.2 Efecto del calibre del turión de espárrago sobre la firmeza.** En base al CUADRO 4, se observa que se requirió mayor fuerza de perforación para los turiones de mayor calibre, indistintamente del punto de medición. Lo anterior se verifica al realizar un análisis de varianza, el que indica que existen diferencias ente los valores de firmeza para los calibres estudiados (ver ANEXO 5).

Lo anterior coincide con lo determinado por otros autores, quienes encontraron que se requiere una mayor fuerza para cortar o penetrar turiones de espárragos en la medida que el calibre es más grande (Kaufmann, Kiesewtter y Hellebrnd, Kramer et al., citados por LIPTON, 1990). En las FIGURAS 10 y 11 se presentan los gráficos que muestran el efecto del calibre en la firmeza de espárragos verdes.

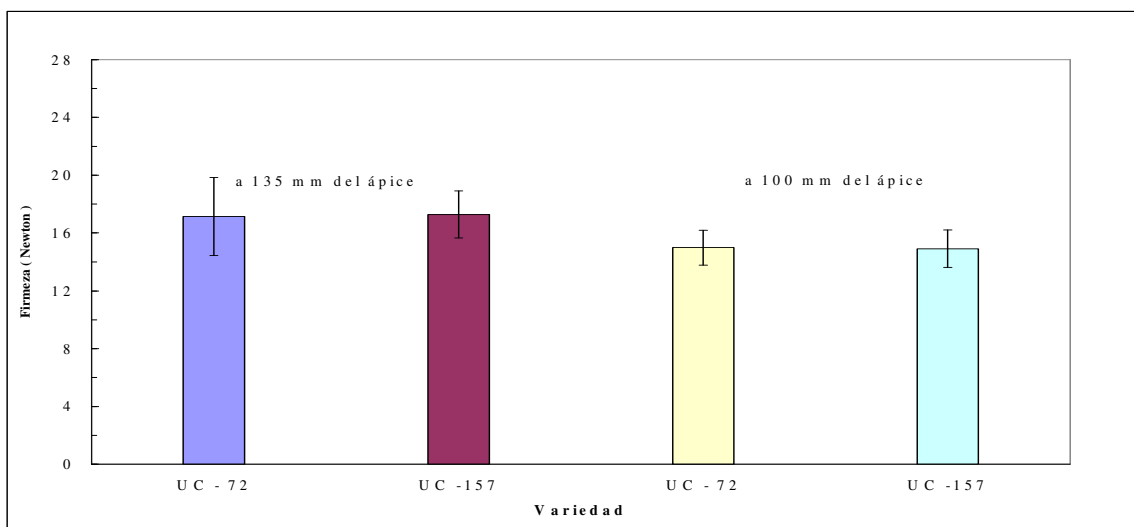


**FIGURA 10** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos, medidos a 100 mm del ápice.

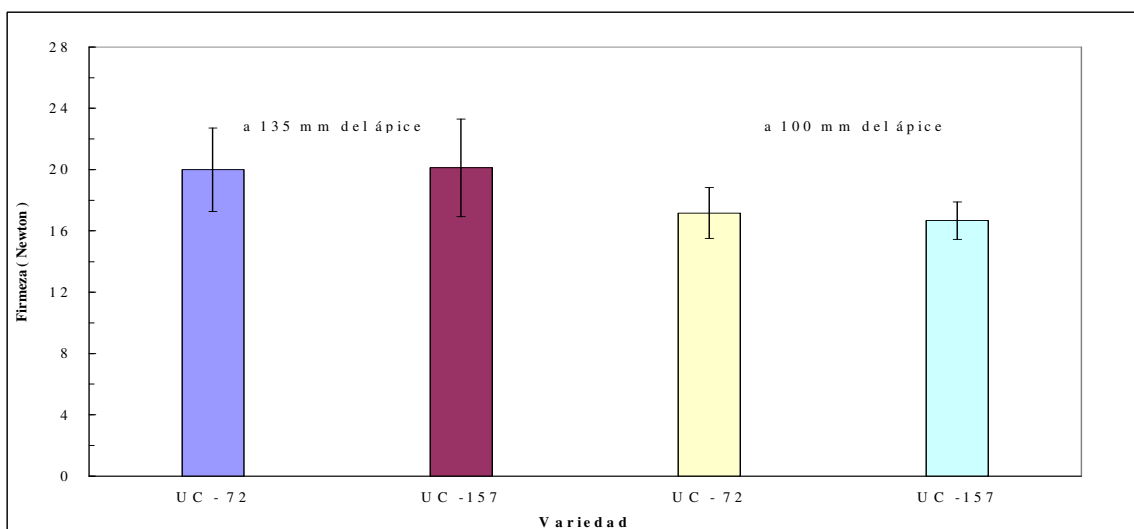


**FIGURA 11** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos, medidos a 135 mm del ápice.

**4.2.3 Efecto del cultivar en la firmeza.** Al comparar los valores de firmeza para cada uno de los calibres y puntos de medición (CUADRO 4) se observa que éstos son similares. El análisis estadístico realizado a estos datos confirma que no existe diferencia en los valores de firmeza para ambos cultivares de espárragos (ANEXO 6). A lo anterior se suma lo determinado en la caracterización físico-química de la materia prima, en donde se observó también que no existe diferencia entre los cultivares estudiados. En las FIGURAS 12 y 13 se presentan los gráficos que muestran el efecto del cultivar en la firmeza de espárragos verdes.



**FIGURA 12** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos, calibre 10 mm.



**FIGURA 13** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes frescos, calibre 13 mm.

#### 4.3 Efecto del tratamiento térmico sobre la firmeza de los espárragos verdes

El efecto de las diferentes combinaciones de temperatura y tiempos de escaldado sobre la firmeza de los espárragos se evaluó aplicándoles un análisis de varianza para determinar si existe o no una diferencia estadísticamente significativa entre los

tratamientos. En los CUADROS 5 y 6 se presentan los valores experimentales promedio de firmeza obtenidos, con su respectivo valor de significancia (p-value); y en las FIGURAS 14 - 17, se presentan los gráficos de pérdida de firmeza de los espárragos por efecto de las temperaturas y tiempos de escaldado para los dos cultivares, los dos puntos de medición, y los dos calibres evaluados.

**CUADRO 5 Valores experimentales promedio de firmeza (N) para espárragos, cultivar UC - 72, sometidos a diferentes tratamientos de escaldado.**

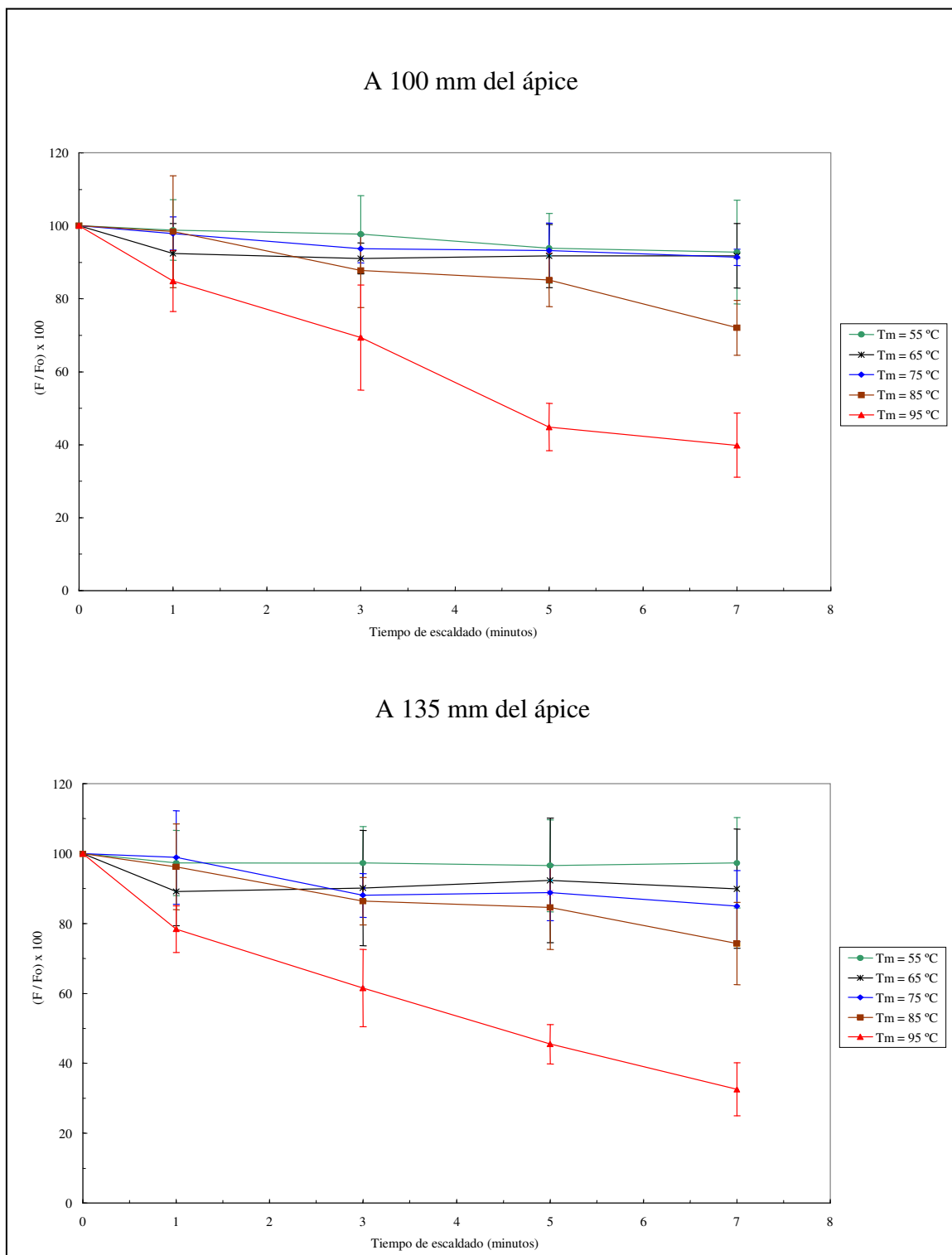
Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	CALIBRE 10		CALIBRE 13	
		A 135 mm del ápice	A 100 mm del ápice	A 135 mm del ápice	A 100 mm del ápice
55	0	17,13 ± 2,52	15,50 ± 1,09	19,92 ± 2,06	17,57 ± 1,63
	1	16,67 ± 1,60	15,32 ± 1,28	19,33 ± 3,77	16,80 ± 1,32
	3	16,66 ± 1,80	15,14 ± 1,64	16,87 ± 1,36	17,23 ± 1,07
	5	16,54 ± 2,26	14,55 ± 1,47	18,31 ± 2,19	16,64 ± 1,37
	7	16,68 ± 2,21	14,38 ± 2,21	17,51 ± 2,94	16,23 ± 1,98
p-value		0,9796	0,4864	0,2596	0,5540
65	0	17,60 ± 2,39	14,21 ± 1,09	20,16 ± 3,11	16,59 ± 1,92
	1	15,70 ± 1,72	13,13 ± 1,17	19,50 ± 0,88	15,50 ± 1,17
	3	15,87 ± 2,91	12,93 ± 0,60	18,15 ± 2,69	15,34 ± 2,52
	5	16,25 ± 3,14	13,04 ± 1,23	17,28 ± 2,91	14,03 ± 2,67
	7	15,84 ± 3,01	13,03 ± 1,26	16,87 ± 2,30	13,43 ± 1,67
p-value		0,6568	0,1876	0,2994	0,0919
75	0	16,86 ± 3,09	15,31 ± 0,89	19,85 ± 2,05	16,93 ± 2,13
	1	16,66 ± 2,25	14,99 ± 0,70	19,00 ± 4,26	16,66 ± 1,89
	3	14,84 ± 1,05	14,34 ± 0,50	19,02 ± 2,97	15,27 ± 1,17
	5	14,97 ± 1,34	14,27 ± 1,16	18,09 ± 0,72	15,36 ± 1,03
	7	14,33 ± 1,71	13,99 ± 0,35	17,55 ± 2,14	14,89 ± 0,80
p-value		0,1796	0,1223	0,8836	0,1795
85	0	15,81 ± 2,05	15,15 ± 0,83	17,59 ± 0,72	17,02 ± 0,98
	1	15,22 ± 1,94	14,91 ± 2,32	16,46 ± 0,60	15,63 ± 1,55
	3	13,66 ± 1,07	13,30 ± 1,53	15,97 ± 0,88	15,66 ± 1,30
	5	13,38 ± 1,90	12,90 ± 1,11	14,93 ± 1,52	13,10 ± 2,06
	7	11,74 ± 1,85	10,91 ± 1,14	12,71 ± 1,16	10,23 ± 1,47
p-value		* 0,0134	* 0,0001	* 0,0000	* 0,0000
95	0	17,44 ± 2,77	14,93 ± 1,61	21,82 ± 3,99	17,86 ± 2,00
	1	13,66 ± 1,17	12,68 ± 1,25	20,10 ± 1,97	14,98 ± 1,11
	3	10,73 ± 1,92	10,36 ± 2,14	14,59 ± 2,70	10,83 ± 1,93
	5	7,93 ± 0,99	6,69 ± 0,97	9,49 ± 3,38	7,37 ± 0,98
	7	5,68 ± 1,33	5,95 ± 1,31	6,80 ± 1,89	5,12 ± 1,32
p-value		* 0,0000	* 0,0000	* 0,0000	* 0,0000

\* Diferencia estadísticamente significativa (LSD 95 %)

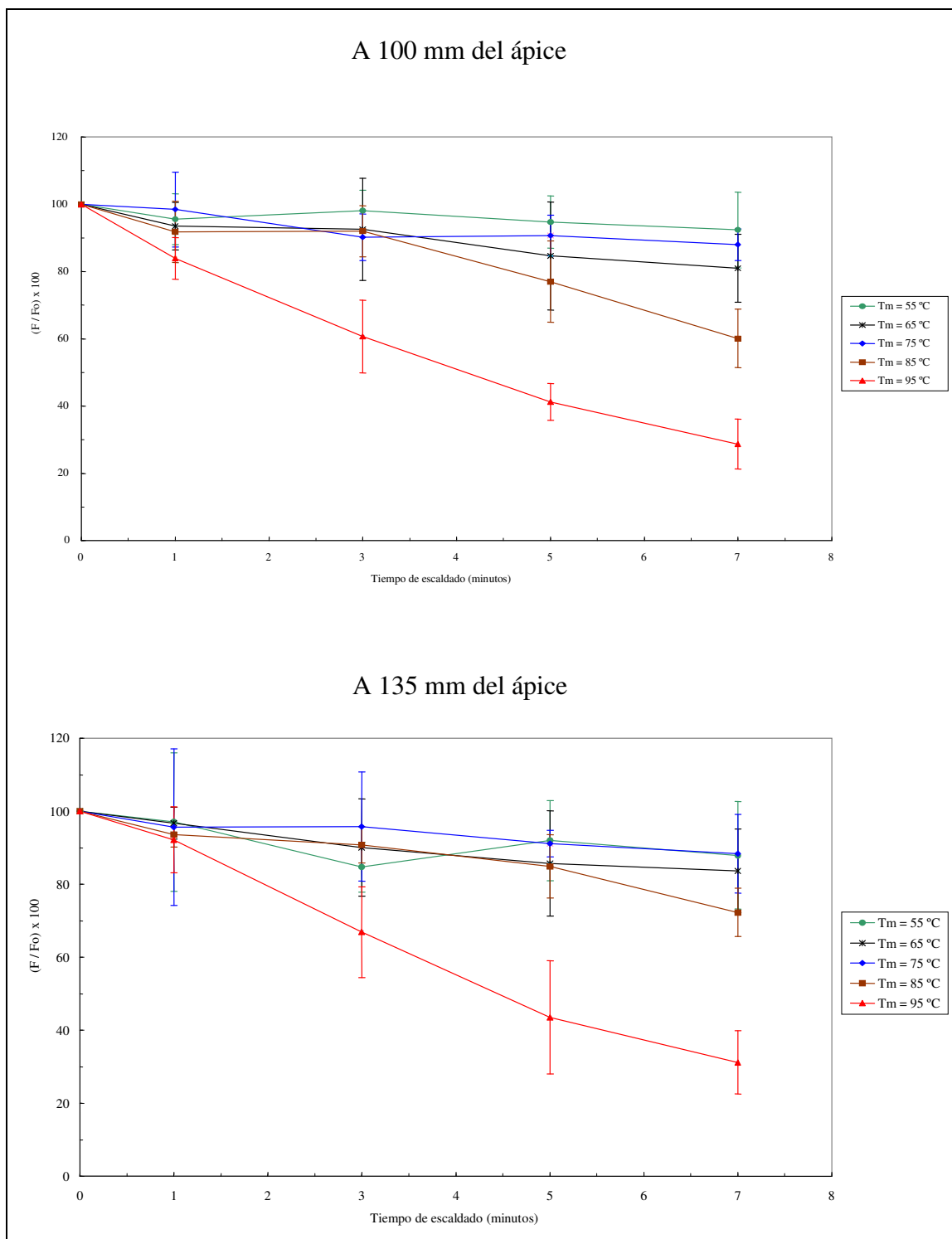
**CUADRO 6 Valores experimentales promedio de firmeza (N) para espárragos, cultivar UC - 157, sometidos a diferentes tratamientos de escaldado.**

Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	CALIBRE 10		CALIBRE 13	
		A 135 mm del ápice	A 100 mm del ápice	A 135 mm del ápice	A 100 mm del ápice
55	0	18,34 ± 1,48	15,66 ± 1,41	21,68 ± 4,25	16,16 ± 0,78
	1	17,68 ± 2,85	14,90 ± 1,15	20,62 ± 1,72	15,79 ± 0,81
	3	17,48 ± 1,92	15,53 ± 1,06	18,66 ± 1,78	16,15 ± 0,36
	5	17,18 ± 1,23	14,47 ± 1,46	19,68 ± 3,16	16,29 ± 0,73
	7	17,07 ± 2,21	15,40 ± 0,64	19,85 ± 2,62	15,86 ± 1,39
p-value		0,9176	0,4312	0,3909	0,9594
65	0	16,63 ± 1,38	14,62 ± 0,93	18,21 ± 1,58	16,75 ± 0,36
	1	15,21 ± 1,70	14,06 ± 1,69	15,59 ± 1,42	16,58 ± 1,15
	3	15,10 ± 0,80	14,25 ± 1,36	15,77 ± 1,65	15,29 ± 2,46
	5	15,08 ± 1,47	14,39 ± 1,16	15,04 ± 1,52	15,50 ± 1,65
	7	14,73 ± 1,31	13,91 ± 1,78	15,17 ± 2,10	15,07 ± 1,65
p-value		0,0905	0,8739	0,0653	0,6105
75	0	16,04 ± 1,18	14,65 ± 0,88	18,65 ± 3,21	16,34 ± 1,87
	1	15,42 ± 2,67	14,65 ± 1,46	18,45 ± 1,84	15,15 ± 2,14
	3	14,33 ± 1,42	14,61 ± 0,56	18,37 ± 2,16	15,38 ± 0,56
	5	15,04 ± 1,77	14,32 ± 1,07	17,89 ± 1,22	15,33 ± 0,44
	7	14,55 ± 1,12	14,53 ± 1,47	17,76 ± 3,23	14,27 ± 1,98
p-value		0,5645	0,9832	0,9784	0,6619
85	0	18,76 ± 0,33	14,96 ± 1,05	20,28 ± 1,87	17,07 ± 1,65
	1	17,83 ± 2,37	14,39 ± 0,63	18,77 ± 2,19	15,71 ± 1,59
	3	15,91 ± 2,13	11,71 ± 1,56	16,57 ± 3,08	13,49 ± 1,66
	5	13,60 ± 3,04	10,84 ± 1,80	15,09 ± 1,02	10,43 ± 0,96
	7	13,71 ± 1,34	9,03 ± 1,08	12,92 ± 2,23	10,15 ± 0,50
p-value		* 0,0151	* 0,0000	* 0,0064	* 0,0000
95	0	17,18 ± 1,70	14,97 ± 0,92	20,25 ± 3,11	16,51 ± 1,22
	1	14,63 ± 2,18	12,56 ± 1,12	19,17 ± 1,77	14,53 ± 2,01
	3	8,98 ± 1,98	6,34 ± 1,42	14,55 ± 1,18	12,09 ± 1,79
	5	6,75 ± 1,95	4,41 ± 0,88	9,83 ± 1,99	7,82 ± 1,25
	7	4,48 ± 1,36	2,89 ± 0,70	9,48 ± 1,43	6,77 ± 1,07
p-value		* 0,0000	* 0,0000	* 0,0000	* 0,0000

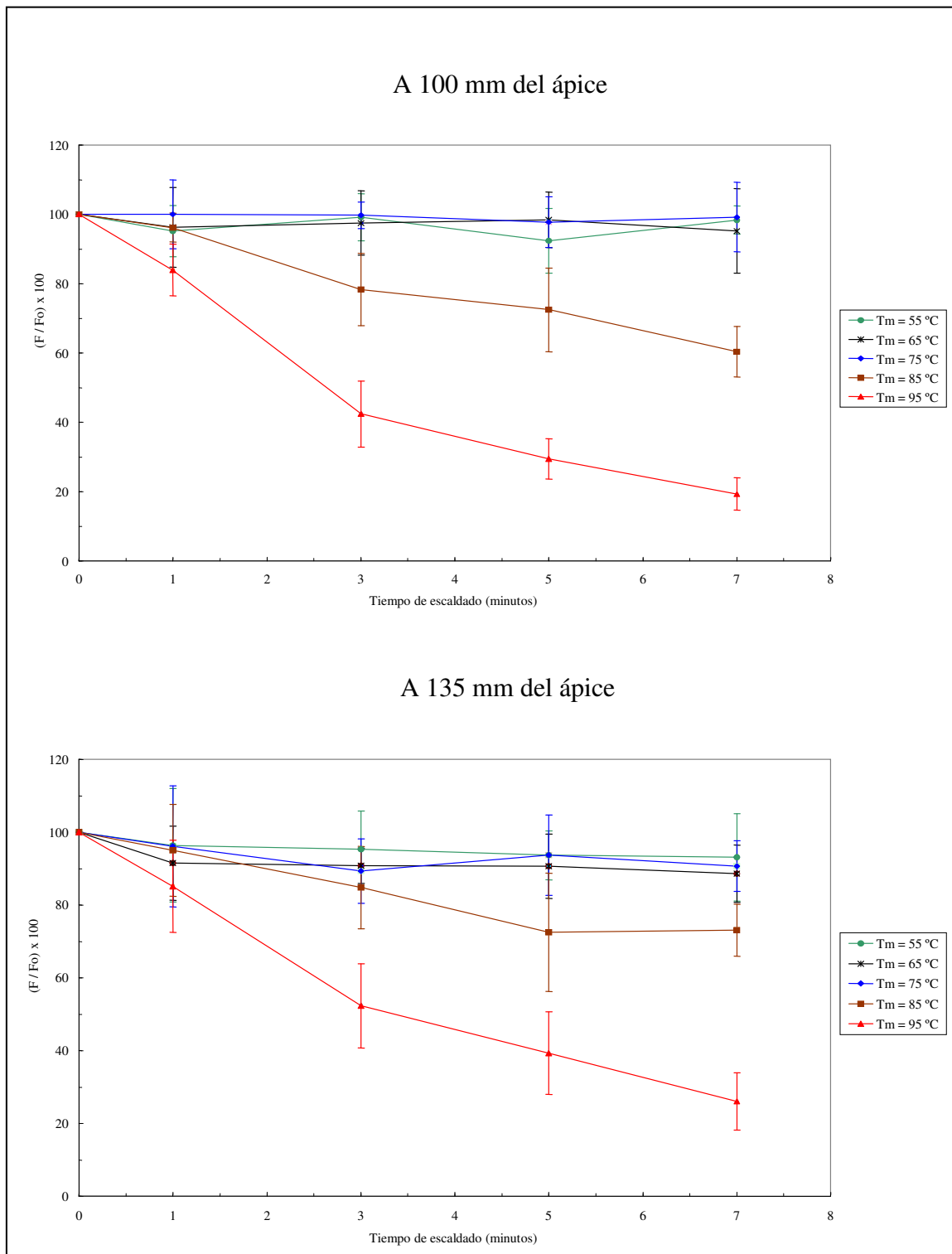
\* Diferencia estadísticamente significativa (LSD 95 %)



**FIGURA 14** Firmeza relativa de espárragos verdes UC – 72 de calibre 10 mm para diferentes tratamientos de escaldado.

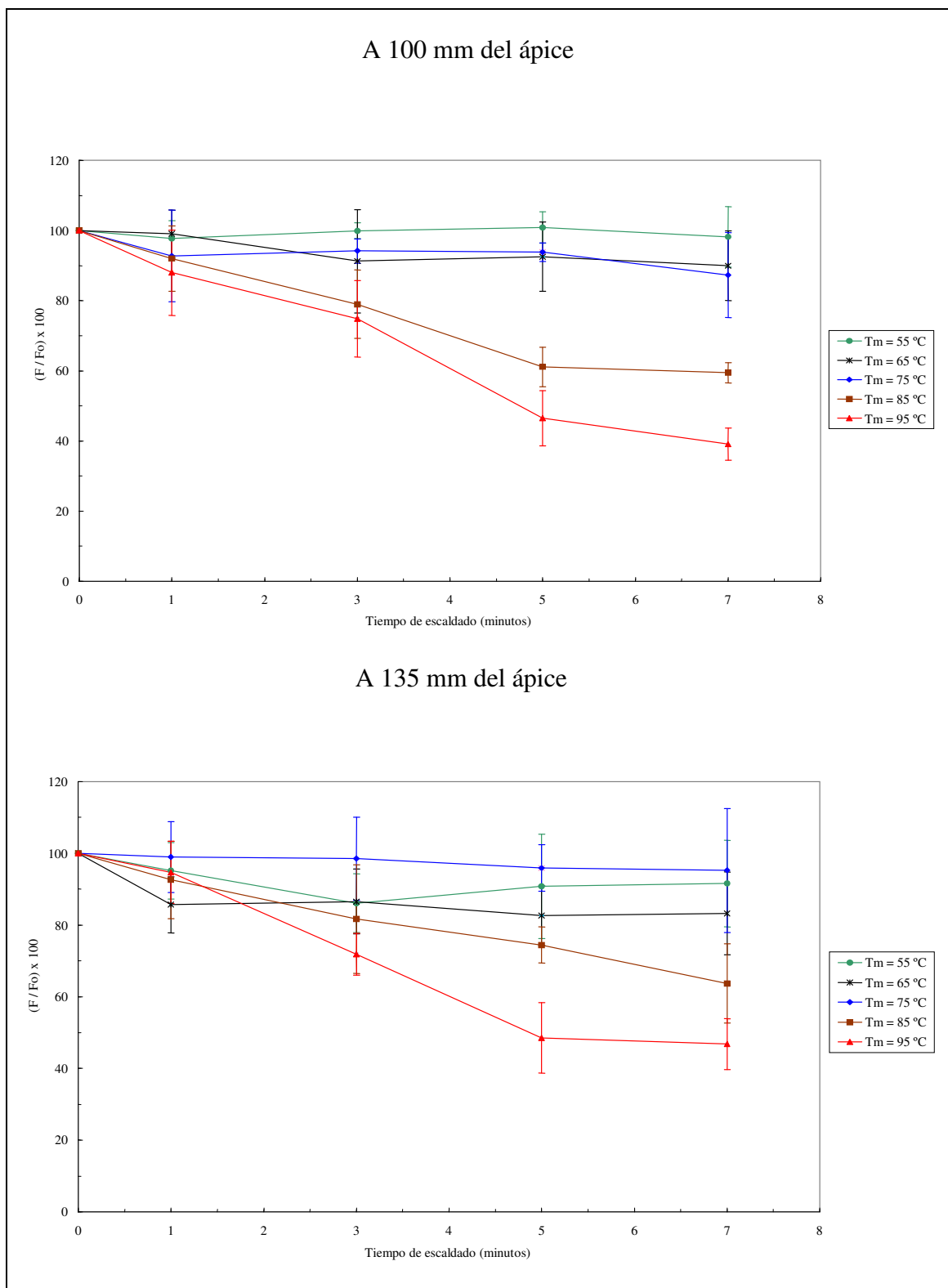


**FIGURA 15** Firmeza relativa de espárragos verdes UC – 72 de calibre 13 mm para diferentes tratamientos de escaldado.



**FIGURA 16** Firmeza relativa de espárragos verdes UC – 157 de calibre 10 mm para diferentes tratamientos de escaldado.





**FIGURA 17** Firmeza relativa de espárragos verdes UC – 157 de calibre 13 mm para diferentes tratamientos de escaldado.

**4.3.1 Efecto de la temperatura sobre el cultivar UC – 72.** La aplicación de los tratamientos térmicos modificó la resistencia a la perforación en comparación al turión sin procesar. Los espárragos escaldados de calibre 10 mm presentaron diferencias en las mediciones de firmeza realizadas a 100 y 135 mm del ápice. Está misma tendencia se encontró para el caso de espárragos frescos (sección 4.2.1).

De acuerdo a los resultados del CUADRO 5 se observa un notorio aumento de la pérdida de firmeza en los turiones de espárragos escaldados a 95 °C, en comparación a los tratados a otras temperaturas. Esto podría explicarse a que ésta temperatura produce la separación y rompimiento celular de los vegetales (SANCHEZ y FUSTER, 1986), perdiéndose en mayor grado la textura y firmeza natural del vegetal. A lo anterior se suma que se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $p\text{-value}<0,05$ ) en la firmeza de los espárragos procesados a la temperatura de 95 °C en comparación a las demás temperaturas evaluadas (ANEXOS 7 y 8).

Analizando los valores de firmeza para los turiones de calibre 13 mm. (CUADRO 5) se observa la misma tendencia encontrada para el turión de calibre 10 mm para las mismas condiciones de tratamiento térmico y punto de medición, aunque con magnitudes de firmeza mayores. De forma similar a lo descrito en 4.2.2, para un mismo cultivar y punto de medición, la resistencia a la perforación fue directamente proporcional al calibre de los turiones; y en cuanto al efecto de la temperatura, para ambos puntos de medición, se determinó que los valores de firmeza de los turiones tratados a 95 °C fueron significativamente diferentes a los tratados a otras temperaturas de escaldado (ANEXOS 9 y 10).

**4.3.2 Efecto de la temperatura sobre el cultivar UC – 157.** Los turiones de espárragos procesados térmicamente de este cultivar siguen el mismo comportamiento encontrado en la sección anterior para el caso del cultivar UC - 72, y en las secciones 4.2.1 y 4.2.2 para el caso de los espárragos frescos. Para los dos calibres evaluados (10 y 13 mm) se

determinó que la temperatura tiene un efecto significativo en la firmeza de los espárragos escaldados para las mediciones realizadas a 100 y 135 mm del ápice. Al igual que para el caso del cultivar UC - 72, se encontró que la temperatura de 95 °C tiene mayor influencia sobre la pérdida de firmeza de los espárragos. Los análisis estadísticos correspondientes se presentan en los ANEXOS 11, 12, 13 y 14.

**4.3.3 Efecto del tiempo de escaldado sobre la firmeza de los espárragos.** En base a los resultados mostrados en los CUADROS 5 y 6, se observa que para todas las situaciones estudiadas existe una disminución de la resistencia a la perforación para todos los tratamientos en la medida que el tiempo de tratamiento aumenta, siendo más notorio para los primeros 3 minutos. Sin embargo, según los valores de significancia (valor p), el tiempo de escaldado sólo produce una disminución apreciable de la firmeza cuando la temperatura del medio es igual a 85 y 95 °C (ver ANEXO 15). Es importante hacer notar que los tiempos de escaldado de 5 y 7 minutos para una temperatura de 95 °C, afectan notoriamente la textura de los turiones de espárragos, evidenciándose una disminución en la firmeza producida por un ablandamiento del turión, y reflejándose en la poca resistencia a la presión ejercida por el instrumento utilizado para medir la fuerza máxima de perforación.

Considerando los tratamientos de 55 a 75 °C, lo destacado en el párrafo anterior no se detecta fácilmente a simple vista y más aún no se encontró diferencia estadística significativa al evaluar la firmeza para todos los tiempos de exposición de los espárragos.

Finalmente, de lo discutido puede desprenderse que la pérdida de firmeza de los turiones se debería más a un efecto combinado de la temperatura con el tiempo de tratamiento que a un efecto individual.

#### **4.4 Determinación de modelos para estimar la variación de la firmeza por efecto de los tratamientos**

Para obtener modelos o ecuaciones que permitan estimar la variación de la firmeza de los turiones sometidos a diferentes tiempos y temperaturas de escaldado, se realizó un análisis de regresión lineal el que fue comparado con los resultados obtenidos con el análisis de regresión exponencial realizado para los mismos datos, siendo este último el que presentó un mejor ajuste, de acuerdo a los valores de  $R^2$ . Lo anterior se realizó para los tratamientos (85 °C y 95°C) que mostraron influencia sobre la firmeza de los turiones analizados. En las FIGURAS 18, 19, 20 y 21 se presentan los datos experimentales y sus respectivas líneas de tendencia obtenidas para cada uno de los tratamientos involucrados.

En el CUADRO 7 se presentan las ecuaciones obtenidas así como el error de estimación promedio y la desviación estándar de éste para cada temperatura de proceso y cultivar de espárrago. En dicho cuadro puede observarse que todos los valores de  $R^2$  de cada ecuación están sobre 0,92 y que los valores del error promedio de estimación presentan magnitudes bajas. Lo anterior permite deducir que los valores de firmeza estimados no discreparían ampliamente de sus homólogos experimentales para la mayoría de los tratamientos evaluados, situación que se puede verificar en las Figuras 18 a 21.

Además, se realizó un análisis de regresión múltiple, para encontrar ecuaciones que expliquen la dependencia de la firmeza con el tiempo y la temperatura de proceso evaluadas (85 y 95 °C) para cada una de las condiciones de las muestras de espárragos (cultivar, calibre y punto de medición). Para todas las ecuaciones obtenidas, el valor p de los análisis de varianza fue de 0,0000 (ver ANEXOS 16 a 23), por lo que se corrobora la influencia de los tratamientos (tiempo y temperatura) evaluados sobre la firmeza de los turiones.

En el CUADRO 8 se presentan las ecuaciones obtenidas con sus respectivos  $R^2$ , los que oscilan entre el rango de 0,63 y 0,85; también se muestran en este cuadro el error

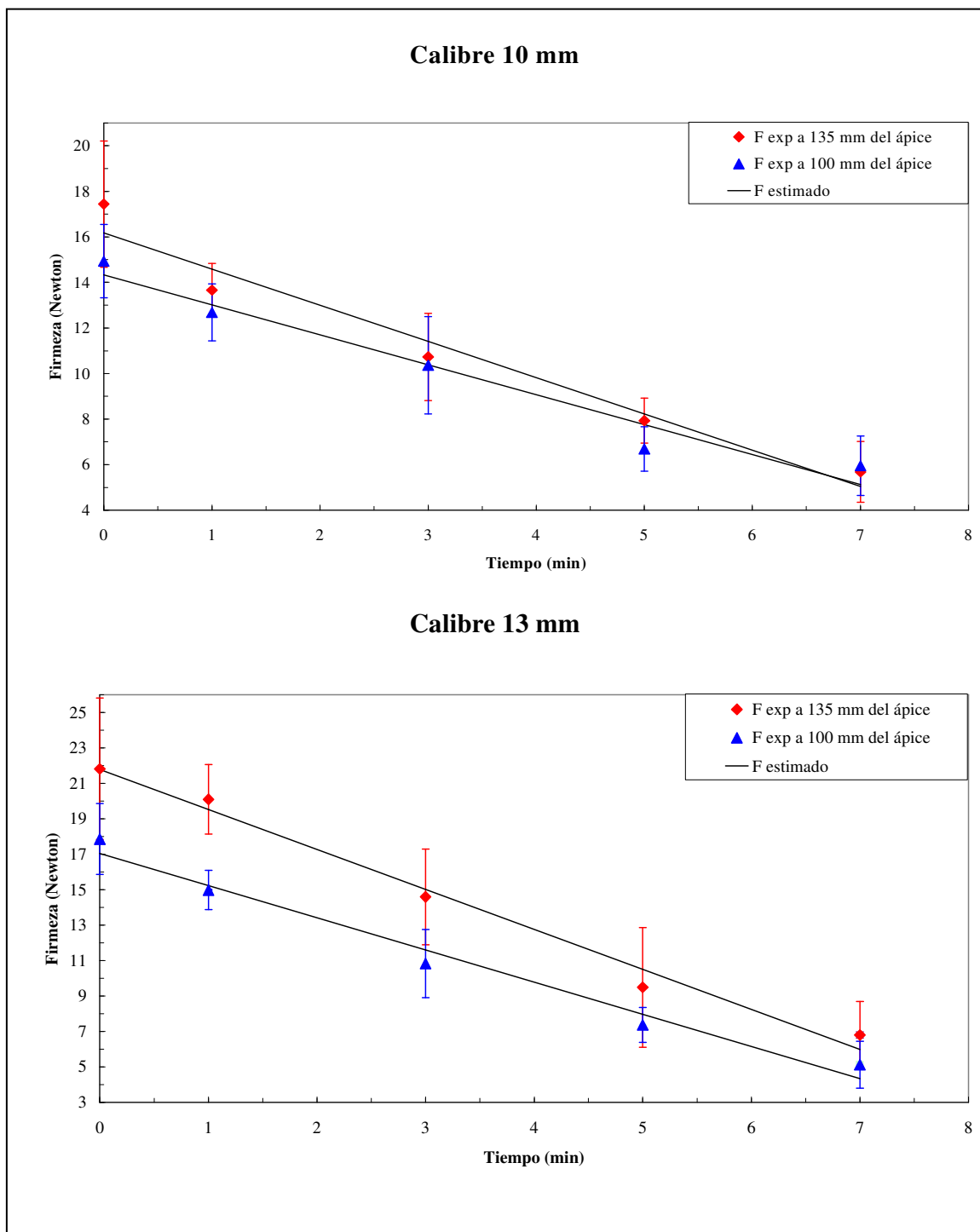
promedio de estimación, en donde los valores extremos son 0,02 % y 4,13 %. Es importante mencionar que estas ecuaciones serían válidas para el rango comprendido para las condiciones de tiempo y temperaturas evaluadas en el presente trabajo.

**CUADRO 7 Ecuaciones de estimación de firmeza para las condiciones experimentales evaluadas**

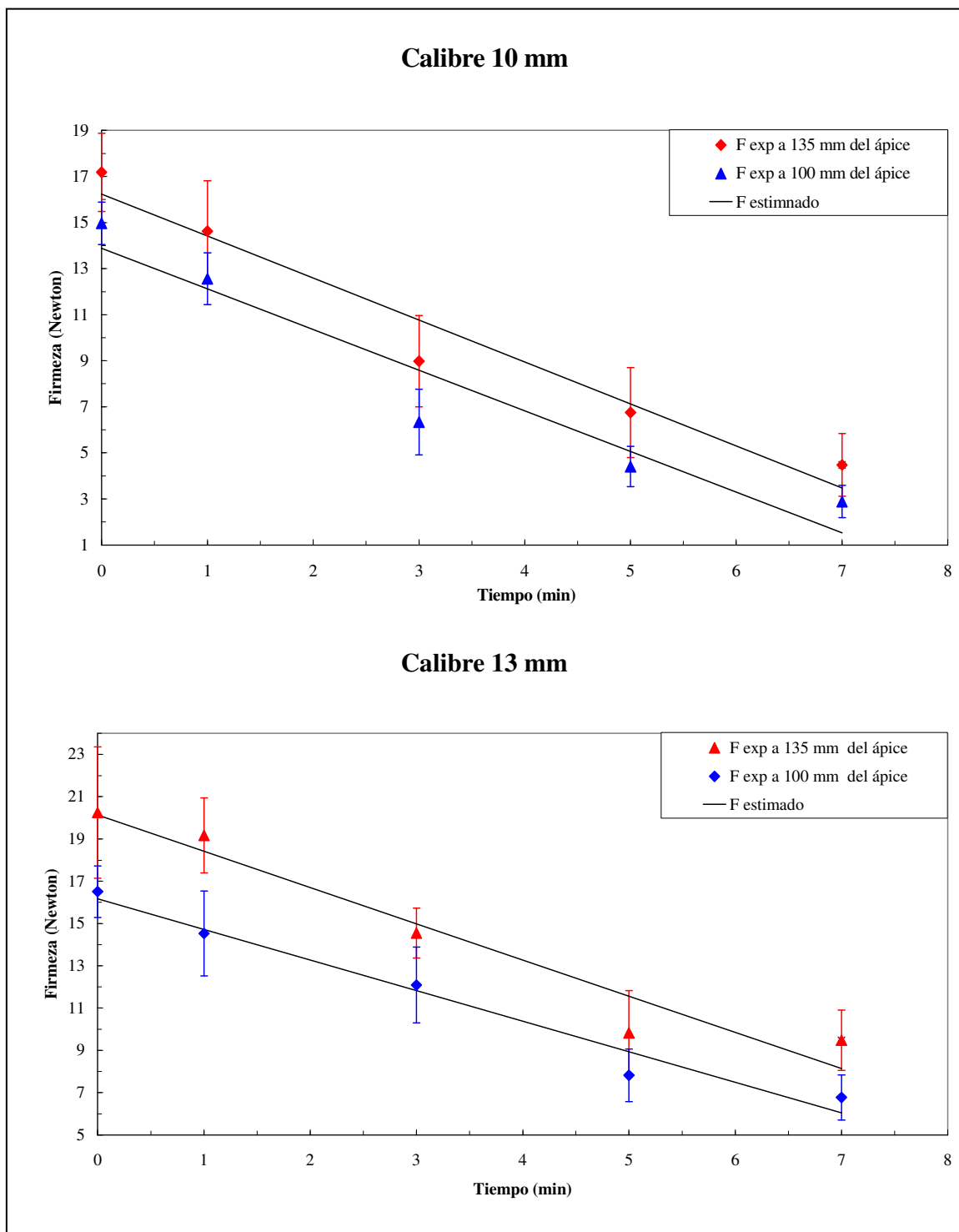
Temp (°C)	Cultivar	Calibre (mm)	Punto de Medición (mm desde el ápice)	Ecuación	Error Promedio Estimación (%)	Desviación estándar del error	Mín.	Máx.
85	UC - 72	10	100	$F = 15,41 e^{-0,045 t}$ $R^2 = 0,9468$	0,04	3,03	- 4,61	3,08
			135	$F = 15,79 e^{-0,0402 t}$ $R^2 = 0,9622$	0,00	2,27	- 3,48	2,46
		13	100	$F = 17,48 e^{-0,0671 t}$ $R^2 = 0,8934$	0,16	6,56	- 8,73	6,83
			135	$F = 17,64 e^{-0,0416 t}$ $R^2 = 0,9273$	0,05	3,33	- 4,04	3,73
	UC - 157	10	100	$F = 15,09 e^{-0,0721 t}$ $R^2 = 0,9825$	0,04	2,76	- 2,93	3,80
			135	$F = 18,54 e^{-0,0496 t}$ $R^2 = 0,9290$	0,03	3,97	- 4,44	6,38
		13	100	$F = 16,91 e^{-0,0803 t}$ $R^2 = 0,9561$	0,08	5,03	- 5,04	8,52
			135	$F = 20,15 e^{-0,062 t}$ $R^2 = 0,9940$	0,04	1,37	- 2,06	1,05
95	UC - 72	10	100	$F = 14,78 e^{-0,1375 t}$ $R^2 = 0,9726$	0,20	6,77	- 5,56	11,09
			135	$F = 16,83 e^{-0,1539 t}$ $R^2 = 0,9939$	0,04	3,50	- 3,50	5,63
		13	100	$F = 18,02 e^{-0,1785 t}$ $R^2 = 0,9991$	- 0,01	1,48	- 2,60	0,90
			135	$F = 23,09 e^{-0,1728 t}$ $R^2 = 0,9912$	- 1,10	6,83	- 11,81	5,82
	UC - 157	10	100	$F = 14,82 e^{-0,2406 t}$ $R^2 = 0,9873$	0,28	8,08	- 7,24	13,58
			135	$F = 17,14 e^{-0,1923 t}$ $R^2 = 0,9944$	0,06	4,23	- 3,34	7,20
		13	100	$F = 16,72 e^{-0,1338 t}$ $R^2 = 0,9743$	0,17	6,28	- 7,43	9,52
			135	$F = 20,59 e^{-0,1219 t}$ $R^2 = 0,9492$	0,26	8,34	- 7,47	13,87

**CUADRO 8 Ecuaciones para la estimación de la firmeza (F) en función de las temperaturas (T) y tiempos (t) de procesamiento**

Cultivar	Calibre (mm)	Punto de medición (mm desde el ápice)	Modelo				
			Ecuación	Error promedio estimación (%)	Desv. estándar del error	Mín.	Máx.
UC - 72	10	100	$F = 45,3957 - 0,3396T - 0,9620 t$ $R^2 = 0,7621$	1,16	11,05	-12,03	24,42
		135	$F = 41,8183 - 0,2874T - 1,0710 t$ $R^2 = 0,6929$	2,12	13,24	-16,77	23,56
	13	100	$F = 43,2135 - 0,2897T - 1,3307 t$ $R^2 = 0,8116$	3,36	13,49	-12,14	24,55
		135	$F = 28,3934 - 0,0971T - 1,4413 t$ $R^2 = 0,6392$	2,37	18,47	-20,92	33,53
UC - 157	10	100	$F = 49,2903 - 0,3884T - 1,2991 t$ $R^2 = 0,8172$	4,13	19,42	-20,46	33,99
		135	$F = 67,3829 - 0,5558T - 1,3056 t$ $R^2 = 0,7906$	3,05	14,49	-19,76	21,49
	13	100	$F = 32,3172 - 0,1759T - 1,2686 t$ $R^2 = 0,8520$	0,26	8,75	-16,40	18,46
		135	$F = 34,5704 - 0,1670T - 1,2654 t$ $R^2 = 0,6346$	0,02	10,55	-10,85	25,92

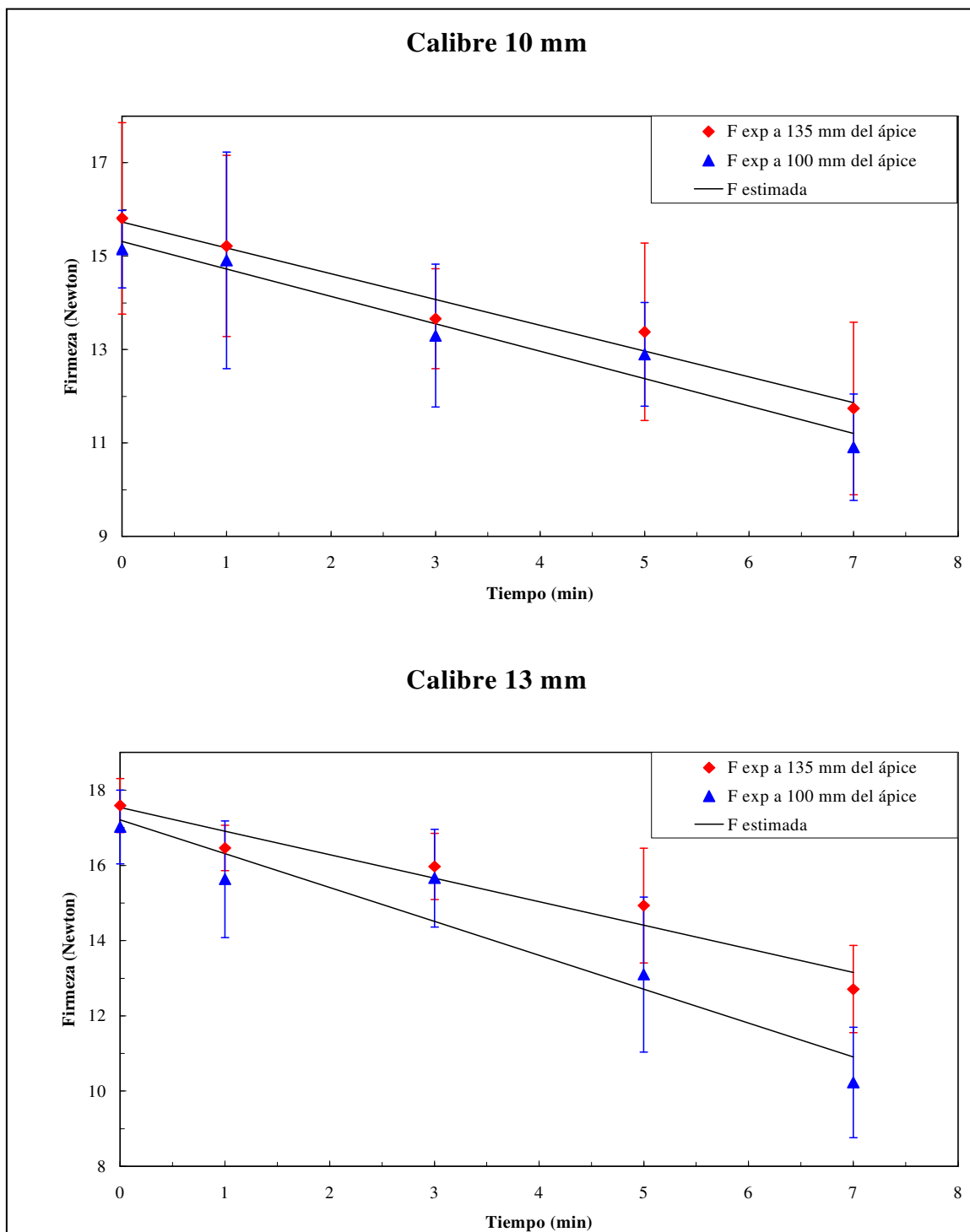


**FIGURA 18** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes UC-72 a 95°C medidos a 100 y 135 mm del ápice.

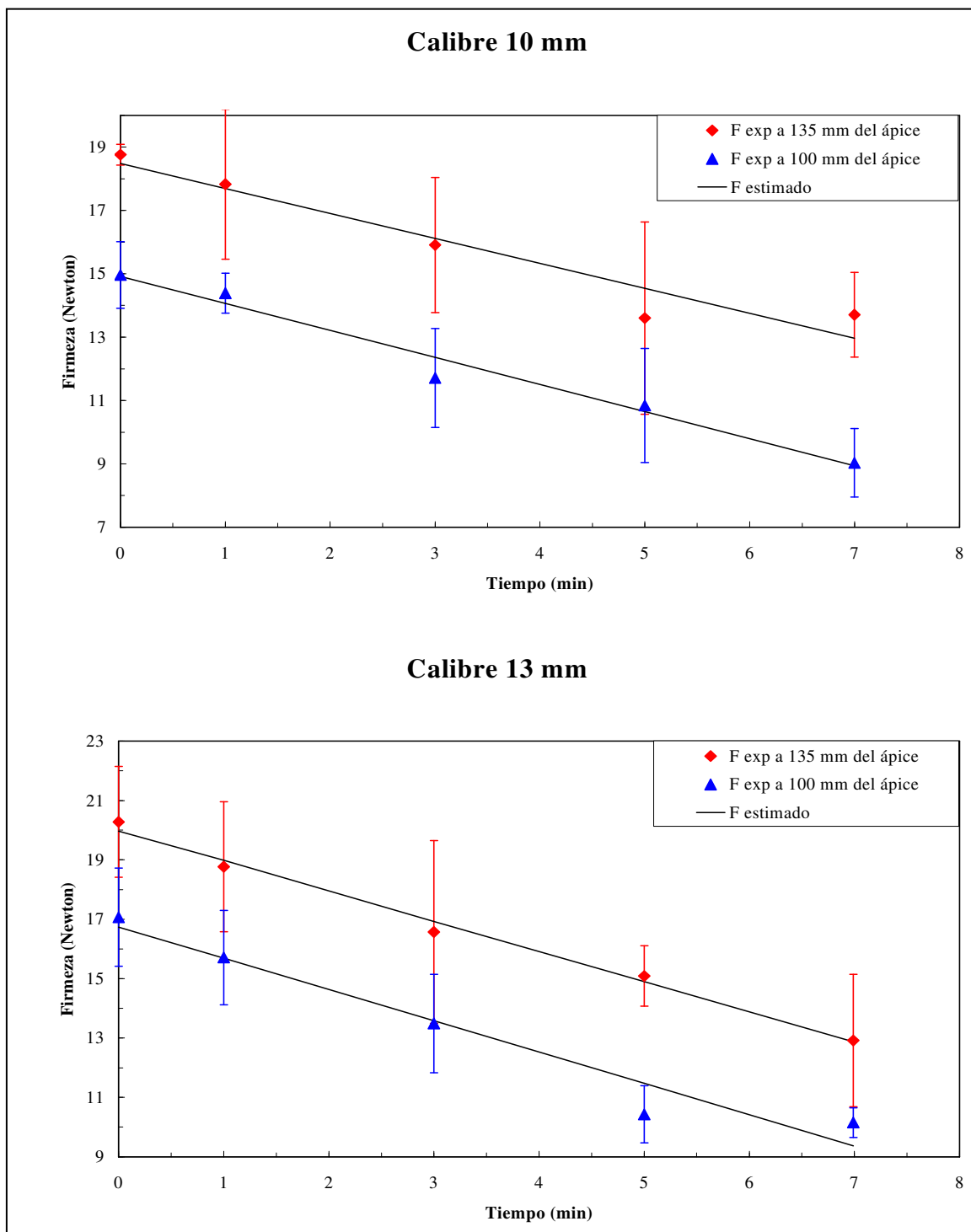


**FIGURA 19** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes UC-157 a 95 °C medidos a 100 y 135 mm del ápice.





**FIGURA 20** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes UC-72 a 85 °C medidos a 100 y 135 mm del ápice.



**FIGURA 21** Valores experimentales de fuerza máxima de perforación en espárragos verdes UC-157 a 85 °C medidos a 100 y 135 mm del ápice.

## 5 CONCLUSIONES

- ❖ Respecto de la influencia de los cultivares, calibre y puntos de medición sobre la firmeza de turiones de espárragos:
  - No se encontró diferencias significativas en los valores de fuerza máxima (N) obtenidos, registrada como resistencia a la perforación, para los cultivares UC – 72 y UC – 157 considerando el mismo calibre y punto de medición.
  - Para ambos cultivares de espárragos y para un mismo punto de medición de firmeza, la resistencia a la perforación aumentó con el calibre del turión.
  - Se encontró una mayor resistencia a la perforación en la zona basal del turión de espárrago que en la zona media, para ambos cultivares de espárragos.
  
- ❖ Respecto de la influencia de los diferentes tratamientos térmicos sobre la firmeza de los turiones de espárragos:
  - Independiente del punto de medición, del calibre y del cultivar, el escaldado afecta la firmeza de los turiones de espárrago, provocando una pérdida de ésta en comparación con el turión sin procesar.
  - Para los tratamientos térmicos a 85 y 95 °C, la firmeza de los turiones de espárragos disminuyó con el tiempo de proceso, siendo más notoria la pérdida de firmeza para el tratamiento a 95 °C. Para los tratamientos a 55, 65 y 75 °C no se

detectaron variaciones significativas en la firmeza de los turiones por efecto del tiempo de proceso.

❖ Respecto a la estimación de la variación de la firmeza con la temperatura y tiempo de tratamiento:

- Los modelos de la forma  $y = a + b \cdot x + c \cdot z$  obtenidos lograron explicar de buena forma la variación de la firmeza de los turiones de espárragos en función de la temperatura y tiempo de tratamiento. Estas ecuaciones son específicas para cada cultivar, calibre y punto de medición.

## 6. RESUMEN

Se determinó la resistencia a la perforación (Newton), definido como firmeza, en espárragos verdes frescos y escaldados a temperaturas entre 55 °C y 95 °C por un tiempo de 1 a 7 minutos. Se utilizaron turiones de espárragos verdes, cultivares UC-72 y UC-157, de 16 cm de longitud y calibres 10 y 13 mm. Las mediciones de firmeza se realizaron en dos puntos, a 100 y 135 mm del ápice, los que corresponderían al punto de medición del calibre y del punto más frío durante la penetración de calor de los turiones de espárragos evaluados. Las mediciones se realizaron con el instrumento universal de pruebas INSTRON modelo 1011. Las condiciones de trabajo del INSTRON fueron constantes durante la experiencia, con una velocidad de penetración de 100 mm/minuto y una amplitud de fuerza máxima de 50 N, utilizando como dispositivo de perforación un vástago agudo de 3 mm de diámetro.

Comparando los dos cultivares (UC-72 y UC-157) se determinó que no hay diferencias en los resultados de firmeza (Newton) para un mismo punto de medición. Sin embargo, se encontró diferencias estadísticamente significativas al comparar la firmeza entre los puntos de medición y entre los calibres para un mismo espárrago. Al respecto, se observó el requerimiento de una mayor fuerza de perforación en el punto más cercano a la base del turión (135 mm del ápice) y en el turión de mayor calibre (13 mm).

En cuanto a los tratamientos térmicos aplicados, la temperatura de proceso afecta la firmeza de los turiones a temperaturas superiores a 85 °C, observándose que ésta es directamente proporcional a la temperatura de trabajo. Adicionalmente, a mayor tiempo de exposición la firmeza decrece siendo más evidente en los espárragos escaldados a 95 °C.

En base a los resultados de firmeza obtenidos, para los tratamientos de 85 °C y 95°C y tiempos de proceso de 1 a 7 min., se realizó un análisis de regresión multivariable, encontrándose que ecuaciones de la forma  $y = a + b \cdot x + c \cdot z$  presentaron un buen ajuste.

## SUMMARY

The resistance to perforation, defined as firmness (Newton), was determined on raw and blanched green asparagus for temperatures ranging from 55 °C to 95 °C and by process times from 1 to 7 minutes. Green asparagus spears of 10 and 13 mm in gauge and 16 cm in length were used. Firmness were measured in two points, 100 and 135 mm from the tip, those would correspond to the point of gauge measurement and to the slowest heating point during blanching of the evaluated asparagus spears. The measurements were made with the universal instrument of tests INSTRON model 1011. The work conditions of the INSTRON were constant during the each test, with a penetration speed of 100 mm/minute and maximum force amplitude of 50 N, using an acute piston rod of 3 mm of diameter as perforation probe.

Comparing two cultivars (UC-72 y UC-157) was found that there are no differences in the results of firmness (Newton) when evaluating the same point of measurement. Nevertheless, it was found statistically significant differences when comparing for the same asparagus the firmness between the points of measurement and the gauges. On this matter, it was observed a requirement of a greater penetration force in the closest point to the spear base (135 mm of the apex) and in the spear of greater gauge (13 mm).

In relation to the applied heat treatments, the process temperature affects spear firmness only for temperatures higher than 85 °C, being observed that this is directly proportional to the temperature. In addition, the asparagus firmness decreases for greater process times being more evident for asparagus blanched to 95 °C.

On base of firmness results obtained for treatments of 85 °C and 95°C, and process times from 1 to 7 min., a multivariable regression analysis was made obtaining equations of the form  $y = a + b \cdot x + c \cdot z$ . En general the multivariable equations showed a good adjustment.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, J. y STANLEY, D. 1990. Microestructural Principles of Food Process & Engineering. Elsevier Science Publishing CO. INC.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (A.O.A.C.) 1995. Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemistry. Washington D.C.. 1141 p.
- BOURNE, M. 1976. Texture of Fruits and Vegetables. En Rheology and Texture in Food Quality. pp275 -307. AVI Publishing Co.
- 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 Sci. 47:440-444
- BOURNE, M. 1982b. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Academic Press. New York. 325 p.
- BOURNE, M. 1989. Application of Chemical Kinetic Theory to the Rate of Thermal Softening of Vegetable Tissue. En Quality Factors of Fruits and Vegetables, p98 - 139. American Chemical Society Symposium Series, Washigton, DC
- BROVELLI, E. A., CUPPETT S. L., YUHLINGER, R. D. 1998. Textural Quality of Green and White Asparagus. J. Food Quality. 22: 497 - 504

- CHANDÍA, V. 2000. Modelo Bifásico para la determinación de los Parámetros Termocinéticos de la Desactivación de las Enzimas Peroxidasa y Lipoxigenasa en zanahorias (*Daucus carota*), Brócoli (*Brassica oleracea* cultivar itálica) y Espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L.) sometidos a diversos tratamientos de escaldado. Tesis para optar al título de Licenciado en Ingeniería en Alimentos. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 98p.
- CHEFTEL, J., CHEFTEL, H. y BESANCON, P. 1983. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Tercera edición. Editorial Acribia. Zaragoza. Volumen II.
- FENNEMA, O. 1993. Química de los alimentos. Acribia S.A. Zaragoza. España 1095 p.
- HAIR, J., ADERSON, R., TATHAM, R. y BLACK, W. 1999. Análisis de regresión múltiple. In: Análisis Multivariante. Prentice may. New Jersey. pp 143 – 226.
- HAYAKAWA, K., TIMBERS, G. y STIER, E. 1977. Influence of Heat Treatment on the Quality of Vegetables: Organoleptic Quality. Journal of Food Science, 42(5):1286 – 1287.
- JEN, J. 1989. Quality factors of fruits and vegetables: chemistry and technology. American Chemical Society, Washington.
- JIMÉNEZ, E. 1993. Utilización de las Enzimas Lipoxigenasa y Peroxidasa como Índice en el Blanqueado de Espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L.). Tesis para optar al título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.
- KRARUP, J. P. 1987. Rendimiento y parámetros de calidad en espárragos (*Asparagus officinalis*) verdes y blancos bajo dos sistemas de cosecha. Tesis Lic. Ing.



Agronomía. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 122 p.

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.

KRARUP, C. 1998. [www.puc.cl/sw-educ/horto498](http://www.puc.cl/sw-educ/horto498)

LARRAZÁBAL, M. 2000. Estudio experimental de la desactivación de las enzimas peroxidasa y lipoxigenasa durante el proceso combinado escaldado – hidrofriado en zanahorias, espárragos verdes y arvejas verdes. Tesis para optar al grado de Licenciada en Ingeniería en Alimentos. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 121 p.

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.

NUÑEZ, H., SAMAROTTO, M. y ESCAFF, M. 1998. Evaluación de las características analíticas y sensoriales de 11 variedades de espárragos verdes frescos, escaldado y congelado. Alimentos, 23, (1): 33 - 47

PLANK, R. 1963. El empleo del frío en la industria de la alimentación. Editorial Reverté. Barcelona. 805 p.

POSTOLSKI, J. 1986. Tecnología de la congelación de los alimentos. Edición Lengua Española. Editorial Acribia. Zaragoza. 631 p.

- POTTER, N. 1978. Vegetables, fruits and juices. In: Food Science. pp. 539 – 571.
- RAHMAN, A.; HENNING, W y WESTCOTT, D. 1971. Histological and physical changes in carrots as effected by blanching cooking, freezing, freeze drying and compression. J. of Food Science. 36:500-502.
- RODRÍGUEZ-SAONA, L., BARRET, D. y SELIVONCHICK, D. 1995. Peroxidase and Lipoxygenase Influence on Stability of Polyunsaturated Fatty Acids in Sweet Corn (*Zea mays* L.) during Frozen Storage. Journal of Food Science. 60(5): 1041 – 1044 p.
- SANCHEZ, P. y FUSTER, C. 1986. Cambios estructurales producidos en el guisante por los procesos de escaldado y congelación. Alimentaria. Junio 65-72.
- VOISEY, P. 1979. Test Cells for Objective Textural Measurements. J. Inst. Can. technol. Aliment. 3 (3): 93 – 102
- WILLIAMS. D. LIM, M., CHEN, A., PANGBORN, R. y WHITAKER, J. 1986. Blanching of Vegetables for Freezing – Which Indicator Enzyme to Choose. Food Technology. (6): 130 – 140 p.
- ZÚÑIGA, G. 2000. Validación experimental y evaluación de un modelo de diferencias finitas utilizado para describir el proceso combinado escaldado – hidrogenfriado de alimentos de formas regulares. Tesis para optar al título de Licenciado en Ingeniería en Alimentos. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 120 p.

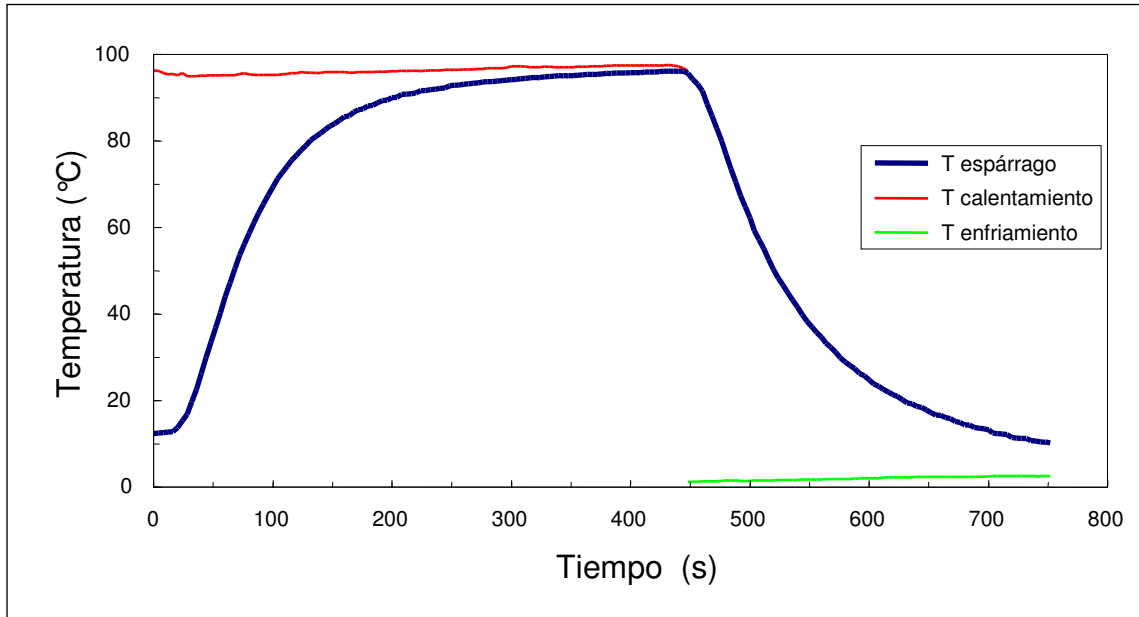
## **ANEXOS**

**ANEXO 1 Caracterización química de espárragos verdes.**

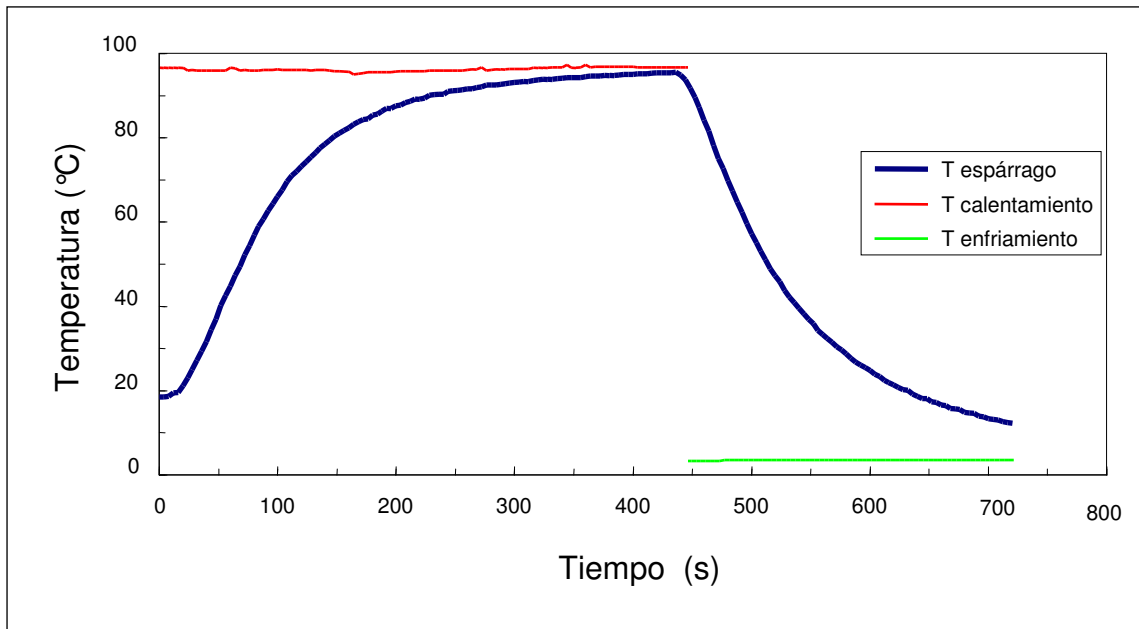
Cultivar UC - 157					
Fecha análisis	Sección	Humedad (%)	S. Solubles (°Brix)	pH	Acidez Titulable (%ácido cítrico anhidro)
23-Nov-98	Ápice	93,26	5,6	6,01	$6,40 \times 10^{-4}$
	Tallo	93,56	5,6	6,14	$7,04 \times 10^{-4}$
1-Dic-98	Ápice	93,47	4,7	5,98	$6,40 \times 10^{-4}$
	Tallo	93,76	5,1	6,12	$5,76 \times 10^{-4}$
4-Dic-98	Ápice	93,74	5,5	6,03	$5,12 \times 10^{-4}$
	Tallo	93,77	5,3	5,94	$5,76 \times 10^{-4}$
7-Dic-98	Ápice	93,47	5,6	5,91	$6,40 \times 10^{-4}$
	Tallo	94,18	5,9	6,02	$7,04 \times 10^{-4}$
11-Dic-98	Ápice	93,24	5,4	5,36	$7,04 \times 10^{-4}$
	Tallo	93,68	5,7	6,06	$6,40 \times 10^{-4}$
15-Dic-98	Ápice	93,34	4,8	5,78	$7,04 \times 10^{-4}$
	Tallo	93,98	5,2	5,92	$8,32 \times 10^{-4}$
21-Dic-98	Ápice	93,06	5,4	6,04	$5,76 \times 10^{-4}$
	Tallo	93,64	5,5	6,02	$6,40 \times 10^{-4}$
Cultivar UC - 72					
Fecha análisis	Sección	Humedad	S. S (°Brix)	pH	Acidez Titulable (%ácido cítrico anhidro)
19-Nov-98	Ápice	93,65	5,2	6,02	$3,840 \times 10^{-6}$
	Tallo	93,82	5,3	6,02	$5,120 \times 10^{-6}$
26-Nov-98	Ápice	93,21	5,3	6,09	$4,480 \times 10^{-5}$
	Tallo	93,86	5,6	6,09	$5,760 \times 10^{-5}$
2-Dic-98	Ápice	93,54	5,3	5,91	$5,760 \times 10^{-5}$
	Tallo	93,85	5,8	5,98	$8,320 \times 10^{-5}$
9-Dic-98	Ápice	93,65	4,8	5,95	$5,760 \times 10^{-5}$
	Tallo	93,7	5,0	6,01	$7,680 \times 10^{-5}$
16-Dic-98	Ápice	93,18	5,0	6,01	$4,480 \times 10^{-5}$
	Tallo	93,63	5,8	6,15	$3,840 \times 10^{-5}$

**ANEXO 2** Perfiles de temperatura del centro térmico de espárragos sometidos al proceso de escaldado (95 °C) e hidrogenfriado (2 °C).

**Cultivar UC – 157**



**Cultivar UC – 72**



**ANEXO 3 Análisis de varianza de las características físico-químicas de los espárragos verdes entre los cultivares UC-72 y UC-157.**

HUMEDAD					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,0343467	1	0,0343467	0,11	0,7376
Within groups	20,6435	68	0,303581		

ACIDEZ TITULABLE					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,192857	1	0,192857	3,46	0,0924
Within groups	0,557143	10	0,557143		

pH					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,0167202	1	0,0167202	1,94	0,1933
Within groups	0,0859714	10	0,0859714		

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 4 Análisis de varianza para evaluar el efecto de los puntos de medición en la firmeza de espárragos verdes.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
UC-72	10	Between groups	82.1022	1	82.1022	18.87	0,000
		Within groups	295.919	68	4.35175		
	13	Between groups	88.4868	1	88.4868	18.97	0,0001
		Within groups	205.214	44	4.66395		
UC-157	10	Between groups	73.8558	1	73.8558	37.72	0,0000
		Within groups	99.8527	42	1.9579		
	13	Between groups	121.459	1	121.459	19.63	0.0001
		Within groups	241.306	39	6.18734		

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 5 Análisis de varianza para evaluar el efecto del calibre en la firmeza de espárragos verdes.**

Cultivar	Punto de medición	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
UC-72	100 mm del ápice	Between groups	72.8724	1	72.8724	36.31	0,000
		Within groups	120.422	60	2.00703		
	135 mm del ápice	Between groups	99.1434	1	99.1434	13.54	0,0006
		Within groups	380.711	52	7.32136		
UC-157	100 mm del ápice	Between groups	33.0317	1	33.0317	24.87	0,0000
		Within groups	55.7824	42	1.32815		
	135 mm del ápice	Between groups	99.0935	1	99.0935	16.67	0.0002
		Within groups	285.376	48	5.94534		

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.



**ANEXO 6 Análisis de varianza para evaluar el efecto del cultivar en la firmeza de espárragos verdes.**

Calibre (mm)	Punto de medición	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
10	100 mm del ápice	Between groups	0,06732	1	0,06732	0,05	0,8232
		Within groups	77,5381	58	1,33686		
	135 mm del ápice	Between groups	0,266076	1	0,266076	0,05	0,8221
		Within groups	318,233	61	5,21694		
13	100 mm del ápice	Between groups	2,84727	1	2,84727	1,27	0,2659
		Within groups	98,6663	44	2,24242		
	135 mm del ápice	Between groups	0,170905	1	0,170905	0,02	0,8906
		Within groups	347,854	39	8,91933		

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 7 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 72, calibre 10 mm, medición a 100 mm del ápice.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of	Df	Mean	F-Ratio	P-Value
		Main effects	Squares		Square		
UC-157	10	Temperatura	87.5462	4	21.8865	12.69	0,0003
		tiempo	18.5984	3	6.19946	3.59	0.0463

Valor de P < 0,05 diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Temperatura (°C)	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/-Limites
95 85 65 75 55	8.92 13.005 13.0325 14.3975 14.8475	X X X X X	55-65	1.815	2.02326
			55-75	0.45	2.02326
			55-85	1.8425	2.02326
			55-95	* 5.9275	2.02326
			65-75	-1.365	2.02326
			65-85	0.0275	2.02326
			65-95	* 4.1125	2.02326
			75-85	1.3925	2.02326
			75-95	* 5.4775	2.02326
			85-95	* 4.085	2.02326

\* diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 8 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 72, calibre 10 mm, medición a 135 mm del ápice.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
		Main effects					
UC-157	10	Temperatura	129.802	4	32.4504	15.09	0.0001
		tiempo	25.8021	3	6.47323	3.01	0.0722

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Temperatura (°C)	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/-Límites
95 85 75 65 55	9.5 13.5 15.2 15.915 16.6375	X X XX X X	55-65	0.7225	2.25914
			55-75	1.4375	2.25914
			55-85	* 3.1375	2.25914
			55-95	* 7.1375	2.25914
			65-75	0.715	2.25914
			65-85	* 2.415	2.25914
			65-95	* 6.415	2.25914
			75-85	1.7	2.25914
			75-95	* 5.7	2.25914
			85-95	* 4.0	2.25914

\* diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 9 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 72, calibre 13 mm, medición a 100 mm del ápice.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of	Df	Mean	F-Ratio	P-Value
		Main effects	Squares		Square		
UC-157	13	Temperatura	119.367	4	29.8418	9.98	0,0009
		tiempo	44.9143	3	14.9714	5.01	0.0177

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Temperatura (°C)	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/-Límites
95 85 65 75 55	9.575 13.655 14.575 15.545 16.725	X X XX XX X	55-65	2.15	2.66431
			55-75	1.18	2.66431
			55-85	* 3.07	2.66431
			55-95	* 7.15	2.66431
			65-75	-0.97	2.66431
			65-85	0.92	2.66431
			65-95	* 5.0	2.66431
			75-85	1.89	2.66431
			75-95	* 5.97	2.66431
			85-95	* 4.08	2.66431

\* diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 10 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 72, calibre 13 mm, medición a 135 mm del ápice.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of	Df	Mean	F-Ratio	P-Value
		Main effects	Squares		Square		
UC-157	13	Temperatura	97.2223	4	25.0442	4.60	0,0175
		tiempo	57.3851	3	19.1284	3.62	0.0454

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Temperatura (°C)	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/-Límites
95 85 65 75 55	12.475 15.0175 17.95 18.005 18.415	X XX X X X	55-65	0.055	3.54058
			55-75	-0.41	3.54058
			55-85	2.9875	3.54058
			55-95	* 5.26	3.54058
			65-75	-0.465	3.54058
			65-85	2.9325	3.54058
			65-95	* 5.205	3.54058
			75-85	3.3975	3.54058
			75-95	* 5.67	3.54058
			85-95	2.2725	3.54058

\* diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 11. Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 157, calibre 10 mm, medición a 100 mm del ápice.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
		Main effects					
UC-157	10	Temperatura	199.164	4	49.791	13.28	0,0002
		tiempo	24.9971	3	8.33238	2.22	0.1381

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Temperatura (°C)	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/-Límites
95 85 75 65 55	10.3025 12.445 15.0325 15.61 16.0225	X X XX X X	55-65	0.9225	2.98288
			55-75	0.5475	2.98288
			55-85	* 3.5825	2.98288
			55-95	* 8.525	2.98288
			65-75	-0.375	2.98288
			65-85	2.66	2.98288
			65-95	* 7.6025	2.98288
			75-85	* 3.035	2.98288
			75-95	* 7.9775	2.98288
			85-95	* 4.9425	2.98288

\* diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 12 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 157, calibre 10 mm, medición a 135 mm del ápice.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of	Df	Mean	F-Ratio	P-Value
		Main effects	Squares		Square		
UC-157	10	Temperatura	169.169	4	42.2922	12.58	0.0003
		tiempo	29.7805	3	42.2922	12.58	0.0003

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Temperatura (°C)	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/-Límites
95	8.71	X	55-65	2.3225	2.57348
			55-75	2.5175	2.57348
			55-85	2.09	2.57348
			55-95	* 8.6425	2.57348
			65-75	0.195	2.57348
			65-85	-0.2325	2.57348
			65-95	* 6.32	2.57348
			75-85	-0.4275	2.57348
			75-95	* 6.125	2.57348
			85-95	* 6.5525	2.57348
75	14.835	X	55-65	2.3225	2.57348
			55-75	2.5175	2.57348
			55-85	2.09	2.57348
			55-95	* 8.6425	2.57348
			65-75	0.195	2.57348
			65-85	-0.2325	2.57348
			65-95	* 6.32	2.57348
			75-85	-0.4275	2.57348
			75-95	* 6.125	2.57348
			85-95	* 6.5525	2.57348
65	15.03	X	55-65	2.3225	2.57348
			55-75	2.5175	2.57348
			55-85	2.09	2.57348
			55-95	* 8.6425	2.57348
			65-75	0.195	2.57348
			65-85	-0.2325	2.57348
			65-95	* 6.32	2.57348
			75-85	-0.4275	2.57348
			75-95	* 6.125	2.57348
			85-95	* 6.5525	2.57348
85	15.2625	X	55-65	2.3225	2.57348
			55-75	2.5175	2.57348
			55-85	2.09	2.57348
			55-95	* 8.6425	2.57348
			65-75	0.195	2.57348
			65-85	-0.2325	2.57348
			65-95	* 6.32	2.57348
			75-85	-0.4275	2.57348
			75-95	* 6.125	2.57348
			85-95	* 6.5525	2.57348
55	17.3525	X	55-65	2.3225	2.57348
			55-75	2.5175	2.57348
			55-85	2.09	2.57348
			55-95	* 8.6425	2.57348
			65-75	0.195	2.57348
			65-85	-0.2325	2.57348
			65-95	* 6.32	2.57348
			75-85	-0.4275	2.57348
			75-95	* 6.125	2.57348
			85-95	* 6.5525	2.57348

\* diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 13 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 157, calibre 13 mm, medición a 100 mm del ápice.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of	Df	Mean	F-Ratio	P-Value
		Main effects	Squares		Square		
UC-157	13	Temperatura	95.0767	4	23.7692	8.52	0,0017
		tiempo	29.6257	3	9.87522	3.54	0.0482

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Temperatura (°C)	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/-Límites
95 85 75 65 55	10.3025 12.445 15.0325 15.61 16.0225	X X X X X	55-65	0.4125	2.57348
			55-75	0.99	2.57348
			55-85	* 3.5775	2.57348
			55-95	* 5.72	2.57348
			65-75	0.5775	2.57348
			65-85	* 3.165	2.57348
			65-95	* 5.3075	2.57348
			75-85	* 2.5875	2.57348
			75-95	* 4.73	2.57348
			85-95	2.1425	2.57348

\* diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.



**ANEXO 14 Análisis de varianza y test de rangos múltiples para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en la firmeza de espárragos verdes. Cultivar UC - 157, calibre 13 mm, medición a 135 mm del ápice.**

Cultivar	Calibre (mm)	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
		Main effects					
UC-157	13	Temperatura	100.177	4	25.0442	6.38	0,0054
		tiempo	36.4323	3	12.1441	3.10	0.0675

Valor de  $P < 0,05$  diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Temperatura (°C)	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/-Limites
95 85 65 75 55	13.2575 15.3925 15.8375 18.1175 19.7025	X XX X XX X	55-65	* 4.31	3.05164
			55-75	1.585	3.05164
			55-85	* 3.865	3.05164
			55-95	* 6.445	3.05164
			65-75	-2.725	3.05164
			65-85	-0.445	3.05164
			65-95	2.135	3.05164
			75-85	2.58	3.05164
			75-95	* 4.86	3.05164
			85-95	2.58	3.05164

\* diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

**ANEXO 15 Análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de escaldado sobre la firmeza de espárragos verdes en cada tratamiento.**

Cultivar	Calibre (mm)	Zona de medición	Temperatura (°C)				
			95	85	75	65	55
UC-157	10	100 mm del ápice	0	0	0.9832	0.8739	0.4312
		135 mm del ápice	0	0.0072	0.5645	0.0910	0.9176
	13	100 mm del ápice	0	0	0.1467	0.6105	0.9594
		135 mm del ápice	0	0.0064	0.9784	0.0653	0.3909
UC-72	10	100 mm del ápice	0	0.0001	0.1223	0.1876	0.4806
		135 mm del ápice	0	0.0134	0.1796	0.6568	0.9796
	13	100 mm del ápice	0	0	0.1795	0.0919	0.554
		135 mm del ápice	0	0	0.8838	0.2924	0.2596

Valor de  $p < 0.05$  indica diferencia estadísticamente significativa

**ANEXO 16 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 72 de calibre 10 mm y a 100 mm del ápice.**

Análisis de Regresión Múltiple					
-----					
Variable dependiente: firmezaUC7210100					
-----					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
-----					
CONSTANTE	45,3957	5,81522	7,80636	0,0000	
temperatura	-0,3396	0,0643597	-5,27659	0,0000	
tiempo	-0,961992	0,125641	-7,65666	0,0000	
-----					
Análisis de Varianza					
-----					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
Modelo	268,62	2	134,31	43,23	0,0000
Residuo	83,879	27	3,10663		
-----					
Total (Corr.)	352,499	29			
-----					
R-cuadrado = 76,2045 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74,4419 porcentaje					
Error estándar de est. = 1,76256					
Error absoluto medio = 1,37587					
Estadístico de Durbin-Watson = 1,75274 (P=0,1444)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,0938216					
El StatAdvisor					
La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre firmezaUC7210100 y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es					
firmezaUC7210100 = 45,3957 - 0,3396*temperatura - 0,961992*tiempo					
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.					

**ANEXO 17 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 72 de calibre 10 mm y a 135 mm del ápice.**

Análisis de Regresión Múltiple					
-----					
Variable dependiente: firmezaUC7210135					
-----					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
-----					
CONSTANTE	41,8183	7,17002	5,83239	0,0000	
temperatura	-0,2874	0,0793539	-3,62175	0,0012	
tiempo	-1,07104	0,154912	-6,91382	0,0000	
-----					
Análisis de Varianza					
-----					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
Modelo	287,702	2	143,851	30,46	0,0000
Residuo	127,515	27	4,72278		
-----					
Total (Corr.)	415,217	29			
-----					
R-cuadrado = 69,2896 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 67,0147 porcentaje					
Error estándar de est. = 2,1732					
Error absoluto medio = 1,58181					
Estadístico de Durbin-Watson = 1,53961 (P=0,0473)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,1925					
El StatAdvisor					
La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre firmezaUC7210135 y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es					
firmezaUC7210135 = 41,8183 - 0,2874*temperatura - 1,07104*tiempo					
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.					

**ANEXO 18 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 72 de calibre 13 mm y a 100 mm del ápice.**

Análisis de Regresión Múltiple					
-----					
Variable dependiente: firmezaUC7213100					
-----					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
-----					
CONSTANTE	43,2135	6,20436	6,96501	0,0000	
temperatura	-0,289733	0,0686665	-4,21943	0,0002	
tiempo	-1,33067	0,134049	-9,92676	0,0000	
-----					
Análisis de Varianza					
-----					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
Modelo	411,43	2	205,715	58,17	0,0000
Residuo	95,4806	27	3,53632		
-----					
Total (Corr.)	506,91	29			
-----					
R-cuadrado = 81,1642 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79,769 porcentaje					
Error estándar de est. = 1,88051					
Error absoluto medio = 1,43628					
Estadístico de Durbin-Watson = 1,55382 (P=0,0515)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,175548					
El StatAdvisor					
La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre firmezaUC7213100 y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es					
firmezaUC7213100 = 43,2135 - 0,289733*temperatura - 1,33067*tiempo					
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.					

**ANEXO 19 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 72 de calibre 13 mm y a 135 mm del ápice.**

Análisis de Regresión Múltiple					
-----					
Variable dependiente: firmezaUC72 13135					
-----					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
-----					
CONSTANTE	28,3934	9,72917	2,91838	0,0070	
temperatura	-0,0970667	0,107677	-0,90146	0,3753	
tiempo	-1,44127	0,210204	-6,85652	0,0000	
-----					
Análisis de Varianza					
-----					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
Modelo	415,871	2	207,936	23,91	0,0000
Residuo	234,786	27	8,69579		
-----					
Total (Corr.)	650,658	29			
-----					
R-cuadrado = 63,9155 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 61,2426 porcentaje					
Error estándar de est. = 2,94886					
Error absoluto medio = 2,32473					
Estadístico de Durbin-Watson = 1,22611 (P=0,0044)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,335982					
El StatAdvisor					
-----					
La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre firmezaUC72 13135 y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es					
firmezaUC72 13135 = 28,3934 - 0,0970667*temperatura - 1,44127*tiempo					
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.					

**ANEXO 20 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 157 de calibre 10 mm y a 100 mm del ápice.**

Análisis de Regresión Múltiple					
-----					
Variable dependiente: firmezaUC15710100					
-----					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
-----					
CONSTANTE	49,2903	6,336	7,7794	0,0000	
temperatura	0,3884	0,0701235	-5,5388	0,0000	
tiempo	1,29905	0,136893	-9,48956	0,0000	
-----					
Análisis de Varianza					
-----					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
Modelo	445,249	2	222,625	60,37	0,0000
Residuo	99,5753	27	3,68797		
-----					
Total (Corr.)	544,825	29			
-----					
R-cuadrado = 81,7234 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80,3696 porcentaje					
Error estándar de est. = 1,92041					
Error absoluto medio = 1,52248					
Estadístico de Durbin-Watson = 1,13382 (P=0,0018)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,418217					
El StatAdvisor					
La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre firmezaUC15710100 y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es					
firmezaUC15710100 = 49,2903 - 0,3884*temperatura - 1,29905*tiempo					
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.					

**ANEXO 21 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 157 de calibre 10 mm y a 135 mm del ápice.**

Análisis de Regresión Múltiple					
-----					
Variable dependiente: firmezaUC15710135					
-----					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
-----					
CONSTANTE	67,3829	7,7825	8,65826	0,0000	
temperatura	-0,5558	0,0861324	-6,45285	0,0000	
tiempo	-1,30558	0,168145	-7,76459	0,0000	
-----					
Análisis de Varianza					
-----					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
Modelo	567,138	2	283,569	50,96	0,0000
Residuo	150,231	27	5,5641		
-----					
Total (Corr.)	717,369	29			
-----					
R-cuadrado = 79,0581 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77,5068 porcentaje					
Error estándar de est. = 2,35883					
Error absoluto medio = 1,89055					
Estadístico de Durbin-Watson = 1,69622 (P=0,1110)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,127597					
El StatAdvisor					
La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre firmezaUC15710135 y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es					
firmezaUC15710135 = 67,3829 - 0,5558*temperatura - 1,30558*tiempo					
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.					



**ANEXO 22 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 157 de calibre 13 mm y a 100 mm del ápice.**

Análisis de Regresión Múltiple					
-----					
Variable dependiente: firmezaUC15713100					
-----					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
-----					
CONSTANTE	32,3172	4,87987	6,62256	0,0000	
temperatura	0,175933	0,0540078	-3,25756	0,0030	
tiempo	-1,26861	0,105432	-12,0324	0,0000	
-----					
Análisis de Varianza					
-----					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
Modelo	339,938	2	169,969	77,70	0,0000
Residuo	59,066	27	2,18763		
-----					
Total (Corr.)	399,003	29			
-----					
R-cuadrado = 85,1966 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 84,1001 porcentaje					
Error estándar de est. = 1,47906					
Error absoluto medio = 1,16661					
Estadístico de Durbin-Watson = 2,31166 (P=0,1069)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,16542					
El StatAdvisor					
La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre firmezaUC15713100 y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es					
firmezaUC15713100 = 32,3172 - 0,175933*temperatura - 1,26861*tiempo					
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.					

**ANEXO 23 Análisis de regresión múltiple para el modelo de la firmeza en espárragos verdes UC – 157 de calibre 13 mm y a 135 mm del ápice.**

Análisis de Regresión Múltiple					
-----					
Variable dependiente: firmezaUC15713135					
-----					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
-----					
CONSTANTE	34,5704	8,83279	3,91387	0,0006	
temperatura	-0,167	0,0977565	-1,70833	0,0990	
tiempo	-1,26543	0,190838	-6,63091	0,0000	
-----					
Análisis de Varianza					
-----					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
Modelo	336,054	2	168,027	23,44	0,0000
Residuo	193,516	27	7,16725		
-----					
Total (Corr.)	529,569	29			
-----					
R-cuadrado = 63,4579 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 60,7511 porcentaje					
Error estándar de est. = 2,67717					
Error absoluto medio = 1,87794					
Estadístico de Durbin-Watson = 2,16691 (P=0,2020)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,0918231					
El StatAdvisor					
La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre firmezaUC15713135 y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es					
firmezaUC15713135 = 34,5704 - 0,167*temperatura - 1,26543*tiempo					
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.					