

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

**Efecto del Tratamiento Térmico sobre la Textura de la Murta  
(*Ugni molinae* Turcz) definida como Resistencia a la Ruptura**

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

**Luis Miguel Olivera Fuentealba**

VALDIVIA – CHILE  
2004

## **PROFESOR PATROCINANTE:**

Kong Shun Ah-Hen  
Ingeniero en Alimentos, Dipl.- Ing.; Dr.-Ing.  
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

## **PROFESORES INFORMANTES:**

Erwin R. Carrasco Ruiz  
Ingeniero Civil Químico  
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Fernando E. Figuerola Rivas  
Ingeniero Agrónomo, Master of Science  
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

## DEDICATORIA

*A mis queridos Padres*  
**Armin Luis y Maria Teresa**

## AGRADECIMIENTOS

*A mis queridos padres y hermanos por su apoyo, comprensión, amor y cariño incondicional.*

*A mi estimado profesor Dr. Kong Shun Ah-Hen, Profesor Patrocinante de esta Tesis, por su guía, y paciencia, que resultaron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo.*

*A los Profesores Informantes, Sr. Fernando Figuerola y Sr. Erwin Carrasco, por manifestarse siempre dispuestos y atentos a las consultas realizadas por mi persona.*

*A mis leales amigos Javier y Luis por su cooperación generosa y acertadas sugerencias que contribuyeron a lograr el éxito de ésta.*

## ÍNDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Murta o Murtila ( <i>Ugni molinae</i> Turcz)	3
2.1.1	Características de la murta	3
2.1.2	Descripción de algunas variedades de murta	4
2.1.3	Usos y comercialización de la murta	5
2.2	Tratamiento térmico y valor de cocción	5
2.2.1	Penetración de calor en los productos envasados	7
2.2.2	Punto crítico	8
2.3	Textura de alimentos	9
2.3.1	Firmeza	11
2.3.2	Esfuerzo en medición de textura	12
2.3.3	Deformación en la medición de textura	13
2.3.4	Características reológicas de los alimentos	15
2.4	Medidas instrumentales de textura	15
2.5	Algunas utilizaciones de la medición instrumental de textura en la industria de alimentos	16
2.6	Técnicas de medidas de la calidad de frutas	20
2.7	Equipo universal de prueba de materiales INSTRON	22
3	MATERIAL Y MÉTODO	24
3.1	Lugar del ensayo	24
3.2	Materiales	24

3.3	Equipos	24
3.4	Diseño experimental	25
3.5	Metodología	26
3.5.1	Preparación de las muestras de murta para los ensayos	26
3.5.2	Tratamiento térmico y adquisición de datos	26
3.5.3	Determinación de parámetros de textura	27
3.5.4	Cuantificación de los tratamientos térmicos	29
3.5.5	Parámetros texturales	31
3.5.6	Análisis Estadístico	36
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
4.1	Materia prima	38
4.1.1	Distribución de tamaño en la materia prima	38
4.1.1.1	Diámetro polar	38
4.1.1.2	Diámetro ecuatorial	38
4.2	Curvas de calentamiento-enfriamiento	40
4.3	Equivalente energético	43
4.4	Parámetros texturales	44
4.4.1	Fuerza de ruptura	44
4.4.2	Esfuerzo real de ruptura	45
4.4.3	Altura relativa de ruptura	46
4.4.4	Deformación real a la ruptura	46
4.4.5	Pseudo-módulo de deformabilidad	47
4.4.6	Valores del coeficiente de Poisson en alimentos	48
4.4.6.1	Cálculo del coeficiente de Poisson para la murta	48
4.4.6.2	Coeficientes de Poisson obtenidos en los ensayos para la murta tratada en medio acuoso con y sin azúcar	49
4.4.6.3	Interpretación de resultados	50
4.5	Parámetros cinéticos	51
4.5.1	Estimación de un valor $D$	52

4.5.2	Estimación de un valor $z$	54
5	CONCLUSIONES	56
6	RESUMEN	58
	SUMMARY	59
7	BIBLIOGRAFÍA	60
	ANEXOS	65

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro		Página
1	Composición química de algunos productos forestales no maderables	4
2	Diámetro de frutas por variedad	5
3	Parámetros cinéticos de algunos atributos de calidad	7
4	Resultados del análisis de varianza y prueba de rangos múltiples para <i> fuerza de fractura </i> de las barras de chocolate evaluadas en el texturómetro INSTRON	19
5	Resultados del análisis de varianza y prueba de rangos múltiples de Duncan para <i> fuerza de penetración </i> a 2 mm de profundidad de las barras de chocolate evaluadas en el texturómetro INSTRON	19
6	Valores promedio de fuerza de ruptura en murta	44
7	Valores promedio de esfuerzo real de ruptura en murta	45
8	Valores promedio de altura relativa de ruptura en murta	46
9	Valores promedio de deformación real a la ruptura en murta	47
10	Valores promedio de pseudo-módulo de deformabilidad en murta	47
11	Equivalente energético, tiempo equivalente y esfuerzo real de ruptura ( $\sigma_R$ ) por tratamiento y por lote de recolección	51
12	Resumen de datos para el cálculo de un valor <i>D</i> promedio	53
13	Resumen de datos para el cálculo de un valor <i>z</i> promedio	55



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del conector en una lata conservera calentada por conducción o convección	9
2	Firmeza promedio usando el ensayo de compresión con bola o esfera para melón y kiwi	12
3	Esquema de una curva de compresión uniaxial a velocidad constante	17
4	Perfil reológico de quesos argentinos de pasta dura y semidura	18
5	Ensayos mecánicos realizados con un Texture Analyser XT2, máquina universal de ensayos de sobremesa para el análisis de textura	21
6	Montaje del ensayo con el sistema de calentamiento, enfriamiento y registro de datos	27
7	Compresión de la murta en equipo universal de prueba de materiales, INSTRON 1011	29
8	Representación gráfica del módulo de deformabilidad y del pseudo-módulo de deformabilidad	35
9	Distribución del diámetro polar en murta fresca y tratada para cada lote de recolección	39
10	Distribución del diámetro ecuatorial en murta fresca y tratada para cada lote de recolección	40
11	Perfiles de temperatura registradas durante los tratamientos térmicos a la murta en un medio acuoso	42

12	Esquema utilizado en el cálculo del equivalente energético para los diferentes tratamientos térmicos	43
13	Coeficiente de Poisson para murta fresca y tratada en medio acuoso con y sin azúcar para tres lotes de recolección	49
14	Tiempo de reducción decimal $D$ para esfuerzo real de ruptura en murta a la temperatura de 100 °C	52
15	Valor $z$ para el esfuerzo real de ruptura en murta	54

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo		Página
1	Planilla confeccionada para recolectar los datos entregados por el texturómetro INSTRON modelo 1011	66
2	Análisis Estadístico	67

## 1. INTRODUCCIÓN

La murta o murtilla (*Ugni molinae* Turcz), es una planta endémica que crece principalmente en forma silvestre en el centro y sur de Chile, principalmente entre las regiones VII y X. Esta planta ha despertado gran interés como una alternativa frutícola, debido a las características de aroma, sabor y textura de sus frutos.

Una gran gama de productos elaborados sobre la base de la murta como küchenes, empanadas, licores, mermeladas, jarabes, conservas, entre otros, son altamente apreciados, constituyendo al mismo tiempo, una fuente de trabajo para un segmento del sector rural y urbano que se dedica a la recolección y venta durante el período de fructificación de la especie desde marzo a mayo. No se ha desarrollado hasta el momento un aprovechamiento industrial de este fruto, lo cual debería cambiar a raíz de los diversos trabajos que se están realizando en el país.

El conocimiento científico en las distintas áreas de la tecnología de los alimentos entregan un gran número de herramientas para conocer las propiedades químicas, bioquímicas, físico-químicas y sensoriales de éstos. Es por ello que en el presente trabajo se hizo un breve estudio del efecto de la temperatura sobre la textura de la murta a través de un equipo universal para prueba de materiales INSTRON, modelo 1011 *Testing System*, para así por medio de algunos parámetros objetivos de calidad lograr cuantificar un aspecto de la textura de la murta. Obedeciendo a que la textura es uno de los atributos de calidad más importantes en la determinación de la aceptabilidad de frutas y vegetales, se planteó, como hipótesis de trabajo, que la textura, definida como firmeza de la murta en conserva varía, con el tratamiento térmico y el medio de cobertura y, es cuantificable a través de una medición objetiva.

**Objetivo general**

Conocer la variación de textura, definida como firmeza, en murta tratada a temperaturas sobre 100 °C en líquidos a diferentes concentraciones de azúcar.

**Objetivos específicos**

- Encontrar parámetros texturales para cuantificar la firmeza de la murta a través de ensayos de compresión, que llevan a la ruptura de la fruta, utilizando un equipo universal de prueba de materiales INSTRON Modelo 1011.
  
- Determinar la textura de la murta en medio acuoso y azucarado, en función de tratamientos térmicos sobre 100 °C, utilizando los parámetros de textura encontrados.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Murta o Murtilla (*Ugni molinae* Turcz)

En Chile existen alrededor de 6.265 especies de plantas, de ellas, un 14,5% son introducidas y el 85,5% restante lo constituyen especies originarias del país, dentro de este grupo se encuentra la murta o murtilla, especie silvestre frecuente en el bosque nativo del sur de Chile (SEGUEL, 1999). La murta (*Ugni molinae* Turcz) es una de las más populares frutas silvestres del sur de Chile y la única investigada a nivel productivo. Sus cualidades son comparables a las de otros berries, por lo que existe gran interés internacional por desarrollar su cultivo, como muestran los artículos de LANDRUN y DONOSO, (1990) y TACON, (2004). Esta especie arbustiva posee una distribución muy amplia, encontrándose desde la Sexta hasta la Décima primera Región, tanto en la Cordillera de la Costa como en la Cordillera de los Andes (LANDRUN y DONOSO, 1990). Se puede encontrar en lugares con fuertes perturbaciones, apareciendo por lo general como especie pionera. Se estima que sólo en la Décima Región existen alrededor de 5.000 hectáreas de murtales que se encuentran principalmente en lugares alterados con suelos pobres (SEGUEL, 1999).

**2.1.1 Características de la murta.** Perteneciente a la nutrida familia de las Mirtáceas, sus poblaciones poseen una alta variabilidad genética, observándose frutos muy diferentes en cuanto a tamaño y color. Su fruto es una pequeña baya carnosa que madura durante los meses de marzo a mayo y que posee una pulpa jugosa en cuyo interior hay una gran cantidad de pequeñas semillas. Todo ésto rodeado por una cubierta externa con un alto contenido de

fibra y de un color muy variable entre rosado y blanquecino (TACON, 2004). Su composición química se muestra en el CUADRO 1.

**CUADRO 1. Composición química de algunos productos forestales no maderables**

	<i>Humedad*</i> g /100 g	<i>Valor energético</i> cal/100g	<i>Proteínas</i> g /100 g	<i>Lípidos</i> g /100 g	<i>Fibra Cruda**</i> g /100 g
<b>Murta</b>	77,2	75	0,3	1,0	1,8
Maqui	56,4	150	0,8	—	0,8
Avellana	7,5	555	12,4	49,3	2,8
Piñón	43,1	232	4,5	1,3	2,2
Digueño	88,3	44	2,9	0,7	0,5
Changle	92,6	25	1,4	0,2	0,5

FUENTE: Tabla de composición química de alimentos chilenos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile, 1985 (composición en porcentaje del peso de parte comestible)

\* Humedad no es un parámetro fijo, ya que el secado de las semillas afecta los porcentajes del resto de los componentes.

\*\* El porcentaje de fibra está afectada por el grado de cascarilla presente.

**2.1.2 Descripción de algunas variedades de murta.** En forma general se conocen tres variedades de murta en la décima región. Fundamentalmente se distinguen por el color del fruto y otras características físicas del mismo (NOVOA, 1982).

- Variedad rosada: Presenta color rosado fuerte muy aromática y sabor dulce.
- Variedad blanca: Color amarillo-pálido con manchas rosadas. Menor resistencia a la presión y de madurez temprana.
- Variedad granate: Color granate, menor tamaño, aromática, sabor ácido. Epidermis mas gruesa y por lo tanto mayor resistencia a la presión.

NOVOA (1982) menciona que a estas variedades se les realizó un ensayo de medición del diámetro ecuatorial en la provincia de Valdivia y se comparó con los valores de diámetro obtenidos en la provincia de Osorno (ALBA, 1977), los resultados se muestran en el CUADRO 2:

**CUADRO 2. Diámetro de frutas**

Variedad	Osorno		Valdivia	
	Diámetro, mm	n	Diámetro, mm	n
Rosada	10,2	200	11,3	100
Blanca	10,4	1.100	12,2	100
Granate	9,4	3.500	10,6	100

FUENTE: NOVOA (1982)

En general se confirman los antecedentes conocidos respecto a tamaño. Aparentemente las murtas de Valdivia tienen un mayor diámetro promedio.

**2.1.3 Usos y comercialización de la murta.** Ésta es recolectada y comercializada en todo el sur de Chile para su venta en fresco durante los meses de marzo y mayo, tanto a nivel local como regional. Por lo general se consume en fresco, aunque es utilizada comúnmente para la elaboración doméstica de mermeladas, confituras, licores, tortas y pasteles durante los meses en que este fruto es abundante. A nivel industrial se ha registrado la elaboración de jugos y pastas concentradas, utilizadas en la fabricación de helados artesanales así como en la tradicional elaboración de confituras de murta con membrillo (TACON, 2004).

## **2.2. Tratamiento térmico y valor de cocción**

El objetivo primordial del tratamiento térmico de los alimentos enlatados es asegurar la destrucción de todos los organismos vivos capaces de deteriorarlos o de perjudicar la salud del consumidor. Es necesario, además, conservar las cualidades organolépticas y nutritivas en cuanto sea posible y hay que ajustar



científicamente la intensidad del tratamiento térmico, porque un proceso, perfecto desde el punto de vista culinario, puede no bastar para la eliminación de los organismos productores de alteraciones alimenticias. Por lo tanto, hay que conocer y definir los procesos o tratamientos estándar (HERSOM y HULLAND, 1995). Por regla general, las reacciones responsables de los cambios encontrados en los componentes de los alimentos cuando se someten a un procesado térmico, obedecen a una cinética similar a la descrita para la destrucción térmica de microorganismos. Por lo tanto, se definen los parámetros  $D$  y  $z$  correspondientes a la destrucción de un componente termolábil, siendo  $D$  el tiempo necesario para una reducción decimal del recuento de microorganismos, mientras que  $z$  es definido como el intervalo de temperatura para dicha reducción decimal (CASP y ABRIL, 1999).

El procesado térmico no sólo incide sobre los microorganismos presentes en el alimento, sino que afecta la calidad general del mismo, por lo que se utiliza un valor de cocción denominado  $C$ , que es un concepto parecido a la letalidad, pero aplicado a la degradación sensorial – cambio de textura (POTTER y HOTCHKISS, 1999). En este mismo aspecto, por regla general, las reacciones responsables de los cambios encontrados en los componentes de los alimentos cuando se someten a un proceso térmico, obedecen a una cinética similar a la descrita para la destrucción térmica de microorganismos (CASP y ABRIL, 1999). Por lo tanto, encontraremos los parámetros  $D$  y  $z$  correspondientes a la destrucción de un componente termolábil, por ejemplo en la inactivación de una enzima, la desnaturalización de una proteína, la destrucción de una vitamina, la decoloración o pardeamiento, el cambio en la textura, y otros. Generalmente estas reacciones son menos termodependientes que la destrucción térmica de microorganismos, por lo que será posible encontrar una pareja tiempo-temperatura que consiga el deseado efecto germicida a la vez que la preservación de la calidad nutricional y organoléptica del alimento. En el CUADRO 3 se recogen los valores de los parámetros  $D$  y  $z$  para algunas reacciones secundarias.

**CUADRO 3. Parámetros cinéticos de algunos atributos de calidad**

Producto/Atributo	Temp. °C	$D$ $10^{-3}$ s	$Z$ K	Referencia
<b>• Vitaminas</b>				
Vitamina A	122	2,4	23	WILKINSON <i>et al.</i> (1981)
Vitamina B <sub>1</sub>	150	0,83	22	FELICIOTTI y ESSELAN (1957)
Vitamina B <sub>6</sub>	121	24,0	45	NAVANKATTUSAS y LUND (1982)
Acido pantoténico	121,1	138,0	35,8	HAMM y LUND (1978)
Vitamina C	121,1	50	18,2	LATHROP y LEUNG (1980)
<b>• Enzimas</b>				
Peroxidasa	120	0,83	27,8	ADAMS (1978)
Pectinesterasa	80	16,7-3,7	7,8	MASSAGUER <i>et al.</i> (1994)
Polifenoloxidasa	89	0,1	7,8	DAGERSKOG (1977)
<b>• Textura</b>				
Porotos	110	84,9	21,3	VAN LOEY <i>et al.</i> (1955)
Zanahorias	121,1	0,59	47	HUANG y BOURNE (1983)
Porotos Verdes	121,1	0,12	16,9	TIJSKENS y SCHIJVENS (1987)
Arvejas	121,1	0,14	31,8	HAYAKAWA <i>et al.</i> (1977)
Papas	100	0,048	17,0	DAGERSKOG (1977)
Arroz	75	4,6	35,2	SUSUKI <i>et al.</i> (1976)
<b>• Color</b>				
<i>Pigmentos verdes</i>				
Espárragos	121,1	1,02	41,6	HAYAKAWA y TIMBERS (1971)
Porotos Verdes	121,1	1,26	38,8	HAYAKAWA y TIMBERS (1971)
Arvejas	121,1	1,5	39,4	HAYAKAWA y TIMBERS (1971)
Espinacas	148,8	0,21	51,1	GUPTA <i>et al.</i> (1964)
<i>Pigmentos rojos</i>				
Uva	121	7,2	54,7	MISHKIN y SAGUY (1982)
<i>Pardeamiento</i>				
Leche	130	0,012	26,7	KESSLER y FINK (1986)

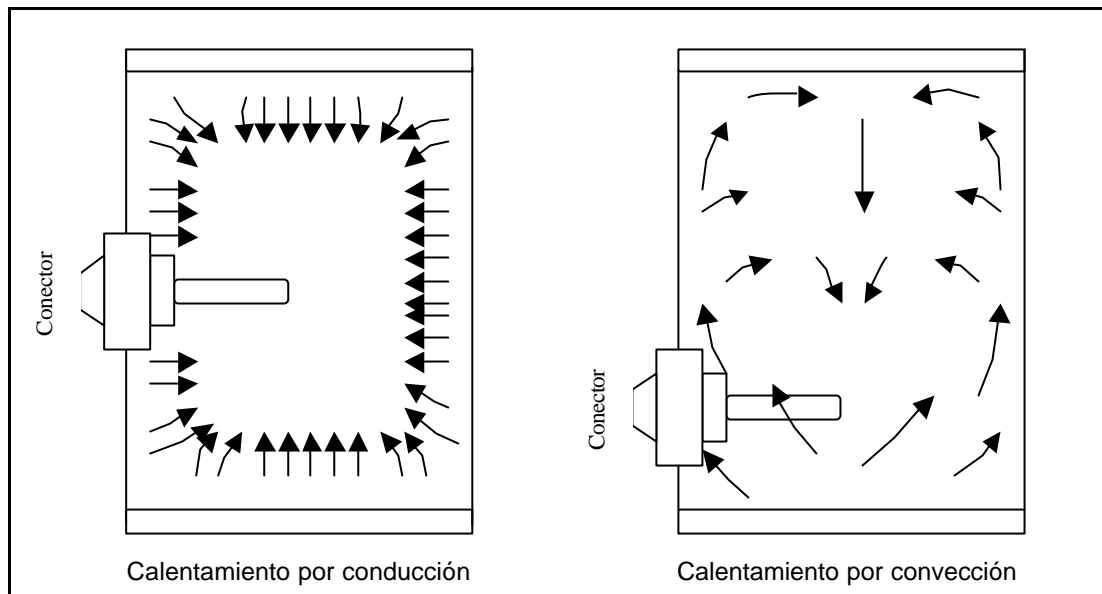
FUENTE: CASP Y ABRIL (1999)

**2.2.1 Penetración de calor en los productos envasados.** Si los envases se calientan desde el exterior, como ocurre en los autoclaves, cuanto mayor sea el envase más tiempo tardará el calor en llegar hasta la porción central del mismo. Sin embargo, hay otros factores, además del tamaño y la forma del envase, que afectan a la penetración del calor en el alimento. De ellos, el principal es su naturaleza y consistencia que determinarán, por ejemplo, que el calor alcance el centro por conducción o lo haga más rápidamente por corrientes de convección que se produzcan en la lata (POTTER y HOTCHKISS, 1999). La norma general será que el producto, antes de alcanzar la temperatura de régimen, haya tenido

una historia tiempo-temperatura más o menos larga que dependerá de los factores mencionados y de la eficacia del sistema de calentamiento empleado, y que en el enfriamiento ocurra algo semejante aunque en sentido inverso. Para conocer la letalidad o la modificación de las características del producto ocurrida durante un tratamiento en estas condiciones, se tendrá que tener en cuenta el efecto conseguido tanto durante el calentamiento como durante el enfriamiento (CASP y ABRIL, 1999).

**2.2.2 Punto crítico.** El producto envasado absorbe calor durante el calentamiento, pero la difusión del calor depende mucho de las propiedades térmicas del producto, por lo que se forma un perfil de temperatura en el envase. Es por tanto importante conocer el punto de menor calentamiento en el producto envasado, denominado también punto crítico. En alimentos sólidos el calor penetra por conducción, y el punto crítico coincide con el centro geométrico del envase. Sin embargo, en productos líquidos la transmisión de calor ocurren además por convección y, el punto crítico no coincide con el centro geométrico., sino se encuentra situado en el eje vertical pero más cercano al fondo del envase (IBARZ y BARBOSA, 1999).

El tiempo necesario para generar temperaturas letales en el punto crítico puede determinarse con un conector dotado de una termocupla sensible a pequeños cambios de temperatura. Las latas con la termocupla se llenan con el alimento bajo estudio, se cierran y se colocan en el autoclave. A medida que se va inyectando vapor la temperatura va ascendiendo y se va registrando respecto al tiempo (POTTER y HOTCHKISS, 1999). La FIGURA 1 muestra una manera para colocar la termocupla para medir la temperatura en los puntos más fríos de los alimentos enlatados que se calientan por conducción y convección.



**FIGURA 1. Localización del conector en una lata conservera calentada por conducción o convección**

FUENTE: POTTER y HOTCHKISS (1999)

### 2.3 Textura de alimentos

Algunas propiedades físicas de los alimentos, tales como la forma y el color, no permanecen constantes, debido fundamentalmente a los cambios en el contenido de agua y al envejecimiento. Las frutas y hortalizas frescas, también pierden consistencia a medida que las paredes celulares se rompen y las células pierden agua, lo que se conoce como pérdida de turgencia o tumescencia. A medida que el agua desaparece del fruto, éste se seca y endurece, lo que es deseable en algunos productos tales como; ciruelas desecadas, pasas, entre otros, en cambio en productos como el pan la pérdida de agua durante el envejecimiento es un signo de merma de calidad (POTTER Y HOTCHKISS, 1999). Además de las modificaciones de la textura de los alimentos sin procesar es importante ver cómo evoluciona la textura durante un tratamiento térmico, el cual es un proceso complejo, y dependerá en primer lugar de que el medio en que se produzca la cocción sea o no húmedo. En los tejidos vegetales, la hidrólisis de los constituyentes de las paredes celulares y el

hinchamiento debido a la expansión de los gases y a los cambios en la capacidad de retención de agua afectan también a la textura (CASP y ABRIL, 1999). La textura es primeramente la responsable del sentido táctil para el estímulo físico que resulta del contacto entre alguna parte del cuerpo y el alimento. El sentido táctil (tocar) es el primer método para sentir la textura, pero algunas veces la cinética (sensación de movimiento y posición), la vista y el sonido son también usados para evaluar la textura (BOURNE, 2002).

Una de las características más importantes en frutas y vegetales es la textura de los tejidos. El mantenimiento de la integridad estructural, después de la cosecha es importante para retener las propiedades físicas que crean las sensaciones texturales, particularmente el de firmeza y el de crujiente en la boca (BOWERS, 1992). La textura es una de las tres propiedades sensoriales primarias de los alimentos que relacionan el sentido del tacto y sin embargo, es potencialmente capaz de medirse objetivamente por medios mecánicos en unidades de masa o fuerza (BOURNE, 2002). Se refiere a aquellos atributos de los alimentos que podemos sentir con los dedos, lengua, paladar o los dientes. El rango de texturas de los alimentos es muy grande y una desviación de lo esperado, constituye un defecto de calidad (POTTER y HOTCHKISS, 1999). La textura es la variable que involucra a todas las propiedades mecánicas de un alimento, cuya determinación incluye cinco parámetros primarios: firmeza o dureza, elasticidad, cohesividad, viscosidad y adhesividad (CHÁVEZ *et al.*, 2000). Según BOURNE (2002), las definiciones de textura entran en dos grupos. El primer grupo comprende definiciones orientadas directamente al producto en que el término textura se aplica a un atributo particular de calidad de un tipo determinado de alimento. En el segundo grupo la definición de textura se aplica a todos los alimentos que reflejen un alcance universal.

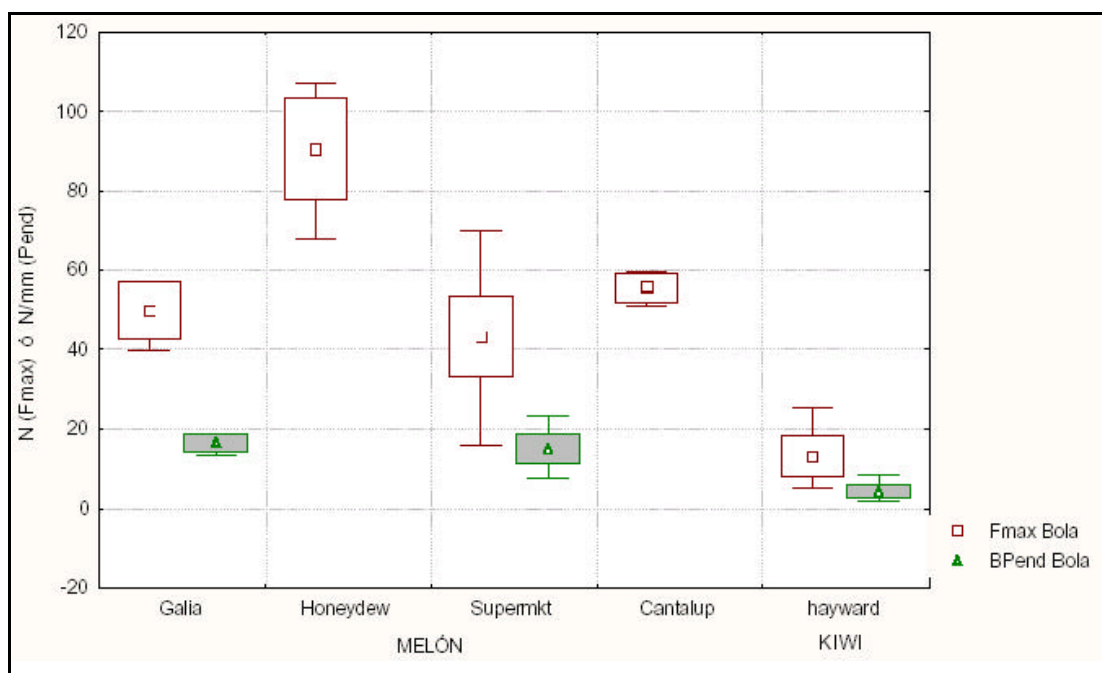
La textura es un atributo de calidad, el cual es crítico para determinar la aceptabilidad de frutas y vegetales. Es conveniente definir calidad como el compuesto de características intrínsecas que diferencia unidades de piezas.

Aunque el término se usa ampliamente, la textura no es sólo un atributo bien definido. Es un término colectivo que abarca las propiedades estructurales y mecánicas de un alimento y su percepción sensorial en la mano o en la boca. Hay definiciones de textura que restringen su uso a sólo atributos sensoriales o propiedades mecánicas directamente relacionadas a ellos y entonces el término textura tiende a incluir algunas propiedades mecánicas de interés comercial que no son de interés directo para los consumidores, sino para el productor, tal como la resistencia al daño mecánico (BOURNE, 2002).

Los términos más usados para describir la sensación de textura en frutas o verduras son múltiples. Algunos ejemplos son: duro, firme, suave, crespo, flácido, harinoso, duro, coriáceo, fundido, arenisco, lanudo, correoso, seco, jugoso y otros. No hay ningún método instrumental aceptado para medir cada uno de éstos atributos (ABBOTT, 2001). El estudio de la textura es muy importante dentro de las propiedades reológicas de un alimento, la cual comprende a diferentes aspectos de un proceso dinámico, percepción visual de la superficie de un producto, comportamiento de éste durante la manipulación previa a la ingestión e integración de la sensación experimentada al masticar, la cual se unifica en el cerebro para dar una sensación total que es la que se identifica como textura (HAGER, 1997). El análisis y las medidas de las propiedades mecánicas de los alimentos no sólo tienen interés en relación con la aceptabilidad de los mismos por el consumidor, sino también porque la evolución de alguna propiedad puede ser un buen índice de las modificaciones químicas y/o estructurales que se producen entre alimentos similares pero con una pequeña diferencia en sus procesamientos (HAGER, 1997).

**2.3.1 Firmeza.** Firmeza cualidad cuantificable que es definida como la fuerza necesaria para lograr una deformación dada. La firmeza es la resistencia de un material a la penetración, y cada material se caracteriza por una curva de deformación en respuesta a niveles variables de fuerza o presión (CHÁVEZ et

*al.*, 2000). La firmeza correspondería, a describir la característica de textura de un producto, al despliegue de una resistencia moderada a romper durante la masticación (BOURNE, 2002). A continuación en la FIGURA 2, con una compresión cuasi-estática con bola, se muestran a modo de ejemplo, algunos valores de firmeza para melón (variedad Galia, Honeydew, Supermarket y Cantalupo) y kiwi variedad Hayward, por medio de las variables de fuerza máxima (Fmax) y de razón de fuerza/deformación = pendiente (BPend). En él se aprecia que el melón tiene un mayor valor de firmeza que el kiwi, destacándose la variedad Honeydew con una Fmax de más o menos 90 N. En cambio el kiwi presenta un valor de Fmax bajo los 20 N (VALERO y RUIZ 2000).



**FIGURA 2. Firmeza promedio usando el ensayo de compresión con bola o esfera para melón y kiwi**

FUENTE: VALERO y RUIZ (2000)

**2.3.2 Esfuerzo en medición de textura.** Cuando a un cuerpo cualquiera se le aplica una fuerza, la respuesta que presenta es distinta según sea el material.

Así, cuando la fuerza se aplica a un sólido elástico, se deforma, pero cuando deja de actuar dicha fuerza, el sólido recupera su forma inicial (IBARZ y BARBOSA, 1999). El esfuerzo ( $\sigma$ ) aplicado al material se define como la fuerza (F) por unidad de área (A). Todo esfuerzo aplicado a un material produce una deformación. Las deformaciones pueden ser angulares o longitudinales, según sea el tipo de esfuerzo aplicado. Este puede ser normal o tangencial. Los esfuerzos tangenciales producen deformaciones angulares, por ejemplo la cizalla. Los esfuerzos normales producen deformaciones longitudinales, que pueden ser alargamientos o acortamientos, dependiendo si el esfuerzo es de tensión o compresión (IBARZ y BARBOSA, 1999). Dentro de los esfuerzos normales cabe distinguir la tracción o tensión y la compresión, los cuales no son sinónimos. Los esfuerzos normales de tensión son positivos, mientras que los de compresión son negativos.

El esfuerzo es siempre una medición de fuerza, en una compresión uniaxial simple el esfuerzo es la fuerza por unidad de área con la unidad de  $N/m^2$  en el sistema SI (BOURNE, 2002).

**2.3.3 Deformación en la medición de textura** Es siempre una medición de distancia relativa. Es el cambio en dimensiones de una muestra de prueba causada por la aplicación de un esfuerzo. En una compresión uniaxial simple la deformación es el cambio en longitud por unidad de longitud del cuerpo original (BOURNE, 2002). Se espera que un objeto largo cambie más que un objeto corto, bajo el mismo esfuerzo. Así, la deformación es una función de ambos, de la naturaleza del material y de sus dimensiones. Para tener una propiedad que sólo es dependiente de un material, se define la deformación como la magnitud del cambio de dimensión con respecto a la dimensión inicial (SHARMA *et al.*, 2000). La dimensión puede ser la altura o el diámetro del cuerpo bajo la aplicación de una fuerza. Implícita en esta definición está la acepción de que ésta es una prueba no destructiva; es decir, la cantidad de fuerza aplicada es



menor que la exigida para romper o quebrar un artículo. Esta propiedad física es medida sensorialmente apretando el alimento en la mano. Generalmente se considera que la deformación es un método para medir la firmeza de un artículo. De hecho es preferible considerarlo como una medida de suavidad porque el producto firme da una lectura más baja que el producto suave (BOURNE, 2002).

La deformación puede ser expresada por la deformación de Hencky o la deformación de Cauchy. La deformación de Hencky tiene una ventaja de responder a cambios en dimensiones de la muestra tensionada. Ésta se define según AK (1992) como:

$$e_h = \ln \frac{H_0}{H_0 - V_z t} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:  $e_h$ : Deformación de Hencky

$H_0$ : Altura del espécimen no tensionado

$V_z$ : Velocidad de desplazamiento del cabezal móvil

$t$ : tiempo de aplicación del esfuerzo

La deformación de Cauchy es la razón de una extensión lineal a su longitud original (CASTAÑEDA, 2002). Es la deformación producida sobre una barra de longitud inicial  $L_0$ , al aplicar un esfuerzo normal de tracción, produciéndose un alargamiento, de tal forma que su longitud final es  $L = L_0 + \Delta L$  (IBARZ y BARBOSA, 1999).

$$e_c = \frac{L}{L_0} = \frac{H}{H_0} - 1 \quad \text{Ec.2.2}$$

La relación de deformación de Hencky y de Cauchy son ambas igual a cero, si no hay ningún esfuerzo aplicado y son aproximadamente iguales si las deformaciones son pequeñas. De forma general es un asunto de conveniencia

elegir una de las dos medidas, aunque se prefiera usar la definición de Hencky cuando se trata de grandes deformaciones (STEFFE, 1996).

**2.3.4 Características reológicas de los alimentos.** La reología es la ciencia que estudia el flujo y las deformaciones de sólidos y fluidos bajo la influencia de fuerzas mecánicas (IBARZ y BARBOSA, 1999). La reología de alimentos es el estudio de la deformación y flujo de las materias primas, productos intermedios, y productos finales de la industria de alimentos (BOURNE, 2002). Es la parte de la física que estudia la deformación incluyendo el flujo de los materiales, por tanto, al aplicar una fuerza sobre un producto, éste se deforma y/o fluye, y sus propiedades mecánicas pueden llamarse propiedades reológicas. La caracterización reológica de los alimentos es de gran importancia tanto para la determinación de la textura y de la estabilidad como para el diseño de los procesos productivos (HAGER, 1997).

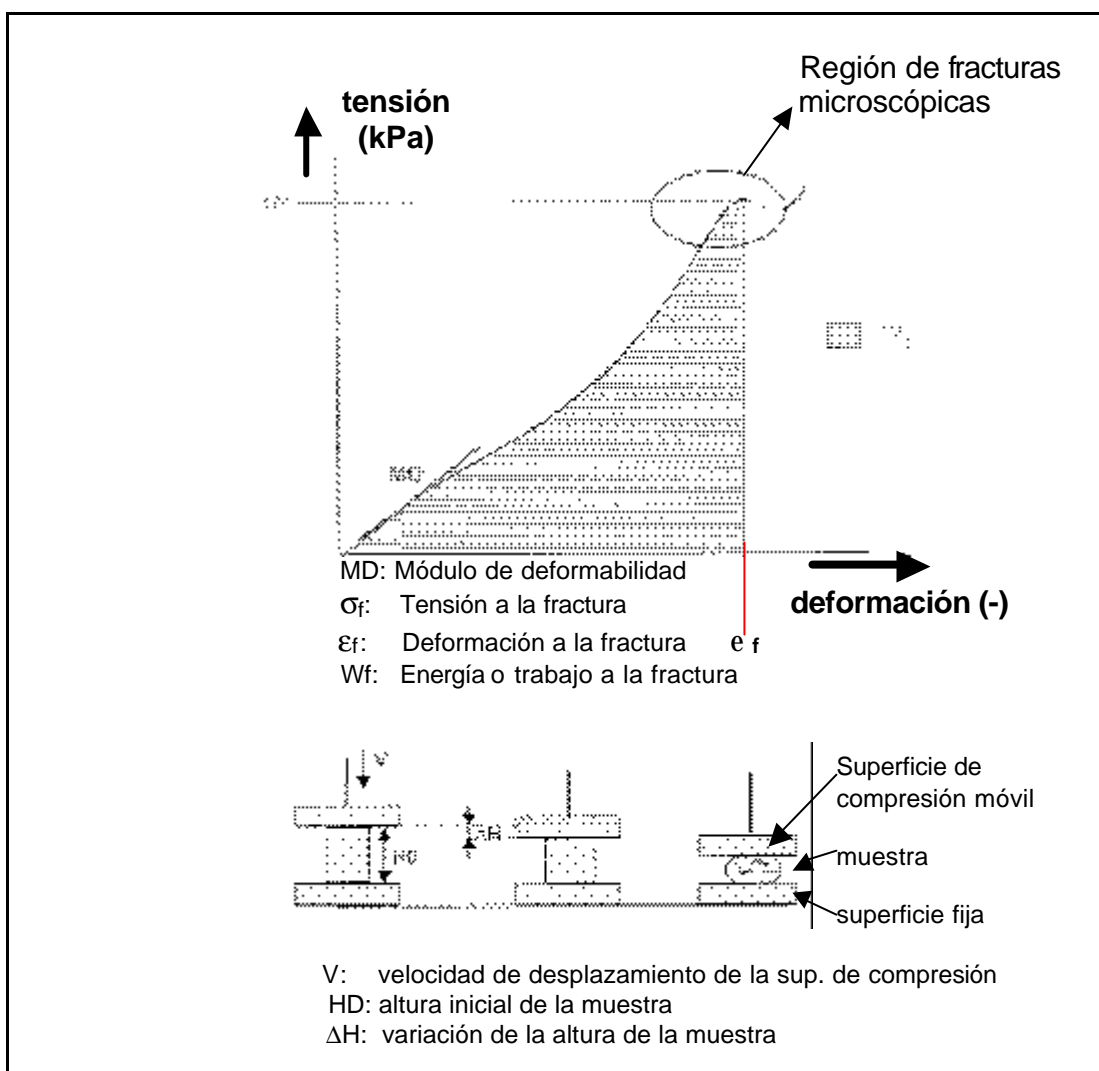
#### **2.4 Medidas instrumentales de textura**

La medida de la textura de los alimentos se reduce a la determinación de su resistencia a una fuerza. Cuando el alimento se oprime y permanece de una pieza, se trata de una compresión. Existen instrumentos de medida de cada clase de fuerza, muchos con nombres descriptivos adecuados, pero ninguno reproduce exactamente lo que ocurre en la boca (POTTER y HOTCHKISS, 1999). Se han diseñado muchos instrumentos para medir algunos atributos de la textura. Así por ejemplo, el suculómetro utiliza la compresión para exprimir el jugo de un alimento como medida de la succulencia. El tenderómetro aplica la compresión y la cizalladura para medir la dureza de los guisantes. Un instrumento de medida universal equipado con los dispositivos adecuados, puede medir la consistencia, la fragilidad y otros parámetros de la textura (POTTER y HOTCHKISS, 1999). Actualmente los instrumentos más utilizados en la industria de alimentos son los texturómetros universales INSTRON y TA-XT2 (JORGE *et al.*, 2002).

## 2.5 Algunas utilizaciones de la medición instrumental de textura en la industria de alimentos

La medición instrumental de textura hoy en día no solamente sirve para caracterizar un atributo de calidad, sino que se le ha encontrado una aplicación muy ventajosa en el control, obtención y mejora de nuevos alimentos, así tenemos su utilización en el control de la materia prima, el control de proceso y el control de productos terminados, contribuyendo con ello entre otros al ahorro de energía y mejoramiento de procesos productivos. A continuación se describen 2 ejemplos al respecto.

- Caracterización y tipificación de quesos. Obedeciendo a que el queso es uno de los alimentos más estudiados desde el punto de vista reológico, CASTAÑEDA (2002) hace mención que la textura de un queso es un parámetro importante para su clasificación y para la apreciación de su calidad. Así como también dice que las propiedades mecánicas de la textura pueden medirse a través de sus propiedades reológicas, mediante técnicas de compresión uniaxial, de relajación y de compresión dinámica. La compresión uniaxial (FIGURA 3) es un método que consiste en comprimir una muestra cilíndrica mediante un plato descendente a velocidad constante, hasta un nivel de deformación superior al del punto de fractura. La resistencia mecánica desarrollada por la muestra en respuesta a la deformación impuesta se registra a través de un captor. La medición depende de la velocidad de desplazamiento, de la superficie de compresión y de la temperatura. Los parámetros reológicos a medir a través de este método son el módulo de deformabilidad (MD), estimado como la regresión lineal de la parte inicial de la curva, y la tensión ( $\sigma_f$ ), deformación ( $\varepsilon_f$ ) y energía ( $W_f$ ) a la fractura.

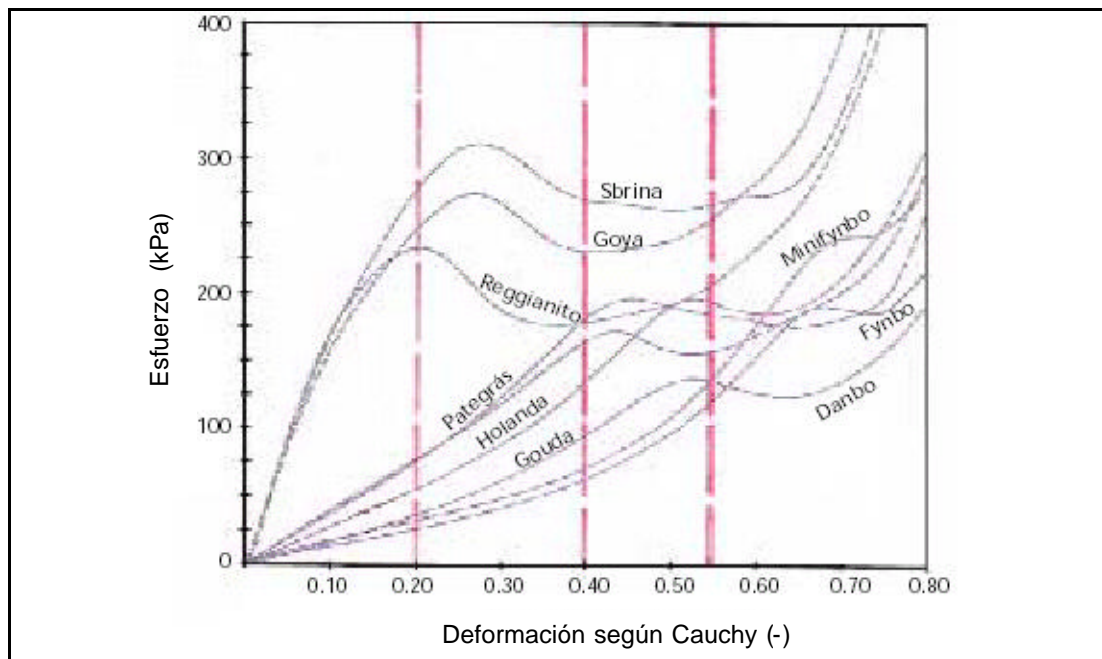


**FIGURA 3. Esquema de una curva de compresión uniaxial a velocidad constante**

FUENTE: CASTAÑEDA (2002)

Los resultados de este ensayo se muestran en la FIGURA 4, en ella se muestra el perfil reológico de quesos argentinos utilizando el ensayo de compresión uniaxial a velocidad constante, curvas tensión (kPa) vs. deformación, utilizando el texturómetro universal TA-XT2. Donde se observan dos grupos de quesos con propiedades bien diferenciadas. Los de módulo de deformabilidad elevado corresponden al grupo de los quesos de pasta dura, más frágiles y menos elásticos. Mientras que el

otro grupo, con módulos de deformabilidad más bajos, corresponden al de quesos de pasta semidura (CASTAÑEDA, 2002).



**FIGURA 4. Perfil reológico de quesos argentinos de pasta dura y semidura**

FUENTE: CASTAÑEDA (2002)

- Evaluación de un método instrumental de textura para el control de las tabletas de chocolate como materia prima. Se elaboraron tabletas de 90 mm de largo, 22,0 mm de ancho y 8,5 mm de altura, con tres tipos de pastas de chocolate diferentes que responden a tres características texturales bien definidas: chocolate amargo (CA), chocolate con 7% de grasa láctea libre (CB) y chocolate con 5% de grasa vegetal (CG). El empleo de los texturómetros universales INSTRON y TA-XT2, encontró diferencias significativas entre los valores obtenidos para cada tipo de chocolate, tanto para el atributo fragilidad como para dureza. Esto demuestra que los métodos evaluados son capaces de detectar

diferencias texturales en este tipo de producto (JORGE *et al.*, 2002). A continuación en el CUADRO 4 y CUADRO 5 se muestran los resultados obtenidos con el texturómetro universal INSTRON.

**CUADRO 4. Resultados del análisis de varianza y prueba de rangos múltiples para fuerza de fractura de las barras de chocolate evaluadas en el texturómetro INSTRON**

Muestra	"Fuerza de Fractura"	
	Kgf	N
CG	1,15 <sup>a</sup>	11,5 <sup>a</sup>
CB	2,04 <sup>b</sup>	20,4 <sup>b</sup>
CA	3,76 <sup>c</sup>	37,6 <sup>c</sup>

Letras diferentes indican diferencias significativas a  $p < 0,05$

FUENTE: JORGE *et al.* (2002)

**CUADRO 5. Resultados del análisis de varianza y prueba de rangos múltiples de Duncan para fuerza de penetración a 2 mm de profundidad de las barras de chocolate evaluadas en el texturómetro INSTRON**

Muestra	"Fuerza de penetración" a 2 mm
	g
CG	362,0 <sup>a</sup>
CB	575,0 <sup>b</sup>
CA	765,0 <sup>c</sup>

Letras diferentes indican diferencias significativas a  $p < 0,05$

FUENTE: JORGE *et al.* (2002)

## 2.6 Técnicas de medidas de la calidad de frutas

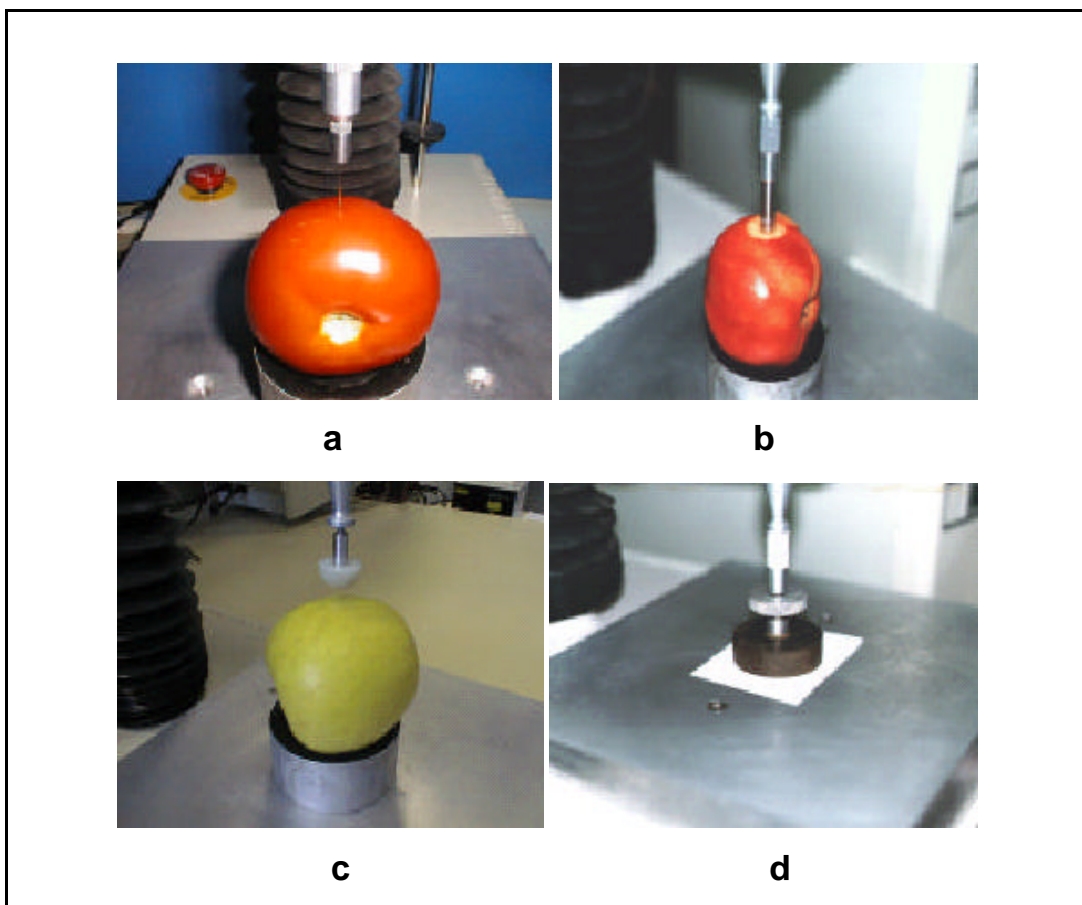
El empleo de un pequeño conjunto de técnicas de medida de diferentes atributos de calidad es suficiente para caracterizar el estado cualitativo de la fruta sobre una muestra de producto representativa de un lote mayor. Los atributos de calidad más importantes a medir en las frutas a estudiar son según VALERO y RUIZ (2000):

- Firmeza: cuantificada a través de diferentes ensayos mecánicos, distintos para cada especie vegetal.
- Contenido en azúcares: estimado mediante refractometría, que proporciona el índice de sólidos solubles de su zumo.
- Contenido en ácidos: estimado mediante la valoración de los ácidos totales titulables.
- Color externo

Para caracterizar el atributo de calidad Firmeza se pueden realizar varios ensayos (VALERO y RUIZ, 2000) como se muestra en la FIGURA 5:

- a. Punción de los frutos: relacionado con la resistencia de la piel (firmeza de la piel, afín a la fuerza máxima) y con la turgencia (estado de hidratación) de las células de las capas inmediatamente inferiores (afín a la razón fuerza/deformación).
- b. Magness-Taylor: ensayo estándar de firmeza de la pulpa muy indicado en frutos muy firmes, próximos al punto de recolección. En frutos más blandos, la “firmeza Magness-Taylor” (fuerza máxima en este test) presenta problemas de repetibilidad, y es más aconsejable emplear el módulo de deformabilidad o “dureza”, dada por la razón fuerza/deformación.

- c. Compresión cuasi-estática con esfera: ensayo que se aproxima mucho a la percepción manual de la dureza de la fruta que cualquier persona realiza al apretar con sus dedos sobre la muestra.
- d. Carga-descarga en compresión sobre probeta confinada: ensayo algo más complejo que los anteriores, sirve tanto para obtener una medida de la dureza instrumental (N/mm) del fruto, como para estimar la jugosidad instrumental ( $\text{mm}^2$ ).



**FIGURA 5.** Ensayos mecánicos realizados con un Texture Analyser XT2, máquina universal de ensayos de sobremesa para el análisis de textura

FUENTE: VALERO y RUIZ (2000)



Además de las frutas se han realizado trabajos en productos sometidos a cocción tales como judías y garbanzos, también de productos de cáscara de piñones uñales (*Pinus pinea* var. *fragilis*), almendras, avellanas, soja, maní, etc., donde se ha estudiado la relación de propiedades mecánicas con diferentes humedades, para la cual se han empleado en su mayoría la máquina INSTRON, y el texturómetro TA-XT2, tanto en pruebas de compresión como a corte (CÁRCEL *et al.*, 2002).

## 2.7 Equipo universal de prueba de materiales INSTRON

Los equipos para ensayo de materiales pueden medir la fuerza necesaria para producir una deformación determinada o la deformación causada por una fuerza previamente fijada. La fuerza aplicada comprime el alimento, de modo que éste disminuye su volumen ocupado, según un margen determinado, manteniendo la superficie constante. El equipo universal de prueba de materiales de INSTRON modelo 1011 fue diseñado para realizar una gran variedad de pruebas de tensión y compresión. La compañía fabricó un número de accesorios para sostener muestras, pero la mayoría de éstos no fueron diseñados específicamente para el uso de alimentos. Sin embargo, éste es un instrumento muy adecuado para pruebas de compresión (HAGER, 1997).

Cuando un objeto es colocado entre un par de fuerzas opuestas, se produce el efecto de comprimir y el resultado es una presión de compresión, tal como se define en la ecuación 2.3 (SHARMA *et al.*, 2000).

$$s = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:  $s$ : Presión (Esfuerzo normal)  
 $F$ : Fuerza aplicada  
 $A$ : Área de la superficie perpendicular a la dirección de aplicación de la fuerza

El registro gráfico de fuerza vs. deformación o fuerza vs. tiempo, del proceso de aplicación de una fuerza normal sobre un cuerpo por un periodo de tiempo se conoce como curvas de compresión. El proceso se lleva a cabo generalmente hasta obtener una deformación prefijada por una fuerza aplicada. De las curvas de compresión se pueden obtener parámetros texturales tales como: fuerza máxima de compresión, cohesividad, elasticidad y rigidez (HAGER, 1997). La respuesta registrada en los ensayos de fuerza vs. desplazamiento, en productos sólidos, representa el proceso de deformación que ocurre cuando actúa sobre ellos una fuerza de compresión y depende, principalmente, de las características estructurales del producto analizado y de las condiciones experimentales utilizadas (HAGER, 1997).

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1 Lugar del ensayo

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Procesamiento del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile en Valdivia, con los materiales y equipos descritos en adelante.

#### 3.2 Materiales

- Murta fresca de la zona de Punucapa, sector costero de Valdivia, adquirida en la feria fluvial de Valdivia
- termómetros
- termocuplas Tipo T, cobre-constantan
- conectores para adaptar las termocuplas a las latas y retorta
- soluciones de azúcar
- tarros de conserva (alto x diámetro x espesor: 109 x 74 x 0,6 mm)

#### 3.3 Equipos

- INSTRON, equipo universal de prueba de materiales, Modelo 1011 Testing System
- Computador EPSON, para monitorear y grabar los datos de temperatura
- Medidor y registrador de temperatura con 12 termocuplas, DigiSense® Scanning Thermocouple Thermometer, Cole-Parmer, modelo 92800-15

- Balanza de precisión CHYO MJ - 300. Capacidad máxima: 310 g, Resolución: 0,001 g
- Pie de metro MITUTOYO Corporation Data/Hold Digimatic: 0,01-150 mm
- Selladora de tarros automática, DIXIE
- Olla a presión (retorta)
- Baño de enfriamiento
- Cocinilla industrial de dos platos

### 3.4 Diseño Experimental

Los experimentos fueron diseñados para determinar la textura de la murta (definida más adelante) en función de dos variables independientes, las cuales fueron:

- Temperatura-tiempo
- Concentración de azúcar

Los distintos niveles que asumieron los factores estudiados en el experimento fueron:

*FACTOR:*

- i Temperatura-tiempo
- ii Concentración de azúcar

*NIVEL:*

- i Cuatro temperaturas: 100, 108, 113 y 118 °C
- ii Tres concentraciones de azúcar: 0, 15 y 30 °Brix

*TRATAMIENTO:* Para cada nivel de temperatura se usaron 3 diferentes líquidos de cobertura, por lo tanto corresponden a  $(4 \times 3) = 12$  tratamientos.

La variable de respuesta es la textura, la cual fue determinada en términos del esfuerzo requerido para romper la fruta, de la altura relativa de ruptura y de un pseudo-modulo de deformabilidad, los cuales se definen más adelante.

Para el ensayo se dispuso también de lo siguiente:

*Unidad Experimental:* Cada tarro

*Unidad de Observación:* Cada murta

*Número de Repeticiones:* 25

### **3.5 Metodología**

La implementación de los ensayos consta principalmente de tres etapas. Se inicia con la selección de las muestras y la preparación pertinente. Luego se las someten a los tratamientos térmicos según el diseño experimental predeterminado y se finaliza con la determinación de las características de textura. Una vez realizados los ensayos se procede a la evaluación.

**3.5.1 Preparación de las muestras de murta para los ensayos.** Las muestras de murta fresca utilizadas para el estudio, proceden del sector Punucapa-Valdivia. Se utilizaron tres lotes de recolección: 12 de abril del 2002, 26 de abril del 2002 y 13 de mayo del 2002. Fueron seleccionadas de acuerdo a ciertos criterios de calidad, tales como: frutos sanos sin daño físico, color rojo uniforme y diámetro ecuatorial entre 8 y 11 mm. Una serie de tres tarros conserveros por tratamiento fueron llenados con 125 g de murta seleccionada y con 250 cm<sup>3</sup> de líquido de cobertura para posteriormente sellarse. Esta serie de tarros se acondicionaron con un conector ubicado en el centro geométrico de cada envase, para colocar la termocupla que permite captar la temperatura del producto.

**3.5.2 Tratamiento térmico y adquisición de datos.** Para ello se dispuso de una olla a presión (retorta) para el calentamiento, un *Data-logger* de 12 canales, modelo DigiSense<sup>®</sup> para medir y registrar las temperaturas del medio y del producto durante el calentamiento y enfriamiento, un computador para monitorear el proceso, un baño frío para el enfriamiento y un disquete para almacenar los datos del proceso de calentamiento-enfriamiento, como se

muestra en la FIGURA 6. El proceso se aplicó a tres series de tarros a 100, 108, 113 y 118 °C. Ésto se realizó de igual manera con los tres lotes, en total se realizaron 12 tratamientos.



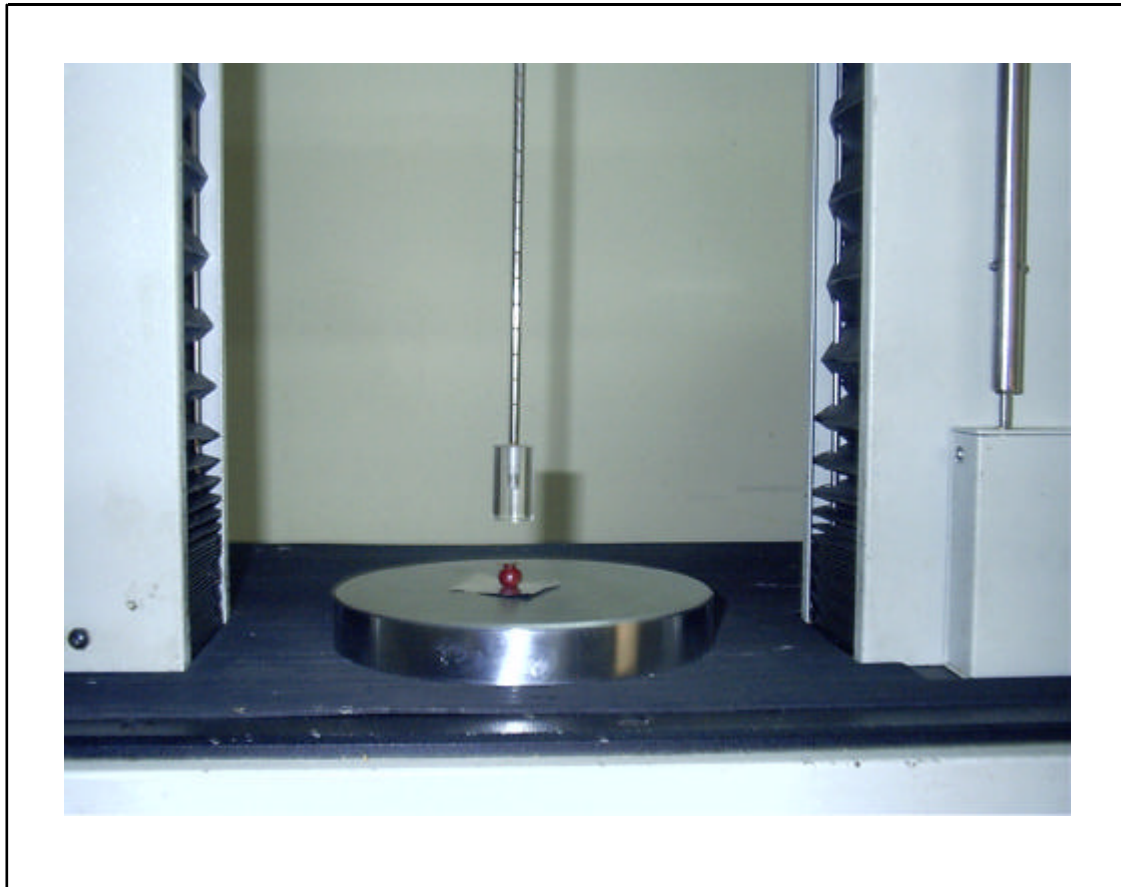
**FIGURA 6. Montaje del ensayo con el sistema de calentamiento, enfriamiento y registro de datos**

**3.5.3 Determinación de parámetros de textura.** Se utilizó para ello un equipo universal de prueba para materiales, INSTRON modelo 1011, donde las condiciones de operación elegidas son las siguientes:

- Test: El equipo tiene dos opciones tensión o compresión, para el ensayo se eligió compresión.
- Unidades: El equipo permite fijar el sistema de unidades, el sistema métrico o el internacional (SI). Para el ensayo se utilizó el SI.

- Dimensión: El equipo permite ingresar el diámetro para una muestra redonda, o el área calculada de antemano, entre otras. Para el ensayo se optó por el diámetro de la muestra a analizar.
- Transductor de carga: El equipo posee dos transductores uno de baja capacidad (5,0 kg o 50 N) y otro de alta capacidad (50 kg o 500 N), para el ensayo se utilizó el de baja capacidad. Este transductor que va montado debajo del cabezal móvil desvía la carga aplicada, esta desviación se convierte en una señal eléctrica proporcional que permite al control eléctrico medir la carga aplicada en la muestra.
- Dispositivo de compresión: cilindro sólido de “plexiglas” de 16,10 mm de diámetro y 30 mm de altura.
- Velocidad de desplazamiento del cabezal móvil: 50 mm/min.
- Rango de carga de operación: El rango de carga es un valor porcentual de la capacidad máxima del transductor a utilizar. Para el ensayo se tomó el 40% del transductor (5000 g), es decir 2000 g.
- Ruptura: El equipo permite seleccionar el porcentaje de sensibilidad de ruptura que se quiere detectar, el cual va de 0 a 100%, el valor por defecto del equipo es 40%. Los sensores de detección de ruptura reaccionan en un lapso de tiempo de 100 milisegundos, para reconocer un cambio en la carga experimentada por la muestra. Para el ensayo se optó por la sensibilidad de 40% en la determinación de la ruptura, lo que significa que el equipo registra una ruptura, cuando entre dos mediciones sucesivas de carga hay una diferencia mayor a 40 %.

Los ensayos se realizaron a 25 muestras tal como se ve en la FIGURA 7, y esto se realizó para los doce tratamientos de la misma manera. Los datos entregados por el equipo se registraron en una planilla (ANEXO 1), donde luego se digitaron en un computador, para almacenar los valores de fuerza de ruptura, altura de ruptura y otros que se produjeron a lo largo del ensayo. Estos valores fueron analizados usando la planilla Excel.



**FIGURA 7. Compresión de la murta en equipo universal de prueba de materiales, INSTRON 1011**

**3.5.4 Cuantificación de los tratamientos térmicos.** Un producto sólido cuando se calienta, experimenta un incremento en la temperatura, lo que significa que algo de energía ha sido absorbida. La capacidad calórica es una propiedad que es indicativa de la habilidad de un producto para absorber calor del medio. En términos matemáticos la capacidad calórica se expresa como la energía requerida para producir un diferencial o cambio de temperatura. Normalmente se usa el término calor específico ( $c_p$ ) para representar la capacidad calórica por unidad de masa ( $J/kg K$ ) o ( $cal/kg K$ ), para cada grado de cambio de temperatura. La cantidad de calor que absorbe el producto durante el tratamiento térmico es igual a  $Q$ , tal como se representa en la ecuación 3.1a:



$$Q = (\dot{Q} \times \Delta t) = \frac{(m \times c_p \times \Delta T)}{t} \times \Delta t \quad \text{Ec. 3.1a}$$

Asumiendo que la masa y el  $c_p$  del producto son constantes, se tiene una proporcionalidad directa entre Q y el producto de temperatura y tiempo, tal como se muestra en la ec. 3.1b:

$$Q \propto (\Delta T \times \Delta t) \quad \text{Ec. 3.1b}$$

Donde

- Q: cantidad de calor
- $\dot{Q}$ : flujo de calor, o cantidad de calor por unidad de tiempo
- $m$ : masa
- $c_p$ : calor específico
- $\Delta T$ : cambio de la temperatura dentro del tratamiento, K
- $\Delta t$ : tiempo de exposición al calor, s

Considerando la proporcionalidad directa existente entre el flujo de calor y el producto de tiempo y temperatura, se puede expresar la energía absorbida por la muestra durante el procesamiento a través del producto temperatura-tiempo, representándolo como una equivalencia energética. Al graficar el curso de la temperatura en función del tiempo, se obtiene esta equivalencia energética calculando el área delimitada por la curva de calentamiento-enfriamiento y el abscisa. Para el ensayo, se consideró el efecto térmico comprendido sólo desde los 60 °C hasta la temperatura máxima del tratamiento, por lo que se calculó la equivalencia energética dentro de estos límites, usando un método de integración numérica.

### 3.5.5 Parámetros texturales

La medición de las propiedades mecánicas se puede realizar con diferentes tipos de pruebas. En todas ellas se registra la resistencia que opone el producto a la acción de una fuerza determinada que se aplica mediante un dispositivo de geometría definida (HAGER, 1997).

Los equipos para ensayo de materiales pueden medir la fuerza necesaria para producir una deformación determinada o la deformación causada por una fuerza previamente fijada. La fuerza aplicada comprime el alimento, de modo que este disminuye el volumen ocupado, según un margen determinado, manteniendo la superficie constante (PELEG, 1977).

En el presente trabajo se estudiaron los siguientes parámetros:

- Fuerza de ruptura:** Es la fuerza  $F_{(R)}$  que entrega el equipo en el momento de la ruptura de la muestra y, corresponde a  $F_{(t)}$  de la ecuación 3.2 en el instante  $t$  cuando ocurre la ruptura. Este parámetro entrega un valor absoluto que puede servir para caracterizar la murta dentro de un rango de variación. Sin embargo, no diferencia entre frutas de distintos tamaños, por lo que se necesita convertirlo en un parámetro que considere el tamaño de la fruta. Por lo tanto se puede calcular un esfuerzo real de forma general, que está dado por la fuerza corregida con respecto al tamaño y diámetro de la murta, la cual considera los efectos de expansión progresiva del área sometida a la compresión y se expresa en unidades de fuerza/área.

$$s_t = \frac{F_{(t)}}{A_{(t)}} = \frac{F_{(t)} \times (H_0 - dH)}{A_0 \times H_0} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:

$F_{(t)}$ : Fuerza a tiempo  $t$ , N

$A_{(t)}$ : Área de la sección sometida a compresión a tiempo  $t$ ,  $m^2$

$A_0$ : Área original de la sección sometida a compresión,  $m^2$

$H_0$ : Altura de la muestra sin deformar, m

$dH$ : Deformación absoluta, m

A partir de la ecuación 3.2 se determinó el siguiente parámetro:

- **Esfuerzo real de ruptura**,  $s_R$ , definido con la siguiente ecuación:

$$s_R = \frac{F_{(R)}}{A_0} = \frac{F_{(R)} \times (H_0 - dH)}{A_0 \times H_0}$$

Ec. 3.3

Donde:

$F_{(R)}$ : Fuerza de ruptura, N

$A_0$ : Área original de la sección sometida a compresión,  $mm^2$

$H_0$ : Altura de la muestra sin deformar, mm

$dH$ : Deformación absoluta, mm

- **Altura relativa de ruptura** Es la altura porcentual de la muestra al romperse en relación al tamaño de la muestra inicial.

$$H_{rR} = \frac{H_R}{D_{pol}} \times 100 \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

$H_R$ : Altura de ruptura, que corresponde a la altura de la muestra al romperse, mm

$D_{pol}$ : Diámetro polar, mm

- **Deformación real a la ruptura:** Este parámetro es adimensional definido para la deformación real en el instante de la ruptura, y no define el comportamiento de la deformación durante la aplicación de la fuerza de compresión. Difiere de la deformación real, descrita por la ecuación 3.5:

$$e_t = \ln \frac{H_0}{(H_0 - dH)} \quad \text{Ec. 3.5}$$

ya que este es un gradiente de deformación del material como resultado de la fuerza aplicada, la cual varía durante la aplicación de la fuerza de compresión, teniendo una variación lineal, cuando la muestra está aún elástica y dependiendo de la propiedad de la muestra puede aumentar si la muestra se pone más firme o disminuir si la muestra empieza a fracturar internamente. En la ecuación 3.6 se define la deformación real a la ruptura,  $e_R$ :

$$e_R = \ln \frac{H_0}{H_R} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Donde:

$H_0$ : Altura de la muestra sin deformar, mm

$H_R$ : Altura de ruptura, que corresponde a la altura de la muestra al romperse, mm

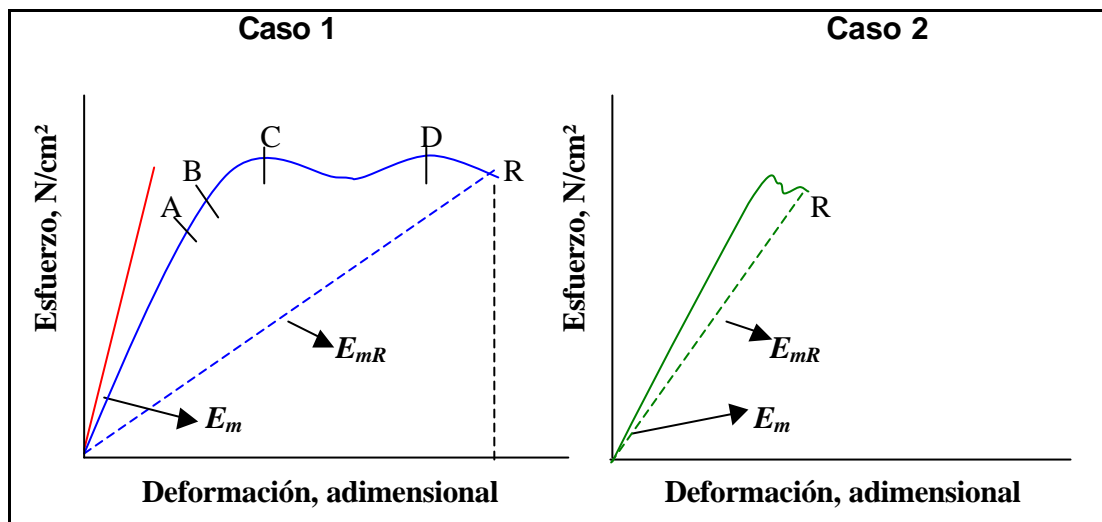
- **Pseudo-módulo de deformabilidad**, es el cociente del esfuerzo real de ruptura y la deformación real a la ruptura. Su unidad es N/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto las ecuaciones 3.3 y 3,6 permiten calcular el pseudo-módulo de deformabilidad,  $E_{mR}$ , según la siguiente ecuación:

$$E_{mR} = \frac{S_R}{e_R} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Este parámetro lleva el prefijo pseudo, considerando que no representa el Módulo de deformabilidad,  $E_m$  que es considerado como una medida de firmeza (MARTINEZ, 1993) y corresponde al factor de proporcionalidad entre el esfuerzo aplicado para la deformación de un material y la deformación relativa. El valor de este módulo depende principalmente de las propiedades de la muestra (PELEG, 1977). Las ecuaciones 3.2 y 3.5 definen el módulo de deformabilidad,  $E_m$ , el cual corresponde a la pendiente de la parte lineal de las curvas de esfuerzo real y deformación real:

$$E_m = \frac{S_t}{e_t} \quad \text{Ec. 3.8}$$

La forma que adopta la curva a continuación de la zona lineal es importante, pues una concavidad hacia arriba en la forma de la curva puede indicar el desarrollo de presión hidrostática o la existencia de otros mecanismos que contribuyan al aumento de la dureza aparente. Por el contrario una concavidad hacia abajo es un claro indicio de fractura interna y desintegración de la estructura de la muestra deformada (CALZADA y PELEG, 1978). En la FIGURA 8 se representa a modo de ejemplo dos casos distintos del comportamiento de deformación de un material. El módulo de deformabilidad ( $E_m$ ) se obtiene a partir de la pendiente de la porción recta de la curva del esfuerzo y deformación relativa. Para el ensayo, sin embargo, se definió el pseudo-módulo de deformabilidad ( $E_{mR}$ ), como la pendiente de la recta que une el origen con el punto de ruptura.(R), La pendiente de esta recta es siempre menor que el módulo de deformabilidad. Para sustancias que no tienen propiedades plásticas el punto de ruptura se acerca bastante al punto de elasticidad, por lo que el valor del pseudo-módulo de deformabilidad se acerca también al valor del módulo de deformabilidad. En el caso de la murta, no se observó características plásticas en la deformación, por lo que se puede considerar este parámetro como característico para la muestra analizada, la cual tendrá un comportamiento tal como se ve en el caso 2 de la FIGURA 8.



**FIGURA 8. Representación gráfica del módulo de deformabilidad y del pseudo-módulo de deformabilidad**

En el caso 1, se pueden ejemplificar claramente los cambios de deformación que va experimentando un cuerpo al ser sometido a un esfuerzo. De manera general la deformación relativa aumenta proporcionalmente con el esfuerzo hasta un límite de proporcionalidad, en el punto A. Hasta el punto B, el cuerpo puede estar elástico, aunque la deformación no tiene que ser necesariamente proporcional, por lo que se denomina el punto B, como límite de elasticidad. Generalmente el punto A y B se encuentran muy cerca el uno del otro. Al sobrepasar el límite de elasticidad y se entra en una zona donde hay generalmente una mayor deformación relativa por un mismo aumento de esfuerzo. Este comportamiento sigue hasta el límite de extensión C, y el comportamiento de deformación puede aún ser descrito por una función entre el esfuerzo y la deformación relativa. Pasado este límite hay un comportamiento muy irregular. El cuerpo tiene un comportamiento plástico hasta el límite de ruptura, D, cuando el cuerpo está a punto de romperse. Pasado el límite se rompe el cuerpo en el punto, R, denominado punto de ruptura.

- **Coefficiente de Poisson** Cuando un material cilíndrico se comprime uniaxialmente, su diámetro aumenta generalmente. El coeficiente de Poisson se define como el cociente del incremento fraccionario en el diámetro, correspondiente a la deformación transversal, y la disminución fraccionaria en la altura, equivalente a la deformación axial (BOURNE, 1982, 2002). Este coeficiente se calcula según la ecuación 3.9.

$$m = \frac{\Delta D / D}{\Delta L / L} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde:

*D*: diámetro del material sin esfuerzo

*DD*: cambio en el diámetro causado por el esfuerzo

*L*: altura del material sin esfuerzo

*DL*: cambio en la altura causada por el esfuerzo

**3.5.6 Análisis estadístico.** Los resultados obtenidos de los diferentes parámetros texturales y parámetros cinéticos para murta fresca y tratada fueron analizados a través del paquete estadístico STATGRAPHICS Plus 5.1 para Windows, utilizando las siguientes herramientas estadísticas:

- Análisis de los coeficientes estandarizados de Asimetría típica y Curtosis tipificada, como medio de verificación de la distribución normal de los datos, para lo cual estos coeficientes deben ser menores que 2 en valor absoluto.
- Prueba de Cochran: Como medio de verificación de la homogeneidad de las varianzas internas de los grupos, para que se cumpla el valor p debe ser mayor que 0,05. Y así poder realizar el análisis de varianza.
- Análisis de varianza de 1 vía (ANDEVA). Para establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, a un nivel del 95% de confianza.

- Prueba de comparación múltiple, método Tukey (HSD). Para identificar los tratamientos estadísticamente diferentes si la ANDEVA arroja valores  $p < 0,05$ .
- Prueba de Kruskal-Wallis. Prueba no paramétrica usada cuando no se pueda realizar el análisis de varianza, para identificar los tratamientos estadísticamente diferentes, si esta prueba arroja valores  $p < 0,05$ , a un nivel del 95% de confianza.

Además se aplicó un test de correlación entre los parámetros texturales mediante la determinación del Coeficiente de Correlación de Spearman.



## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Materia prima

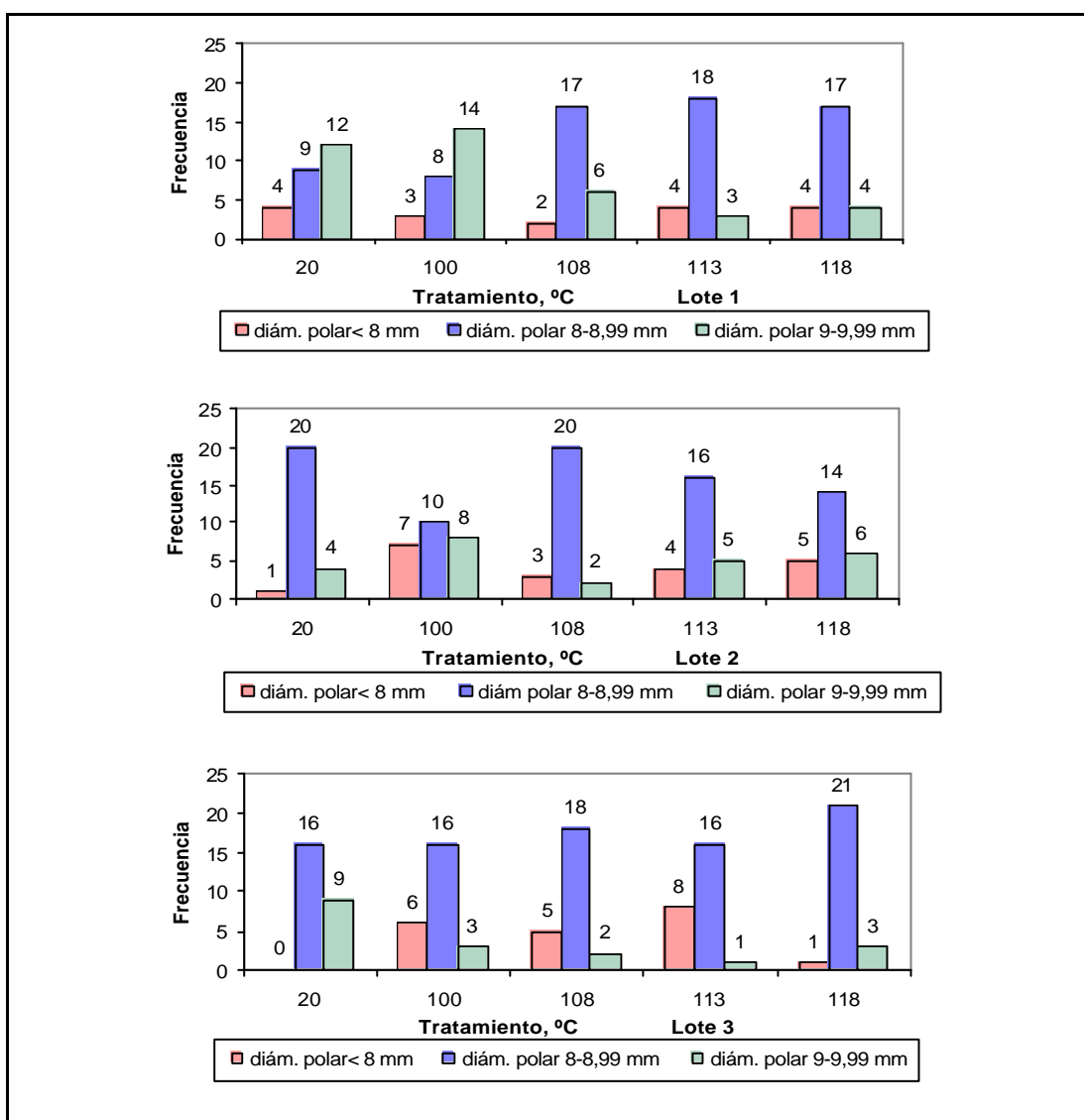
De la gran diversidad de variedades de murta que existen, se utilizó murta no bien tipificada como varietal del sector Punucapa, recolectada en tres diferentes fechas. Su procesamiento se realizó inmediatamente después de adquirida la murta, para que mantuviera su frescura. Los tres lotes de murta que conformaron el ensayo contenían cada uno 12 kg, de los cuales para los diferentes tratamientos se seleccionó aquella de color rojo uniforme, de diámetro ecuatorial entre 8 y 11 mm y la que no presentase daño físico.

**4.1.1 Distribución de tamaño en la materia prima.** El tamaño tiene una gran importancia, tanto para el ensayo de compresión uniaxial, como para la caracterización de la materia prima a utilizar. Debido a que se conocerá su forma y distribución, se midió el diámetro polar y el diámetro ecuatorial en la murta fresca y en la murta tratada, antes de ser comprimida.

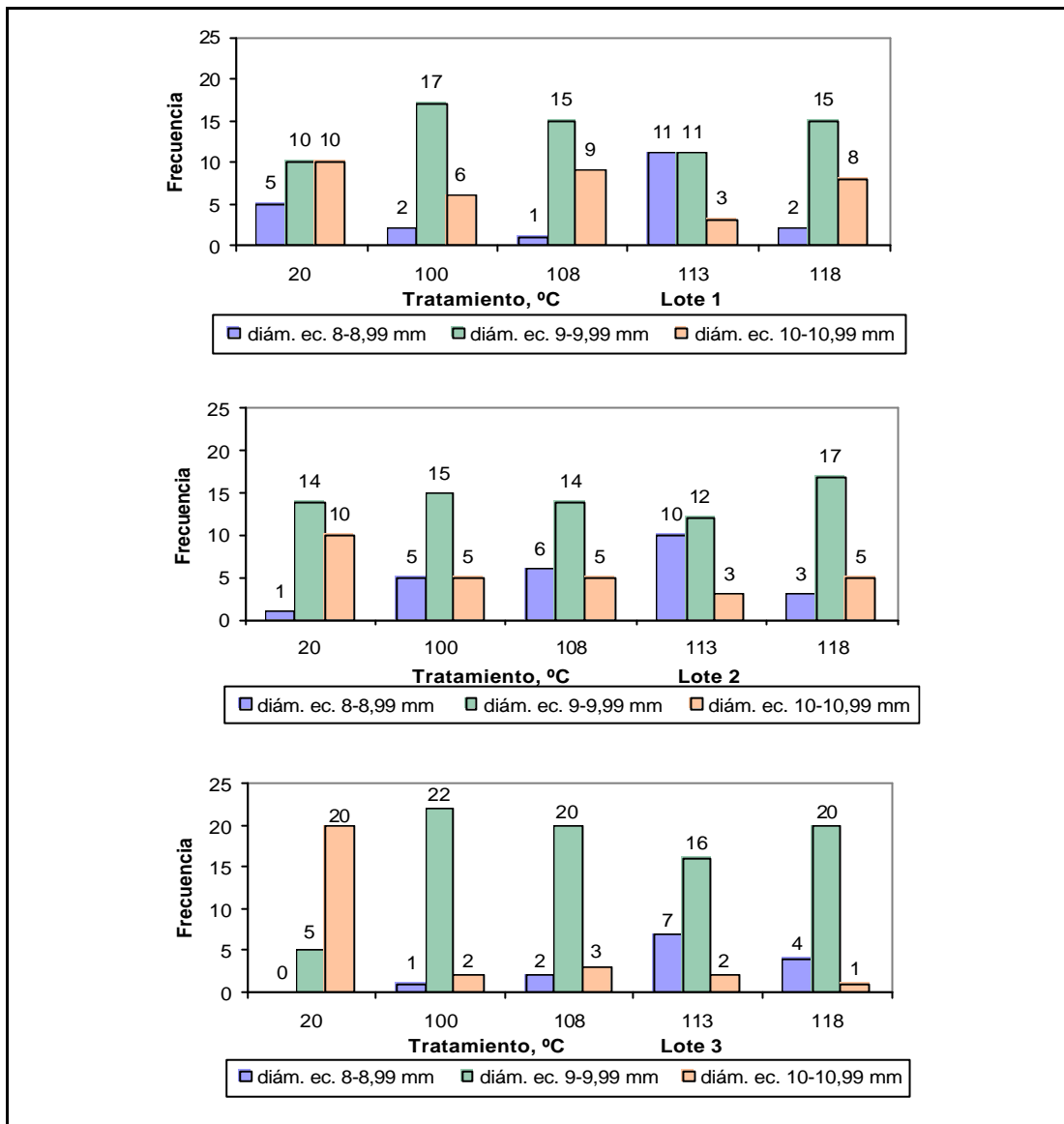
**4.1.1.1 Diámetro polar.** Permite conocer la altura inicial de la fruta y su distribución antes de comprimirla. En la FIGURA 9 se muestra la distribución del diámetro polar de la murta fresca y tratada, ordenada por lote de recolección. En donde se puede apreciar que la frecuencia predominante del diámetro polar está entre 8,00 y 8,99 mm, lo que se repitió para los tres lotes de recolección.

**4.1.1.2 Diámetro ecuatorial.** El diámetro ecuatorial confrontado con el diámetro polar permitirá conocer la forma de la muestra analizada, y así definir su forma como una característica propia de la muestra. En la FIGURA 10 se muestra la distribución del diámetro ecuatorial de la murta fresca y tratada,

ordenada por lote de recolección, en donde se aprecia que la frecuencia predominante para el diámetro ecuatorial está entre 9,00 y 9,99 mm. De estas mediciones se constata claramente la forma no esférica de la murta, la cual tiene mas bien un corte longitudinal de una elipse, dado que el promedio del diámetro ecuatorial es 1 mm mayor que el promedio del diámetro polar.



**FIGURA 9. Distribución del diámetro polar en murta fresca y tratada para cada lote de recolección**



**FIGURA 10. Distribución del diámetro ecuatorial en murta fresca y tratada para cada lote de recolección**

## 4.2 Curvas de calentamiento-enfriamiento

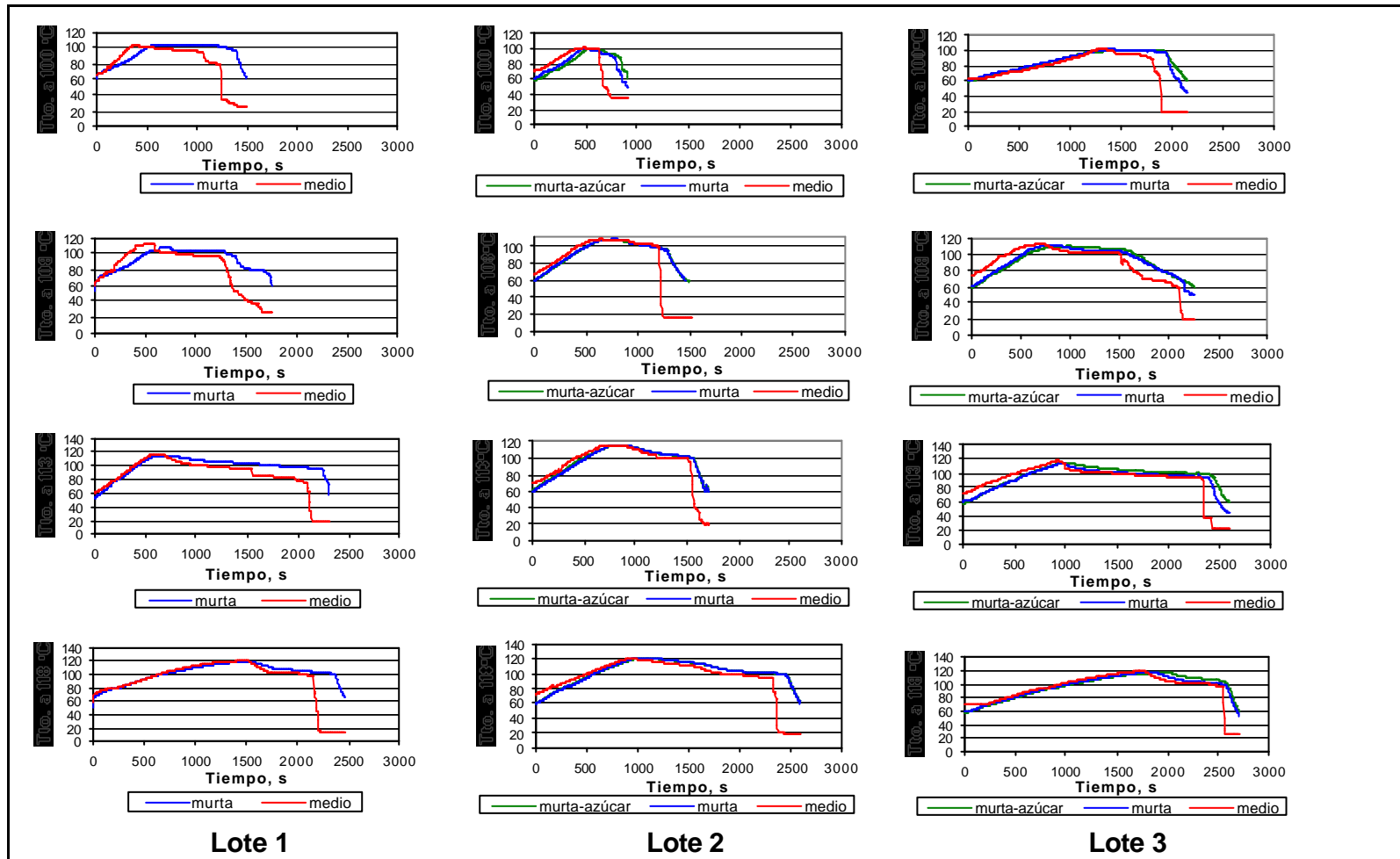
Con las curvas de calentamiento-enfriamiento, se determina la cantidad de calor absorbido por el producto en cada ensayo. Tal como se mencionó en la ecuación 3.1 existe una proporcionalidad directa entre el flujo de calor  $\dot{Q}$  y el producto de tiempo y temperatura bajo el supuesto de que la masa y el calor

específico del producto sean constantes. Para el ensayo, se consideró que dentro del envase a temperaturas sobre los 100 °C hubo suficiente turbulencia y una distribución de temperatura casi homogénea.

En la FIGURA 11, se presentan los doce tratamientos a las que fueron sometidas las murtas enlatadas. Considerando que bajo los 60 °C el calentamiento no afecta significativamente la textura del producto, se contempla el registro de la medición de temperatura principalmente a partir de este valor. Las muestras se calentaron hasta una temperatura establecida, la cual se mantenía por un determinado tiempo, para luego suspender el calentamiento y dar paso al enfriamiento del producto hasta los 60 °C. De esta manera se logran obtener diferentes valores de energía, al cual se sometieron las muestras.

De las gráficas se desprende que los tratamientos entre lotes presentan diferencias importantes, las cuales disminuyen a medida que se aumentan las temperaturas, lo que indicaría que la temperatura tendría cierto efecto sobre la propiedad térmica del producto. A mayor temperatura hay aparentemente un aumento en la difusividad térmica como también en el calor específico, lo que conlleva a un acercamiento en el comportamiento del medio de calentamiento.

En consecuencia, para lograr la comparación de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, es indispensable trabajar con parámetros adimensionales, tanto para la comparación de la textura como para el efecto de calentamiento en los distintos tratamientos. Para calcular la cantidad de energía absorbida por las muestras es suficiente utilizar las curvas de temperatura dentro de los envases, ya que se acerca más a las condiciones térmicas de las muestras. Tal como se mencionó anteriormente, suponiendo casi constante el calor específico de la murta, se puede utilizar el producto de temperatura y tiempo para cuantificar la energía absorbida por la muestra, y así obtener un valor comparable para los distintos tratamientos térmicos realizados.

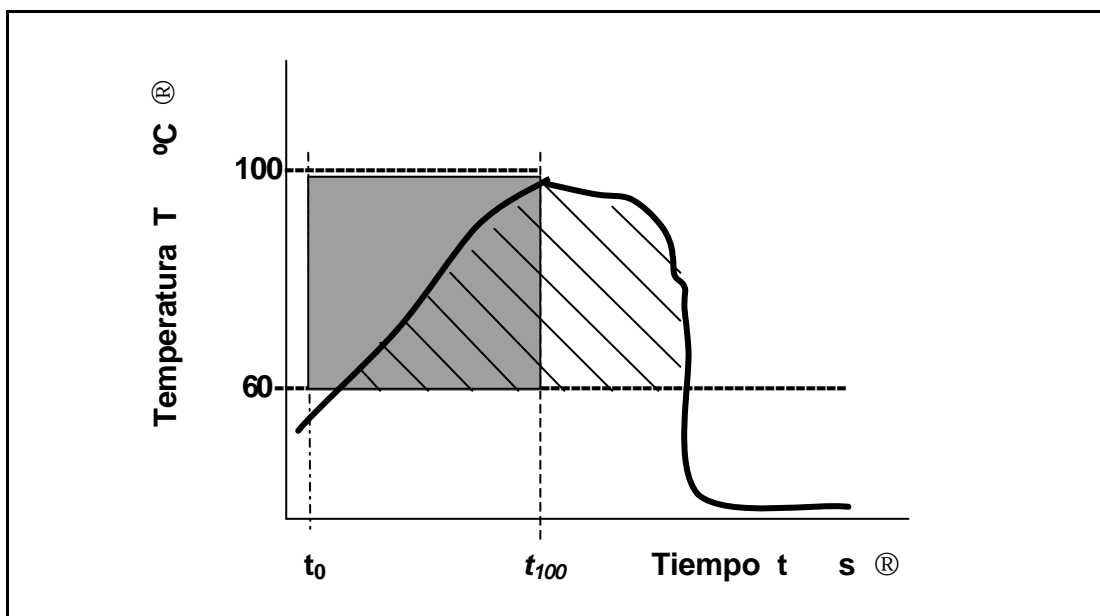


**FIGURA 11. Perfiles de temperatura registradas durante los tratamientos térmicos a la murta en un medio acuoso**

### 4.3 Equivalente energético

El flujo de calor es proporcional a la masa y al calor específico del producto además de la variación de temperatura en un determinado tiempo. Para efectos del ensayo se asumen como constantes la masa y el calor específico, con lo cual se logra una proporcionalidad directa entre el flujo de calor y el producto de temperatura y tiempo, cuantificable a través de algunos métodos de integración numérica como el método Simpson, que calcula el área bajo la curva representada en este caso por la cantidad de energía equivalente absorbida por la murta.

En la FIGURA 12, se ejemplifica la energía equivalente desde una temperatura inicial a tiempo cero hasta la temperatura de tratamiento a tiempo equivalente del tratamiento. Este tiempo equivalente del tratamiento se calculó para poder comparar los diferentes tratamientos con el propósito de estimar el efecto de los tratamientos térmicos sobre la murta.



**FIGURA 12.** Esquema utilizado en el cálculo del equivalente energético para los diferentes tratamientos térmicos

#### 4.4 Parámetros Texturales

A continuación se presentan los resultados de los parámetros texturales registrados a partir de los ensayos de compresión uniaxial, realizados con el equipo universal de prueba de materiales INSTRON 1011.

Se analizaron 25 muestras por tratamiento en cada uno de los tres lotes de recolección y se les realizó un análisis de comparación múltiple de muestras, que determinó que no presentaban una distribución normal, por lo tanto aplicar análisis de varianza resulta improcedente, se debe usar una prueba no paramétrica, tal como la prueba de Kruskal-Wallis, que comprobó que existían diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los lotes analizados.

Los valores que se presentan son los promedios de cada medición.

**4.4.1 Fuerza de ruptura** Como se aprecia en el CUADRO 6, en cada lote la murta fresca a temperatura ambiente de 20°C, presenta la mayor fuerza de ruptura, en cambio entre los otros tratamientos no hay una diferencia marcada. Según el análisis estadístico a un nivel de confianza del 95% (ANEXO A 2.1), existen diferencias estadísticamente significativas de la fuerza de ruptura, entre la murta fresca y la murta tratada para cada lote.

**CUADRO 6. Valores promedio y desviación estándar de fuerza de ruptura en murta**

T °C	Lote 1			Lote 2			Lote 3		
	Equiv. energet. K · s	Fuerza de ruptura N		Área K · s	Fuerza de ruptura N		Área K · s	Fuerza de ruptura N	
		F <sub>(R)</sub>	s		F <sub>(R)</sub>	s		F <sub>(R)</sub>	s
20	-	*6,72 <sup>a</sup>	0,44	-	6,63 <sup>a</sup>	0,57	-	6,00 <sup>a</sup>	0,43
100	49826	6,22 <sup>b</sup>	0,38	44104	6,06 <sup>b</sup>	0,44	54666	5,63 <sup>b</sup>	0,48
108	56128	6,21 <sup>b</sup>	0,49	46430	6,12 <sup>b</sup>	0,28	71384	5,62 <sup>b</sup>	0,32
113	89639	6,13 <sup>b</sup>	0,32	62093	6,29 <sup>b</sup>	0,42	87571	5,36 <sup>b</sup>	0,50
118	114422	6,37 <sup>b</sup>	0,27	108215	6,25 <sup>b</sup>	0,25	99546	5,61 <sup>b</sup>	0,31

\* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas

La energía ( $K \cdot s$ ) de cada tratamiento no tiene un efecto significativo sobre la fuerza de ruptura, pero si se puede ver que hace disminuir la fuerza de ruptura. Lo importante de este parámetro es que nos dará una idea de cómo se distribuye la fuerza de ruptura, para la murta fresca tenemos valores que van de 6,00 a 6,72 N y para murta tratada ésta fuerza oscila entre 5,36 y 6,37 N, y así poderla diferenciar de otros tipos de frutas, dado que la fuerza es un valor absoluto, en la cual están involucradas variables que no se pueden manejar, tal como la distribución de tamaño que es propia de las muestras analizadas.

**4.4.2 Esfuerzo real de ruptura.** Este parámetro considera los efectos de expansión progresiva del área sometida a la compresión, expresándose en unidades de fuerza/área. Como se aprecia en el CUADRO 7, en los tres lotes la murta fresca a temperatura ambiente de 20 °C, presenta el mayor esfuerzo real de ruptura, cuyos valores están entre 1,76 y 2,75  $N/cm^2$ , en cambio la murta tratada tiene valores que están entre 1,25 y 1,64  $N/cm^2$  para el lote 1; 1,45 y 1,76  $N/cm^2$  para el lote 2, y 1,28 y 1,47  $N/cm^2$  para el lote 3. Según el análisis estadístico a un nivel de confianza del 95% (ANEXO A 2.2), existen diferencias estadísticamente significativas sólo en el lote 1 entre la murta fresca y la murta tratada.

**CUADRO 7. Valores promedio y desviación estándar de esfuerzo real de ruptura en murta**

T °C	Lote 1			Lote 2			Lote 3		
	Equiv. energet. $K \cdot s$	Esfuerzo real de ruptura $N/cm^2$		Área $K \cdot s$	Esfuerzo real de ruptura $N/cm^2$		Área $K \cdot s$	Esfuerzo real de ruptura $N/cm^2$	
		$\sigma_R$	S		$\sigma_R$	S		$\sigma_R$	S
20	-	*2,75 <sup>a</sup>	1,34	-	1,93	1,08	-	1,76	1,17
100	49826	1,63 <sup>b</sup>	0,20	44104	1,76	0,90	54666	1,36	0,28
108	56128	1,64 <sup>b</sup>	0,22	46430	1,45	0,33	71384	1,39	0,31
113	89639	1,25 <sup>b</sup>	0,17	62093	1,59	0,32	87571	1,28	0,27
118	114422	1,38 <sup>b</sup>	0,16	108215	1,48	0,28	99546	1,47	0,24

\* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas

La energía de cada tratamiento está aportando a la fruta propiedades que la hacen menos resistente dado que disminuye el esfuerzo real de ruptura.



**4.4.3 Altura relativa de ruptura.** Según el análisis estadístico a un nivel de confianza del 95% (ANEXO A 2.3), existen diferencias estadísticamente significativas sólo en el lote 1 entre la murta fresca y los otros tratamientos. Además como se aprecia en el CUADRO 8, la murta fresca se rompe antes que la murta tratada, lo que significa que indudablemente ocurre un cambio en la estructura de la murta a través de la cocción. Donde tenemos valores de altura relativa de ruptura para murta fresca que están entre 22,33 y 29,18%, en cambio para murta tratada tenemos valores entre 13,79 y 18,01% para el lote 1; 16,83 y 17,81% para el lote 2, y 16,22 y 17,51% para el lote 3.

**CUADRO 8. Valores promedio y desviación estándar de altura relativa de ruptura en murta**

T °C	Lote 1		Lote 2		Lote 3	
	Altura relativa de ruptura %		Altura relativa de ruptura %		Altura relativa de ruptura %	
	H <sub>rR</sub>	s	H <sub>rR</sub>	s	H <sub>rR</sub>	s
20	29,18 <sup>a</sup>	13,32	22,86	11,81	22,33	11,56
100	18,01 <sup>b</sup>	2,80	17,81	2,86	16,68	2,59
108	18,75 <sup>b</sup>	3,04	16,83	3,39	17,14	2,91
113	13,79 <sup>b</sup>	1,79	17,15	3,17	16,22	2,48
118	14,89 <sup>b</sup>	2,56	17,19	3,10	17,51	2,40

\* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas

**4.4.4 Deformación real a la ruptura.** Según el análisis estadístico a un nivel de confianza del 95% (ANEXO A 2.4), existen diferencias estadísticamente significativas sólo en el lote 1 y 3 entre la murta fresca y la murta tratada. Además como se observa en el CUADRO 9, hay una mayor deformación en la murta tratada, lo que se puede interpretar como un aumento de la elasticidad a través de la cocción, dado que con una misma fuerza se obtiene una deformación relativamente mayor.

**CUADRO 9. Valores promedio y desviación estándar de deformación real a la ruptura en murta**

T °C	Lote 1		Lote 2		Lote 3	
	Deformación real a la ruptura		Deformación real a la ruptura		Deformación real a la ruptura	
	$\epsilon_R$	s	$\epsilon_R$	s	$\epsilon_R$	s
20	1,45 <sup>a</sup>	0,37	1,65	0,25	1,54 <sup>a</sup>	0,45
100	1,73 <sup>b</sup>	0,15	1,68	0,32	1,77 <sup>b</sup>	0,21
108	1,74 <sup>b</sup>	0,16	1,80	0,19	1,77 <sup>b</sup>	0,17
113	1,96 <sup>b</sup>	0,15	1,77	0,19	1,83 <sup>b</sup>	0,15
118	1,79 <sup>b</sup>	0,12	1,78	0,18	1,72 <sup>b</sup>	0,17

\* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas

**4.4.5 Pseudo-módulo de deformabilidad.** La firmeza puede ser analizada también en función del módulo de deformabilidad definido en la ecuación 3.8. Para el ensayo, no se logró captar la variación de la deformación real en función del esfuerzo, sólo fueron posible medir estos parámetros en el punto de ruptura, por lo que se definió un pseudo-módulo de deformabilidad, con la ecuación 3.7, considerando esto como un parámetro característico para la murta.

Como se aprecia en el CUADRO 10, en los tres lotes la murta fresca a temperatura ambiente de 20 °C presenta el mayor valor de pseudo-módulo de deformabilidad, que está entre 1,29 y 2,21 N/cm<sup>2</sup>. En cambio la murta tratada tiene un valor de pseudo-módulo de deformabilidad que está entre 0,96 y 1,02 N/cm<sup>2</sup> para el lote 1; 0,85 y 1,06 N/cm<sup>2</sup> para el lote 2, y 0,71 y 0,84 N/cm<sup>2</sup> para el lote 3. Según el análisis estadístico a un nivel de confianza del 95% (ANEXO A 2.5), existen diferencias estadísticamente significativas sólo en el lote 1 entre la murta fresca y los otros tratamientos.

**CUADRO 10. Valores promedio y desviación estándar de pseudo-módulo de deformabilidad en murta**

T °C	Lote 1		Lote 2		Lote 3	
	Pseudo-módulo de deformabilidad N/cm <sup>2</sup>		Pseudo-módulo de deformabilidad N/cm <sup>2</sup>		Pseudo-módulo de deformabilidad N/cm <sup>2</sup>	
	$E_{mR}$	s	$E_{mR}$	s	$E_{mR}$	s
20	2,21 <sup>a</sup>	1,84	1,29	1,27	1,29	1,61
100	0,99 <sup>b</sup>	0,15	1,06	0,85	0,78	0,21
108	1,02 <sup>b</sup>	0,21	0,85	0,24	0,81	0,26
113	0,97 <sup>b</sup>	0,40	0,92	0,25	0,71	0,21
118	0,96 <sup>b</sup>	0,24	0,85	0,24	0,84	0,18

\* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas

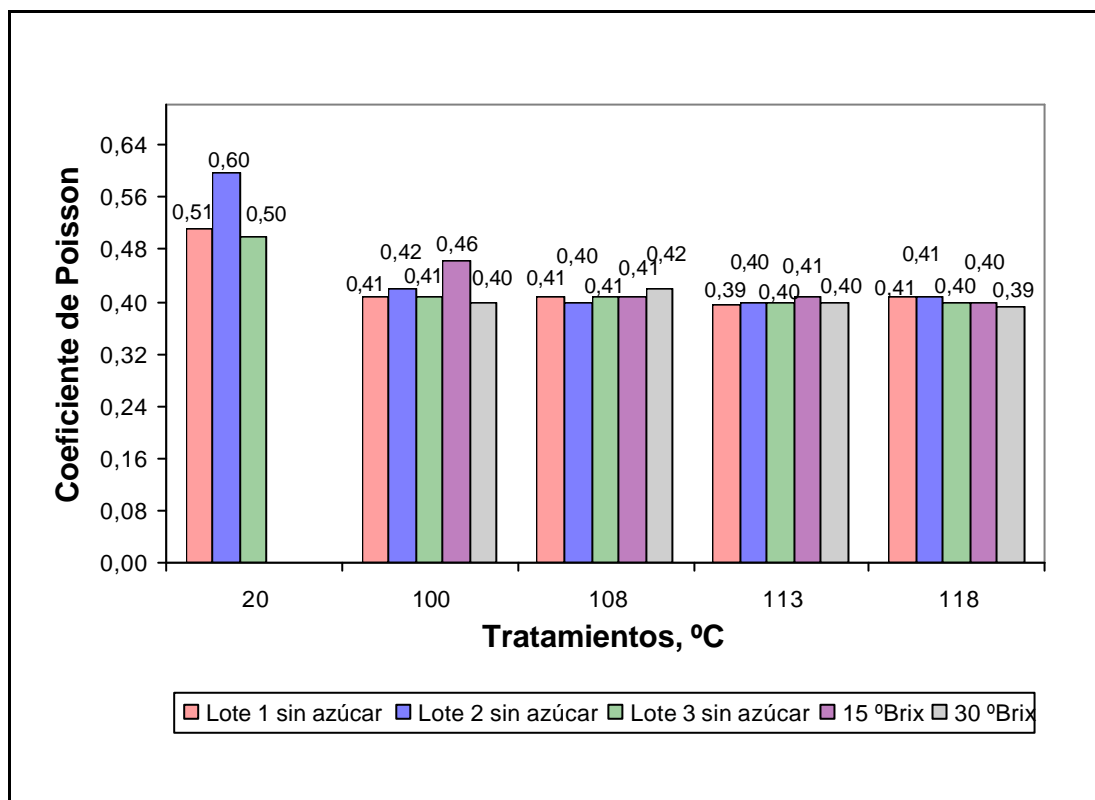
**4.4.6 Valores del coeficiente de Poisson en alimentos.** Generalmente, el coeficiente de Poisson varía de cero para materiales rígidos que contienen cantidades grandes de aire hasta cercano a 0,5 para materiales casi incompresibles, como los líquidos. Valores de 0,2 a 0,5 son comunes para materiales biológicos. Los metales por su parte tienen normalmente un coeficiente de Poisson entre 0,25 y 0,35 (STEFFE, 1996). Para los materiales en los cuales ningún cambio de volumen ocurre bajo compresión el coeficiente de Poisson es cerca de 0,5. La papa por ejemplo tiene un coeficiente de Poisson entre 0,45 y 0,49, lo que indica un cambio de volumen pequeño en la deformación, mientras la pulpa de la manzana tiene un coeficiente de Poisson alrededor de 0,21 y 0,34 indicando que su volumen disminuye sustancialmente durante la compresión uniaxial (BOURNE, 1982, 2002). El pan fresco tiene probablemente un coeficiente de Poisson cercano a cero debido a su alta compresibilidad resultante de la alta porosidad del material.

**4.4.6.1 Cálculo del coeficiente de Poisson para la murta.** El cálculo del coeficiente de Poisson asume la distribución uniforme del esfuerzo en la zona de proporcionalidad esfuerzo-deformación del material, una condición que generalmente no prevalece durante la prueba de alimentos (BOURNE, 1982, 2002). Sin embargo, dicho coeficiente puede resultar de gran utilidad en la búsqueda de parámetros texturales de alimentos.

Para efecto del ensayo, se hizo una extrapolación de la validez de la determinación del coeficiente de Poisson. Debido a que la murta tiene la forma de una esfera achatada, se considera que al cortarla se obtiene una sección de corte longitudinal, de polo a polo, en la forma de una elipse. Al comprimir la muestra a analizar, la fruta se deforma y, mientras no se rompa la fruta ocurre una deformación tanto axial como lateral. Para poder calcular el coeficiente de Poisson, es importante suponer que el área de la sección del corte longitudinal no varía, por lo que la pérdida de altura en la deformación axial se debe compensar con la ganancia en diámetro ecuatorial. Considerando la superficie

de la elipse como constante, se puede determinar el diámetro ecuatorial en el punto justo antes de la ruptura, y así obtener un coeficiente de Poisson para evaluar la textura de la murta.

**4.4.6.2 Coeficientes de Poisson obtenidos en los ensayos para la murta tratada en medio acuoso con y sin azúcar.** En la FIGURA 13, se pueden apreciar los valores de los coeficientes de Poisson determinados para la murta en los distintos ensayos.



**FIGURA 13. Coeficiente de Poisson para murta fresca y tratada en medio acuoso con y sin azúcar para tres lotes de recolección**

Se observa que las frutas no tratadas, frutas frescas a temperatura ambiente de 20 °C, tienen coeficientes de Poisson mayores que en el caso de las frutas tratadas a distintas temperaturas. Las frutas frescas tienen valores de *m* sobre

0,5 con valores de 0,51, 0,60 y 0,50 para los lotes 1, 2 y 3 respectivamente. Los valores de las frutas tratadas en medio acuoso con y sin azúcar, tienen un coeficiente de Poisson muy cercano de 0,40, entre 0,39 y 0,46. Según el análisis estadístico a un nivel de confianza del 95% (ANEXO A 2.6), existen diferencias estadísticamente significativas en todos los lotes, entre la murta fresca y los otros tratamientos.

**4.4.6.3 Interpretación de resultados.** Se observa que la murta pierde turgencia con la cocción, lo cual es efectivo dado que los tratamientos térmicos producen una deshidratación del producto, pero sin embargo el aumento de temperaturas no produce un cambio sustancial en el volumen del producto, lo que se ve reflejado en los coeficientes de Poisson para los distintos tratamientos los cuales prácticamente se mantienen cercanos al 0,4. También se ve que la adición de azúcar en el líquido de cobertura no tiene el efecto de deshidratación sobre todo la concentración de 30 °Brix, lo que reflejaría que para la textura de la murta en conserva sería la concentración adecuada. Se aprecia además que la murta fresca del lote 2 es la más turgente de las tres, dado que tiene el mayor coeficiente de Poisson, esto indicaría que de los tres lotes de recolección empleados en el ensayo, el lote 2 reuniría las mejores características de calidad, resumidas en frescura y textura. Claro que para poder comprobar esto último se deberían realizar más ensayos con murta en periodos de tiempo prolongado para ver si el almacenamiento después de la recolección guarda o no una correlación directa con la disminución del coeficiente de Poisson y de ser así el coeficiente de Poisson se convertiría en un importante índice de calidad para la evaluación de calidad de la murta.

Según el análisis de correlación realizado para las variables y los tratamientos (ANEXO A 2.7), se observa que prácticamente todas las variables están correlacionadas significativamente, la fuerza es la única variable que no se correlaciona con las otras, sólo con el pseudo-módulo de deformabilidad.

#### 4.5 Parámetros cinéticos

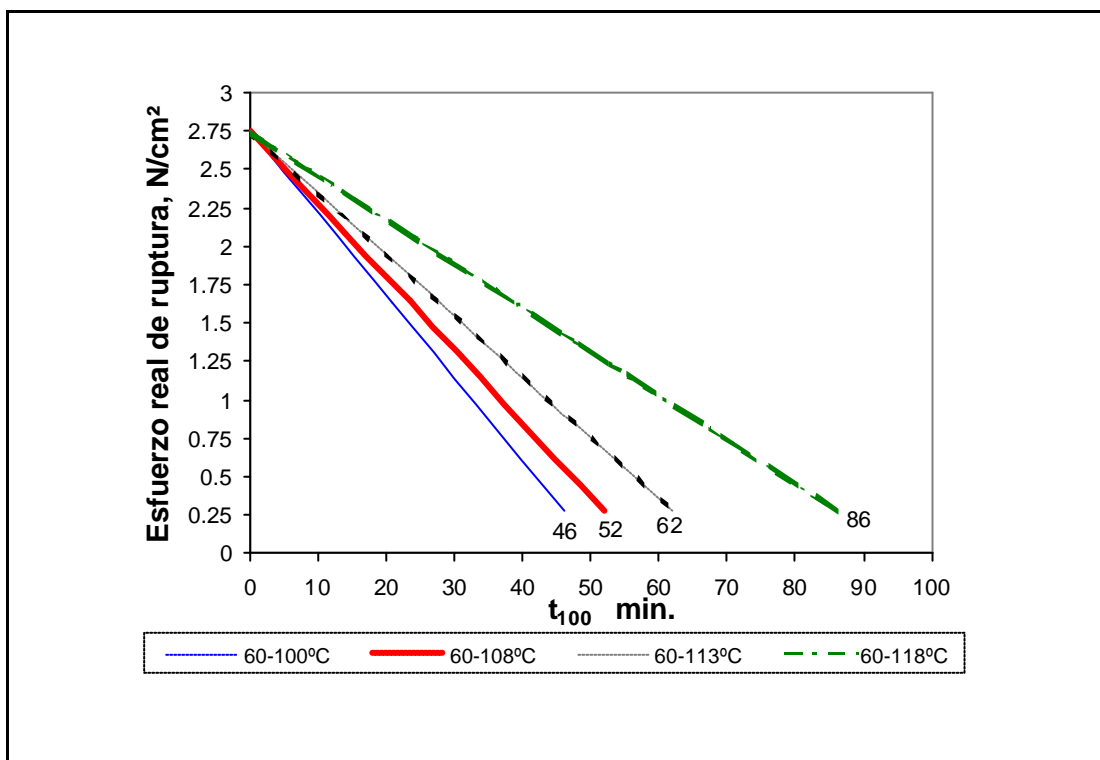
Por regla general, los cambios de cualquier naturaleza encontrados en los alimentos tratados térmicamente, obedecen a una cinética de primer orden similar a la descrita para la destrucción térmica de microorganismos. El cambio de textura sufrido por la murta se cuantificó a través de los parámetros cinéticos  $D$  y  $z$ .

El cambio de textura registrado por la murta se representó por el parámetro textural del esfuerzo real de ruptura para los tres lotes de recolección. Tal como se ve en el CUADRO 11. Este parámetro textural junto con el equivalente energético y el tiempo de tratamiento equivalente permitió encontrar los parámetros cinéticos.

**CUADRO 11. Equivalente energético, tiempo equivalente y esfuerzo real de ruptura ( $s_R$ ) por temperatura de tratamiento y por lote de recolección**

T° de Tto.	100 °C			108 °C			113 °C			118 °C		
	Equival. energet.	t <sub>100</sub> equival.	$s_R$ n = 25	Equival. energet.	t <sub>108</sub> equival.	$s_R$ n = 25	Equival. energet.	t <sub>113</sub> equival.	$s_R$ n = 25	Equival. energet.	t <sub>118</sub> equival.	$s_R$ n = 25
	K s	s	N cm <sup>2</sup>	K s	s	N cm <sup>2</sup>	K s	s	N cm <sup>2</sup>	K s	s	N cm <sup>2</sup>
<b>LOTE 1</b>		0	2,75		0	2,75		0	2,75		0	2,75
60-100	<b>49826</b>	1246	<b>1,63</b>	49826	1038	1,63	49826	940	1,63	49826	859	1,63
60-108	56128	1403	1,64	<b>56128</b>	1169	<b>1,64</b>	56128	1059	1,64	56128	968	1,64
60-113	89639	2241	1,25	89639	1867	1,25	<b>89639</b>	1691	<b>1,25</b>	89639	1546	1,25
60-118	114422	2861	1,38	114422	2384	1,38	114422	2159	1,38	<b>114422</b>	1973	<b>1,38</b>
<b>LOTE 2</b>		0	1,93		0	1,93		0	1,93		0	1,93
60-100	<b>44104</b>	1103	<b>1,76</b>	44104	919	1,76	44104	832	1,76	44104	760	1,76
60-108	46430	1161	1,45	<b>46430</b>	967	<b>1,45</b>	46430	876	1,45	46430	801	1,45
60-113	62093	1552	1,59	62093	1294	1,59	<b>62093</b>	1172	<b>1,59</b>	62093	1071	1,59
60-118	108215	2705	1,48	108215	2254	1,48	108215	2042	1,48	<b>108215</b>	1866	<b>1,48</b>
<b>LOTE 3</b>		0	1,76		0	1,76		0	1,76		0	1,76
60-100	<b>54666</b>	1367	<b>1,36</b>	54666	1139	1,36	54666	1031	1,36	54666	943	1,36
60-108	71384	1785	1,39	<b>71384</b>	1487	<b>1,39</b>	71384	1347	1,39	71384	1231	1,39
60-113	87571	2189	1,28	87571	1824	1,28	<b>87571</b>	1652	<b>1,28</b>	87571	1510	1,28
60-118	99546	2489	1,47	99546	2074	1,47	99546	1878	1,47	<b>99546</b>	1716	<b>1,47</b>

**4.5.1 Estimación de un valor  $D$ .** Como el valor  $D$  es un tiempo de reducción decimal, en la FIGURA 14 se ejemplifica la reducción decimal del esfuerzo real de ruptura ( $\sigma_R$ ), para el lote 1 en cuatro tratamientos y al tiempo equivalente  $t_{100}$ . La reducción del  $\sigma_R$  se da desde  $2,75 \text{ N/cm}^2$  hasta  $0,275 \text{ N/cm}^2$  obedeciendo a una reacción de primer orden. Esta reducción se denominó  $D_T$  que en el ejemplo es  $D_{100}$  en donde a distintos tratamientos su valor fue: a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  46 minutos, a  $108 \text{ }^\circ\text{C}$  52 minutos, a  $113 \text{ }^\circ\text{C}$  62 minutos y a  $118 \text{ }^\circ\text{C}$  86 minutos. Con estos valores se obtuvo un promedio el cual correspondió al valor  $\bar{D}_{T,L}$ , que para el ejemplo es  $\bar{D}_{100,1}$ , el valor  $\bar{D}$  a la temperatura de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  para el lote 1. De la misma manera se procedió para los otros tiempos equivalentes  $t_{108}$ ,  $t_{113}$  y  $t_{118}$ , y efectuado a su vez en cada lote.



**FIGURA 14. Tiempo de reducción decimal  $D$  para esfuerzo real de ruptura en murta a la temperatura de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$**

Los valores de  $\bar{D}_{T,L}$  disminuyen al aumentar la temperatura de tratamiento, con un rango de fluctuación alto, lo que indica que el producto tiene una gran

heterogeneidad característica para la murta, tal como se aprecia en el CUADRO 12, en donde además se detallan todos los valores  $D$  encontrados para el ensayo.

**CUADRO 12. Resumen de datos para el cálculo de un valor  $D$  promedio**

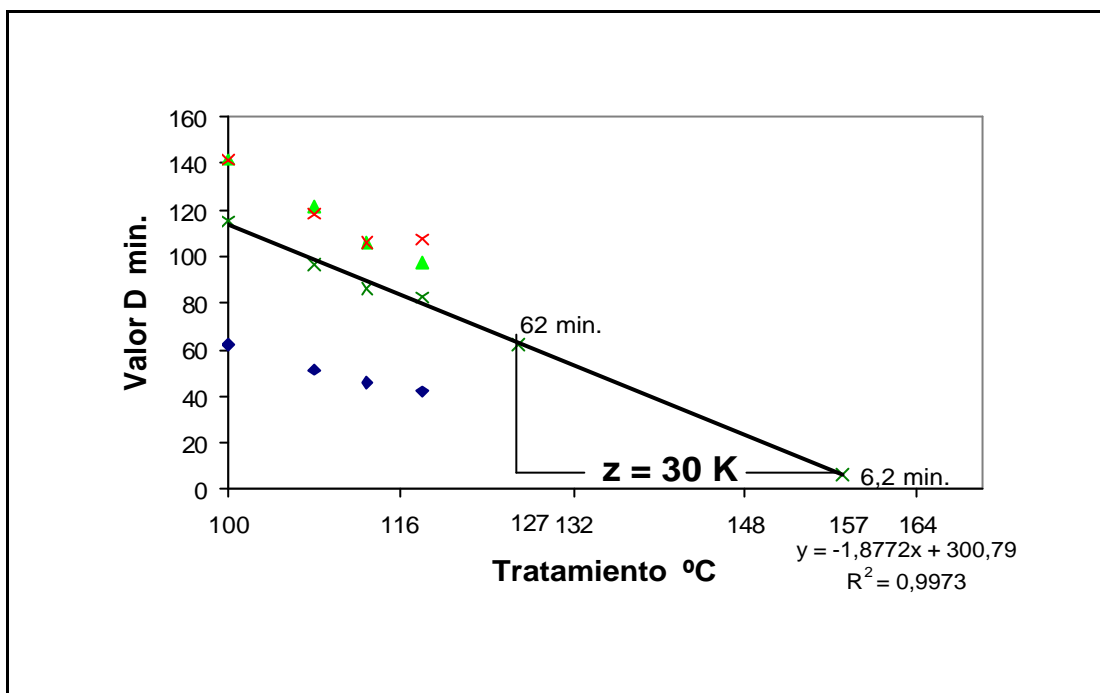
Tº de Tto.	Lote 1 (a)*		Lote 2 (b)		Lote 3 (b)	
<b>60-100</b>	$D_{100}$	$\bar{D}_{100,1}$	$D_{100}$	$\bar{D}_{100,2}$	$D_{100}$	$\bar{D}_{100,3}$
	46	$62 \pm 18$	189	$141 \pm 53$	90	$141 \pm 59$
	52		70		128	
	62		133		120	
	86		174		226	
$\bar{D}_{100,m}$	<b><math>115 \pm 46</math> min</b>					
<b>60-108</b>	$D_{108}$	$\bar{D}_{108,1}$	$D_{108}$	$\bar{D}_{108,2}$	$D_{108}$	$\bar{D}_{108,3}$
	38	$51 \pm 15$	157	$121 \pm 38$	75	$118 \pm 49$
	43		73		106	
	51		110		100	
	72		145		189	
$\bar{D}_{108,m}$	<b><math>97 \pm 39</math> min</b>					
<b>60-113</b>	$D_{113}$	$\bar{D}_{113,1}$	$D_{113}$	$\bar{D}_{113,2}$	$D_{113}$	$\bar{D}_{113,3}$
	35	$46 \pm 13$	141	$106 \pm 40$	68	$106 \pm 44$
	39		53		96	
	47		100		91	
	65		132		170	
$\bar{D}_{113,m}$	<b><math>86 \pm 35</math> min</b>					
<b>60-118</b>	$D_{118}$	$\bar{D}_{118,1}$	$D_{118}$	$\bar{D}_{118,2}$	$D_{118}$	$\bar{D}_{118,3}$
	32	$42 \pm 12$	130	$97 \pm 36$	62	$107 \pm 41$
	36		48		88	
	43		91		121	
	59		120		157	
$\bar{D}_{118,m}$	<b><math>82 \pm 35</math> min</b>					

\* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas

Según el análisis de varianza multifactorial (ANEXO A 2.8), se deduce que sólo existen diferencias significativas entre los lotes de recolección para el valor  $D_T$ . El tratamiento en cambio no tiene efecto estadísticamente significativo sobre el valor  $D_T$ .



**4.5.2 Estimación de un valor  $z$ .** Como el valor  $z$  corresponde al incremento de temperatura necesario para reducir el valor  $D$  de un proceso (cambio de textura de la murta) en un 90%, se graficaron para ello los valores  $\bar{D}_{T,L}$  con respecto al tratamiento aplicado, tal como se muestra en la FIGURA 15.



**FIGURA 15. Valor  $z$  para el esfuerzo real de ruptura en murta**

Aquí para un valor  $D$  inicial de 62 minutos a 127 °C, y un valor  $D$  final extrapolado de 6,2 minutos a 157 °C, obtenemos un valor  $z$  para esa reducción decimal del valor  $D$ , igual a 30 °C, a partir de la ecuación de la línea de tendencia de los valores  $D_{T,L}$  promedio.

En el CUADRO 13, se observa que los valores  $z$  promedio encontrados en el ensayo, están en un rango de 24 a 57 °C con un margen de fluctuación alto.

**CUADRO 13. Resumen de datos para el cálculo de un valor z promedio**

Lote 1					Lote 2					Lote 3				
T <sub>1</sub> °C	D <sub>1</sub> min.	T <sub>2</sub> °C	D <sub>2</sub> min.	z K	T <sub>1</sub> °C	D <sub>1</sub> min.	T <sub>2</sub> °C	D <sub>2</sub> min.	z Z	T <sub>1</sub> °C	D <sub>1</sub> min.	T <sub>2</sub> °C	D <sub>2</sub> min.	z Z
127	62	157	6.2	<b>30</b>	85	141	153	14.1	<b>68</b>	85	141	153	14.1	<b>68</b>
133	51	158	5.2	<b>25</b>	96	121	154	12.1	<b>58</b>	97	118	154	11.8	<b>57</b>
136	46	158	4.6	<b>22</b>	104	106	155	10.6	<b>51</b>	104	106	155	10.6	<b>51</b>
138	42	158	4.2	<b>20</b>	109	97	155	9.7	<b>46</b>	103	107	155	10.7	<b>52</b>
$\bar{z}_1 = 24 \pm 4,4 \text{ K}$					$\bar{z}_2 = 56 \pm 9,5 \text{ K}$					$\bar{z}_3 = 57 \pm 7,8 \text{ K}$				

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y considerando los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que:

- La murta fresca y la murta tratada presentan diferencias entre ellas, demostrando una alta variación en cuanto a la textura (firmeza y elasticidad).
- La murta tratada presenta una fuerza de ruptura menor que la murta fresca, así como también frente al kiwi y melón citados en el texto.
- Los parámetros texturales, tales como fuerza de ruptura, esfuerzo real de ruptura, altura relativa de ruptura y el coeficiente de Poisson presentan valores más bajos que la murta fresca, lo cual indica que la cocción tiene un efecto de disminución de la firmeza por un lado y por otro un aumento de la elasticidad en la murta.
- La deformación real a la ruptura muestra valores menores para la murta fresca lo cual indica que al estar más turgente hace que la murta fresca se deforme menos, y tiene una mayor resistencia a la ruptura durante la compresión.
- Los parámetros cinéticos  $D$  y  $z$  encontrados en este ensayo, permiten demostrar que en la cocción de la murta en el rango de temperatura entre 100 y 118 °C, no se producen cambios drásticos en la textura del producto final.

- La textura definida como firmeza en la murta es afectada por el tratamiento térmico no por las concentraciones del medio de cobertura hasta 30 °Brix.
- La medición objetiva, con un texturómetro si permite cuantificar la textura de la murta, a través de parámetros tales como la firmeza, la deformabilidad y el coeficiente de Poisson.
- A pesar de la gran heterogeneidad de la murta los resultados de esta investigación entregan antecedentes interesantes de textura, que podrían ser utilizados en describir características inherentes de la murta.

## 6. RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del tratamiento térmico sobre la textura de la murta (*Ugni molinae* Turcz). Para ello se utilizó murta fresca del sector Punucapa, Valdivia, CHILE. La murta se envasó en tarros de conserva de 425 ml, para ser tratados a diferentes temperaturas en una olla a presión y enfriados en un baño frío, con termocuplas colocadas tanto en el producto como en el medio, a través de un registrador de datos de 12 canales, *Digi-Sense* conectado a un computador, se almacenaron los datos que permitieron determinar la energía equivalente absorbida por el producto. La compresión uniaxial se realizó para un total de 25 muestras por tratamiento en un equipo universal de prueba de materiales INSTRON, con una carga máxima de 5 kg y a una velocidad constante de 50 mm/min. En total se realizaron 12 tratamientos, y con los datos entregados por el equipo se elaboraron algunos parámetros texturales y cinéticos.

Se aplicaron análisis estadísticos a los resultados a través de comparación múltiple de muestras para ver si las muestras analizadas de los tres lotes tenían o no una distribución normal y si habían diferencias significativas entre las muestras frescas y tratadas.

El equipo universal de prueba de materiales INSTRON, modelo 1011 Testing System, es útil en la obtención de datos, para elaborar parámetros texturales que sirvan como índice para evaluar la calidad de la murta tanto en estado fresco como tratada térmicamente. La murta tratada presenta los siguientes parámetros texturales: fuerza de ruptura entre 5,36 y 6,37 N; esfuerzo real de ruptura entre 1,25 y 1,76 N/cm<sup>2</sup>; altura relativa de ruptura entre 13,79 y 18,75%; pseudo-módulo de deformabilidad entre 0,71 y 1,06 N/cm<sup>2</sup>, deformación real a la ruptura entre 1,72 y 1,96, y coeficiente de Poisson entre 0,46 y 0,39, según el tratamiento y lote. La murta fresca en cambio presentó valores más altos para: fuerza de ruptura entre 6,00 y 6,72 N; esfuerzo real de ruptura entre 1,76 y 2,75 N/cm<sup>2</sup>; altura relativa de ruptura entre 22,33 y 29,18%, pseudo-módulo de deformabilidad entre 1,29 y 2,21 N/cm<sup>2</sup> y coeficiente de Poisson entre 0,50 y 0,60. Por otra parte para la deformación real a la ruptura para frutas frescas se encontraron valores más bajos entre 1,45 y 1,65.

Los parámetros cinéticos  $D$  y  $z$  encontrados en este ensayo, permiten demostrar que a pesar que los tratamientos aplicados a la murta fueron drásticos no tuvieron mayor efecto en la reducción de la textura.

## SUMMARY

The objective of the present investigation was to determine the effect of the thermal treatment on the texture of the murta (*Ugni molinae* Turcz). For the experiments fresh murta from the sector of Punucapa, Valdivia, CHILE was used. The fruits were filled in cans of 425 ml, and treated at different temperatures in a pressure cooker and cooled in water bath. Thermocouples placed inside and outside the can were connected to a data logger of 12 channels, DigiSense, which allowed monitoring and registering of the temperature during processing, as well as the determination of an equivalent energy amount absorbed by the product. Uniaxial compression test was carried out with an universal material testing equipment, INSTRON, on a total of 25 samples for each treatment. A maximum load of 5 kg at a constant speed of 50 mm/min were fixed as parameter. In total 12 treatments were carried out, and with the data obtained, some textural and kinetic parameters were calculated.

Statistical analysis was applied to the results to find out through multiple comparison if the analyzed samples of each of the three lots had a normal distribution and if they were significant differences among the fresh and treated samples.

The universal material testing equipment, INSTRON, model 1011 Testing System, showed to be useful in obtaining data to define textural parameters that serve as quality index in evaluating fresh and thermally treated murta. The treated murta presented the following textural parameters: rupture force between 5,36 N and 6,37 N; effective rupture stress between 1,25 N/cm<sup>2</sup> and 1,76 N/cm<sup>2</sup>; relative rupture height between 13,79 % and 18,75 %; pseudo-module for deformability between 0,71 N/cm<sup>2</sup> and 1,06 N/cm<sup>2</sup>, effective deformation to rupture between 1,72 and 1,96, and coefficient of Poisson between 0,46 and 0,39, according to the treatment and lot. The fresh murta on the other hand presented higher values: rupture force between 6,00 N and 6,72 N; effective rupture stress between 1,76 N/cm<sup>2</sup> and 2,75 N/cm<sup>2</sup>; relative rupture height between 22,33 % and 29,18 %, pseudo-module for deformability between 1,29 N/cm<sup>2</sup> and 2,21 N/cm<sup>2</sup> and coefficient of Poisson between 0,50 and 0,60. On the other hand only for the effective deformation to rupture for fresh fruits lower values between 1,45 and 1,65 were obtained.

The kinetic parameters, D and z, found in this experiment, showed that within the temperature range of the treatments, between 100 and 118 °C, applied to the murta the texture of the fruits were not greatly affected.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ABBOTT, J. y HARKER, F. 2001. Texture At: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/020texture.pdf>. Accessed: 20 de diciembre del 2003.
- ADAMS, J. 1978. The inactivation and regeneration of peroxides in relation to HTST processing of vegetables. *J. Food Technol.* 13: 281-297.
- AK, M. y GUNASEKARAN, S. 1992. Stress-Strain Curve Analysis of Cheddar Cheese under Uniaxial Compression. *J. Food Sci.* 57: 1078-1081.
- ALBA DE MOHR, M. 1977. Estudio sobre algunos aspectos de producción e industrialización de murta; *Ugni molinae*. INIA. 30 pág.
- BOURNE, M. 1982. Food Texture and Viscosity. Concept and Measurement. Editorial Academic Press, New York.
- BOURNE, M. 2002. Food Texture and Viscosity. Concept and Measurement. 2<sup>nd</sup> Ed. Editorial Academic Press, New York.
- BOWERS, J. 1992. Food Theory and Applications. Ediciones Maxwell Macmillan International, New York.
- CALZADA, J y PELEG, M. 1978. Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationships of solid foods. *J. Food Sci.* 43: 1087-1092.

- CÁRCEL, L., ACUÑA, L. y NEVARES, I. 2002. Propiedades Mecánicas del piñón cáscara. At: <http://cesia2002.udl.es/rpf-02.pdf>. Accessed: 15 de mayo del 2003.
- CASP, A. y ABRIL, J. 1999. Procesos de Conservación de Alimentos. Ediciones Mundi-Prensa, España.
- CASTAÑEDA, R. 2002. La reología en la caracterización y tipificación de quesos. Tecnología Láctea Latinoamericana. 26: 48-53.
- CHÁVEZ, S., VÁSQUEZ, E. y SAUCEDO, C. 2000. Propiedades Biomecánicas de Frutos de Zarzamora. Agrociencia. 34: 329-335.
- DAGERSKOG, M. 1977. Calculation of heat transfer and quality changes during industrial processing of whole potatoes. En Mathematical Modelling in Food Processing, EFCE Mini-Symposium, Lund Univ. Technol. Sweden. 269-288 pp.
- FELLOWS, P. 1988. Food Processing Technology. Editorial Ellis Horwood Ltd. Chichester, England.
- FELICIOTTI, E. y ESSELAN, W. 1957. Thermal destruction of thiamine in pureed meat and vegetables. Food Technol. 11: 77-84.
- GUPTA, S., EL-BISI, H. y FRANCIS, F. 1964. Kinetics of thermal degradation of chlorophyll in spinach purée. J. Food Sci. 29: 379-384.
- HAGER, V. 1997. Contribución al estudio de las propiedades texturales del mazapán. Tesis Lic. Ingeniería en Alimentos. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, 53 p.



- HAMM, D. y LUND, D. 1978. Kinetics parameters for the thermal inactivation of pantothenic acid. *J. Food Sci.* 43: 631-634.
- HAYAKAWA, K. y TIMBERS, G. 1971. Influence of heat treatment on the quality of vegetables: changes in visual green colour. *J. Food Sci.* 42: 778-781.
- HAYAKAWA, K., TIMBERS, G. y STIER, E. 1977. Influence of heat treatment on the quality of vegetables: Organoleptic Quality. *J. Food Sci.* 42: 1286-1289.
- HERSOM, A. y HULLAND, E. 1995. *Conservas Alimenticias*. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- HUANG, Y. y BOURNE, M. 1983. Kinetics of thermal softening of vegetables. *J. Texture Studies.* 14: 1-9.
- IBARZ, A. y BARBOSA-CANOVAS, G., 1999. *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Technomic Publishing Company. U.S.A.
- JORGE, M, RODRÍGUES, J. y HOMBRE, R. 2002. Evaluación de un método instrumental de textura para el control de las tabletas de chocolate. *Revista Dulcelandia.* 739: 1-4.
- KESSLER, H. y FINK, R. 1986. Changes in heat and stored milk with and interpretation by reaction kinetics. *J. Food Sci.* 51: 1105-1111.
- LANDRUM, L. y DONOSO, Z. 1990. *Ugni molinae* (Myrtaceae), a potential fruit crop for regions of mediterranean, maritime and subtropical climates. *Economy Botany.* 44: 536-539.

- LANTHROP, P. y LEUNG, H. 1980. Rate of ascorbic acid degradation during thermal processing of canned peas. *J. Food Sci.* 45: 152-155.
- MARTINEZ, J. 1993. Propiedades texturales de pasas obtenidas por deshidratación osmótica y secado con aire caliente. Tesis Ing. En Alimentos, Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, 85p.
- MASSAGUER, P., MAGALHAES, M. y TOSELLO, R. 1994. Thermal inactivation of pectin esterase in papaya pulp. Editorial Backie A&P, London.
- MISHKIN, M. y SAGUY, I. 1982. Thermal stability of pomegranate juice. *Z. Lebensm. Untersuch. Forsch.* 175: 410-412.
- NAVANKATUSSAS, S. y LUND, D. 1982. Thermal destruction of vitamin B6 vitamers in buffer solution and cauliflower purée. *J. Food Sci.* 47: 1512-1515.
- NOVOA R. 1982. Antecedentes sobre establecimiento y producción de frutos de la especie *Ugni molinae* Turcz. Tesis Lic. Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 88p.
- PELEG, M. 1977. Operacional conditions and the stress-strain relationships of solid foods. *J. Texture Studies* 8: 283-286.
- POTTER, N. y HOTCHKISS, J. 1999. *Ciencia de los Alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza España.
- SEGUEL, I. 1999. Murtilla (*Ugni molinae* Turcz.), una baya endémica, nueva alternativa para el desarrollo frutícola de Chile. INIA-Carillanca.

At: <http://www.agrisustentavel.com/doc/naomadeira.pdf>. Accessed: 15 de mayo del 2003.

SHARMA, S., MULVANEY, S. y RIZVI, S. 2000. Food Process Engineering Theory and Laboratory Experiments. Editorial Wiley Interscience. U. S. A.

STEFFE, J. 1996. Rheological Methods In Food Process Engineering. Editorial Freeman Press. U. S. A.

SUSUKI, K., KUBOTA, K., OMICHI, M. y HOSAKA, H. 1976. Kinetics studies on cooking of rice. J. Food Sci. 41: 1180-1184.

TACON, A. 2004. Manual de Productos Forestales No Madereros. Proyecto CIPMA-FMAM. 22 pp.

TIJSKENS, L. y SCHIJVENS, E. 1987. Preservation criteria based on texture kinetics. En: Influence of HTST Treatments on Product Quality and Nutritive Value of Food and Feed. Editorial K. O. Paulus.

VALERO, C. y RUIZ, M. 2000. Técnicas de medida de la calidad de frutas. At: <http://138.100.116.103/pdf/2000%20ctmcs.PDF>. Accessed: 20 de diciembre del 2003.

VAN LOEY, A., FRANCIS, A., HENDRICKX, M., MAESMANS, G. y TOBBACK, P. 1955. Kinetics of quality changes in green peas and white beans during thermal processing. J. Food Eng. 24: 165-179.

WILKINSON, S., EARLE, M. y CLELAND, A. 1981. Effects of food composition, pH and copper on the degradation of vitamin A in beef live purée. J. Food Sci. 46: 844-848.

## **ANEXOS**



## ANEXO 2 Análisis estadístico

### A 2.1 Comparación de los valores de fuerza de ruptura $F_R$ (N) entre las muestras de murta fresca y tratada en cada lote de recolección

Requisito de normalidad para  $F_R$  del lote 1

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$F_R$ a 20°C	25	6,71848	6,662	
$F_R$ a 100°C	25	6,22084	6,237	
$F_R$ a 108°C	25	6,21284	6,35	
$F_R$ a 113°C	25	6,12824	6,1	
$F_R$ a 118°C	25	6,36508	6,3	
Total	125	6,3291	6,325	6,1
	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$F_R$ a 20°C	0,192752	0,439035	0,244497	-0,230984
$F_R$ a 100°C	0,14606	0,382178	-0,746461	-0,0679442
$F_R$ a 108°C	0,23581	0,485602	-1,44619	0,0228194
$F_R$ a 113°C	0,102341	0,319907	-2,48648	2,10978
$F_R$ a 118°C	0,0722862	0,268861	2,40441	0,989583
Total	0,189067	0,434818	-0,0868494	2,12934

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

Requisito de homogeneidad interna de varianzas para  $F_R$  del lote 1

Prueba C de Cochran:	0,314728	P-valor = 0,101149
Prueba de Bartlett:	1,08998	P-valor = 0,0376724
Prueba de Hartley:	3,26217	
Test de Levene:	2,50757	P-valor = 0,0455599

Este requisito se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de p es superior a 0,05, indicándose que no existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumple uno de los dos requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

**Prueba de Kruskal-Wallis para  $F_R$  según tratamiento para el lote 1**

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$F_R$ a 20°C	25	93,54
$F_R$ a 100°C	25	53,96
$F_R$ a 108°C	25	57,8
$F_R$ a 113°C	25	44,64
$F_R$ a 118°C	25	65,06
Estadístico =	26,3438	P-valor = 0,0000269739

Dado que el valor de  $p$  es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

#### Requisito de normalidad para $F_R$ del lote 2

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$F_R$ a 20°C	25	6,62792	6,65	
$F_R$ a 100°C	25	6,05852	6,137	6,313
$F_R$ a 108°C	25	6,1238	6,125	
$F_R$ a 113°C	25	6,2942	6,31	
$F_R$ a 118°C	25	6,25436	6,2	
Total	125	6,27176	6,225	6,125

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$F_R$ a 20°C	0,321911	0,567372	-0,124917	-1,31579
$F_R$ a 100°C	0,193015	0,439335	-1,02104	0,175371
$F_R$ a 108°C	0,0807885	0,284233	0,835322	-0,0168838
$F_R$ a 113°C	0,174098	0,41725	-0,67896	0,770494
$F_R$ a 118°C	0,0621535	0,249306	0,0347547	-0,0394675
Total	0,200344	0,447598	1,64233	1,54545

Este requisito se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores menores que 2 en valor absoluto.

#### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $F_R$ del lote 2

Prueba C de Cochran:	0,386928	P-valor = 0,00388381
Prueba de Bartlett:	1,18617	P-valor = 0,000466027
Prueba de Hartley:	5,17929	
Test de Levene:	5,43744	P-valor = 0,00046602

Este requisito no se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumple uno de los dos requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

#### Prueba de Kruskal-Wallis para $F_R$ según tratamiento para el lote 2

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$F_R$ a 20°C	25	84,02
$F_R$ a 100°C	25	49,26
$F_R$ a 108°C	25	49,16
$F_R$ a 113°C	25	69,36
$F_R$ a 118°C	25	63,2

Estadístico = 16,4355    P-valor = 0,00248718

Dado que el valor de  $p$  es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

#### Requisito de normalidad para $F_R$ del lote 3

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$F_R$ a 20°C	25	5,9962	5,975	6,288
$F_R$ a 100°C	25	5,63416	5,659	
$F_R$ a 108°C	25	5,61748	5,56	
$F_R$ a 113°C	25	5,35744	5,338	
$F_R$ a 118°C	25	5,6082	5,65	
Total	125	5,6427	5,65	5,55

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$F_R$ a 20°C	0,181019	0,425463	-0,538749	-1,09521
$F_R$ a 100°C	0,227484	0,476953	-0,778271	-0,452955
$F_R$ a 108°C	0,101696	0,318899	-0,347038	-1,1422
$F_R$ a 113°C	0,249951	0,499951	-4,70467	8,86997
$F_R$ a 118°C	0,0990743	0,314761	-3,01719	6,88584
Total	0,208284	0,456382	-3,71305	8,26664

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

#### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $F_R$ del lote 3

Prueba C de Cochran:	0,290903	P-valor = 0,239865
Prueba de Bartlett:	1,07641	P-valor = 0,0693087
Prueba de Hartley:	2,52286	
Test de Levene:	2,09028	P-valor = 0,086257

Este requisito se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es superior a 0,05, indicándose que no existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumple uno de los dos requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

#### Prueba de Kruskal-Wallis para $F_R$ según tratamiento para el lote 3

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$F_R$ a 20°C	25	89,38
$F_R$ a 100°C	25	63,22
$F_R$ a 108°C	25	60,38
$F_R$ a 113°C	25	40,9
$F_R$ a 118°C	25	61,12

Estadístico = 22,7602    P-valor = 0,000141385



Dado que el valor de  $p$  es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

## A 2.2 Comparación de los valores de esfuerzo real de ruptura $S_R$ (N/cm<sup>2</sup>) entre las muestras de murta fresca y tratada en cada lote de recolección

Requisito de normalidad para  $S_R$  del lote 1

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$S_R$ a 20°C	25	2,75084	2,124	
$S_R$ a 100°C	25	1,6262	1,61	
$S_R$ a 108°C	25	1,64	1,681	
$S_R$ a 113°C	25	1,24548	1,192	1,059
$S_R$ a 118°C	25	1,37904	1,328	
Total	125	1,72831	1,544	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$S_R$ a 20°C	1,7858	1,33634	1,81338	-0,834566
$S_R$ a 100°C	0,0397645	0,19941	0,453539	0,290269
$S_R$ a 108°C	0,0484017	0,220004	-0,0423747	-1,27588
$S_R$ a 113°C	0,0272614	0,16511	0,674117	-0,854134
$S_R$ a 118°C	0,0250347	0,158224	0,608352	-1,3047
Total	0,658895	0,811723	13,9188	21,7182

Este requisito se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores menores que 2 en valor absoluto.

Requisito de homogeneidad interna de varianzas para  $S_R$  del lote 1

Prueba C de Cochran: 0,92708 P-valor = 0,0  
 Prueba de Bartlett: 5,1486 P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 71,3329  
 Test de Levene: 14,7145 P-valor = 8,26553E-10

Este requisito no se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de p es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumple uno de los dos requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

### Prueba de Kruskal-Wallis para $s_R$ según tratamiento para el lote 1

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$s_R$ a 20°C	25	102,56
$s_R$ a 100°C	25	73,4
$s_R$ a 108°C	25	74,18
$s_R$ a 113°C	25	24,06
$s_R$ a 118°C	25	40,8

Estadístico = 72,5213 P-valor = 0,0

Dado que el valor de p es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

### Requisito de normalidad para $s_R$ del lote 2.

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$s_R$ a 20°C	25	1,9334	1,597	
$s_R$ a 100°C	25	1,75552	1,485	
$s_R$ a 108°C	25	1,45036	1,418	
$s_R$ a 113°C	25	1,59112	1,594	
$s_R$ a 118°C	25	1,4762	1,476	
Total	125	1,64132	1,487	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$s_R$ a 20°C	1,15922	1,07667	4,31828	3,44461
$s_R$ a 100°C	0,80493	0,897179	5,32752	7,15123
$s_R$ a 108°C	0,111057	0,333252	0,684524	-0,375084
$s_R$ a 113°C	0,104303	0,32296	0,800759	0,402143
$s_R$ a 118°C	0,0780429	0,279362	1,06023	-0,185475
Total	0,470131	0,685661	15,001	28,1258

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $s_R$ del lote 2

Prueba C de Cochran: 0,513484 P-valor = 0,00000110419  
 Prueba de Bartlett: 1,85972 P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 14,8536  
 Test de Levene: 2,2607 P-valor = 0,0665633

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

#### Prueba de Kruskal-Wallis para $s_R$ según tratamiento para el lote 2

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$s_R$ a 20°C	25	71,42
$s_R$ a 100°C	25	64,64
$s_R$ a 108°C	25	53,72
$s_R$ a 113°C	25	68,72
$s_R$ a 118°C	25	56,5

Estadístico = 4,46999 P-valor = 0,346121

Dado que el valor de  $p$  es superior a 0,05, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

#### Requisito de normalidad para $s_R$ del lote 3

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$s_R$ a 20°C	25	1,76188	1,352	
$s_R$ a 100°C	25	1,36436	1,378	
$s_R$ a 108°C	25	1,39072	1,405	
$s_R$ a 113°C	25	1,28292	1,243	
$s_R$ a 118°C	25	1,47144	1,502	
Total	125	1,45426	1,374	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$s_R$ a 20°C	1,35762	1,16517	3,66712	1,78134
$s_R$ a 100°C	0,0762503	0,276135	0,678772	-0,0157813
$s_R$ a 108°C	0,0952458	0,308619	1,36203	1,14934
$s_R$ a 113°C	0,0723837	0,269042	1,38854	0,862608
$s_R$ a 118°C	0,0553931	0,235357	0,00724272	-0,75004
Total	0,34819	0,590076	16,8454	36,8738

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $s_R$ del lote 3

Prueba C de Cochran: 0,819377 P-valor = 0,0  
 Prueba de Bartlett: 2,51728 P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 24,5089  
 Test de Levene: 4,7924 P-valor = 0,00127361

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumple uno de los dos requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

### Prueba de Kruskal-Wallis para $s_R$ según tratamiento para el lote 3

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$s_R$ a 20°C	25	61,8
$s_R$ a 100°C	25	61,72
$s_R$ a 108°C	25	63,98
$s_R$ a 113°C	25	50,6
$s_R$ a 118°C	25	76,9

Estadístico = 6,68594 P-valor = 0,153445

Dado que el valor de  $p$  es superior a 0,05, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

### A 2.3 Comparación de los valores de altura relativa de ruptura $H_{rR}$ entre las muestras de murta fresca y tratada en cada lote de recolección

Requisito de normalidad para  $H_{rR}$  del lote 1

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
Hr <sub>R</sub> a 20°C	25	29,18	22,5	
Hr <sub>R</sub> a 100°C	25	18,008	18,7	
Hr <sub>R</sub> a 108°C	25	18,756	18,9	
Hr <sub>R</sub> a 113°C	25	13,792	13,7	
Hr <sub>R</sub> a 118°C	25	14,888	15,3	
Total	125	18,9248	16,9	16,9
	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
Hr <sub>R</sub> a 20°C	177,57	13,3255	1,78733	-0,895354
Hr <sub>R</sub> a 100°C	7,82993	2,7982	-0,208088	-0,261651
Hr <sub>R</sub> a 108°C	9,25173	3,04167	0,4783	-0,509201
Hr <sub>R</sub> a 113°C	3,27577	1,80991	0,541054	-0,512119
Hr <sub>R</sub> a 118°C	6,5311	2,5556	-1,47464	-0,0721492
Total	69,5483	8,33956	12,5706	18,5648

Este requisito se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores menores que 2 en valor absoluto.

Requisito de homogeneidad interna de varianzas para  $H_{rR}$  del lote 1

Prueba C de Cochran:	0,868489	P-valor = 0,0
Prueba de Bartlett:	3,33968	P-valor = 0,0
Prueba de Hartley:	54,2072	
Test de Levene:	11,037	P-valor = 1,17677E-7

Este requisito no se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de p es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumple uno de los dos requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

Prueba de Kruskal-Wallis para  $H_{rR}$  según tratamiento para el lote 1

	Tamaño Muestral	Rango Medio
Hr <sub>R</sub> a 20°C	25	101,66
Hr <sub>R</sub> a 100°C	25	69,36
Hr <sub>R</sub> a 108°C	25	77,02
Hr <sub>R</sub> a 113°C	25	26,66
Hr <sub>R</sub> a 118°C	25	40,3
Estadístico =	67,9806	P-valor = 0,0

Dado que el valor de  $p$  es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

#### Requisito de normalidad para $Hr_R$ del lote 2

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
Hr <sub>R</sub> a 20°C	25	22,864	19,0	
Hr <sub>R</sub> a 100°C	25	17,808	18,0	19,9
Hr <sub>R</sub> a 108°C	25	16,828	16,8	
Hr <sub>R</sub> a 113°C	25	17,144	18,1	19,1
Hr <sub>R</sub> a 118°C	25	17,188	17,1	
Total	125	18,3664	17,7	19,9

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
Hr <sub>R</sub> a 20°C	139,5	11,811	4,56861	4,11865
Hr <sub>R</sub> a 100°C	8,23327	2,86937	-0,711242	-0,095866
Hr <sub>R</sub> a 108°C	11,4471	3,38336	-0,176148	-0,097118
Hr <sub>R</sub> a 113°C	10,0559	3,1711	-0,845414	-0,634336
Hr <sub>R</sub> a 118°C	9,62777	3,10286	0,838479	-0,251508
Total	39,8184	6,31018	18,6268	49,3088

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

#### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $Hr_R$ del lote 2

Prueba C de Cochran: 0,779922 P-valor = 0,0  
 Prueba de Bartlett: 2,15078 P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 16,9434  
 Test de Levene: 3,07749 P-valor = 0,0187804

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es superior a 0,05, indicándose que no existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

#### Prueba de Kruskal-Wallis para $Hr_R$ según tratamiento para el lote 2

	Tamaño Muestral	Rango Medio
Hr <sub>R</sub> a 20°C	25	79,12
Hr <sub>R</sub> a 100°C	25	66,42
Hr <sub>R</sub> a 108°C	25	53,7
Hr <sub>R</sub> a 113°C	25	59,28
Hr <sub>R</sub> a 118°C	25	56,48

Estadístico = 7,89525 P-valor = 0,0954917

Dado que el valor de  $p$  es superior a 0,05, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

### Requisito de normalidad para $Hr_R$ del lote 3

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$Hr_R$ a 20°C	25	22,32	19,0	20,3
$Hr_R$ a 100°C	25	16,684	16,2	
$Hr_R$ a 108°C	25	17,14	16,4	14,5
$Hr_R$ a 113°C	25	16,22	16,0	
$Hr_R$ a 118°C	25	17,5	17,5	17,5
Total	125	17,9728	17,1	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$Hr_R$ a 20°C	133,558	11,5567	4,34647	3,60272
$Hr_R$ a 100°C	6,67057	2,58274	0,409311	-0,396114
$Hr_R$ a 108°C	8,48	2,91204	0,614926	-0,9034
$Hr_R$ a 113°C	6,12333	2,47454	0,327384	-0,513626
$Hr_R$ a 118°C	5,76	2,4	0,658127	-0,174383
Total	36,0317	6,00264	19,8064	51,9487

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $Hr_R$ del lote 3

Prueba C de Cochran: 0,831661 P-valor = 0,0  
 Prueba de Bartlett: 2,64014 P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 23,1872  
 Test de Levene: 4,5056 P-valor = 0,00199566

Este requisito no se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

### Prueba de Kruskal-Wallis para $Hr_R$ según tratamiento para el lote 3

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$Hr_R$ a 20°C	25	78,82
$Hr_R$ a 100°C	25	56,46
$Hr_R$ a 108°C	25	61,06
$Hr_R$ a 113°C	25	51,52
$Hr_R$ a 118°C	25	67,14
-----		
Estadístico =	8,49238	P-valor = 0,0751186



Dado que el valor de  $p$  es superior a 0,05, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

## A 2.4 Comparación de los valores de deformación real a la ruptura $\epsilon_R$ entre las muestras de murta fresca y tratada en cada lote de recolección

Requisito de normalidad para  $\epsilon_R$  del lote 1

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$\epsilon_R$ a 20°C	25	1,45412	1,571	0,796
$\epsilon_R$ a 100°C	25	1,73252	1,678	
$\epsilon_R$ a 108°C	25	1,7426	1,74	1,924
$\epsilon_R$ a 113°C	25	1,96236	1,984	1,984
$\epsilon_R$ a 118°C	25	1,79424	1,799	
Total	125	1,73717	1,773	1,924
	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$\epsilon_R$ a 20°C	0,134749	0,367082	-2,07701	0,0926774
$\epsilon_R$ a 100°C	0,022819	0,15106	1,49133	-0,297543
$\epsilon_R$ a 108°C	0,0246295	0,156938	1,61612	0,343448
$\epsilon_R$ a 113°C	0,0222764	0,149253	-0,332693	-0,134494
$\epsilon_R$ a 118°C	0,0138834	0,117828	-0,172563	-1,43154
Total	0,0693063	0,263261	-7,39275	11,0658

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

Requisito de homogeneidad interna de varianzas para  $\epsilon_R$  del lote 1

Prueba C de Cochran: 0,617104 P-valor = 7,7936E-11  
 Prueba de Bartlett: 1,46647 P-valor = 3,62989E-9  
 Prueba de Hartley: 9,70582  
 Test de Levene: 3,97961 P-valor = 0,00455751

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de p es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

### Prueba de Kruskal-Wallis para $\epsilon_R$ según tratamiento para el lote 1

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$\epsilon_R$ a 20°C	25	29,56
$\epsilon_R$ a 100°C	25	57,34
$\epsilon_R$ a 108°C	25	57,58
$\epsilon_R$ a 113°C	25	99,44
$\epsilon_R$ a 118°C	25	71,08

Estadístico = 49,0085 P-valor = 5,81494E-10

Dado que el valor de p es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

### Requisito de normalidad para $\epsilon_R$ del lote 2

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$\epsilon_R$ a 20°C	25	1,6452	1,701	1,713
$\epsilon_R$ a 100°C	25	1,67508	1,739	
$\epsilon_R$ a 108°C	25	1,8042	1,778	
$\epsilon_R$ a 113°C	25	1,77456	1,746	
$\epsilon_R$ a 118°C	25	1,77864	1,8	
Total	125	1,73554	1,75	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$\epsilon_R$ a 20°C	0,0618933	0,248784	-2,81778	3,09319
$\epsilon_R$ a 100°C	0,104199	0,322798	-3,88102	4,36721
$\epsilon_R$ a 108°C	0,0376582	0,194057	1,79431	1,7119
$\epsilon_R$ a 113°C	0,034642	0,186124	0,891665	-0,85021
$\epsilon_R$ a 118°C	0,0324336	0,180093	-0,329126	-0,983625
Total	0,0564322	0,237555	-6,09002	11,1292

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $\epsilon_R$ del lote 2

Prueba C de Cochran: 0,384744 P-valor = 0,00434758  
 Prueba de Bartlett: 1,11308 P-valor = 0,0131458  
 Prueba de Hartley: 3,21268  
 Test de Levene: 0,594555 P-valor = 0,667245

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

#### Prueba de Kruskal-Wallis para $\epsilon_R$ según tratamiento para el lote 2

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$\epsilon_R$ a 20°C	25	49,16
$\epsilon_R$ a 100°C	25	59,56
$\epsilon_R$ a 108°C	25	71,24
$\epsilon_R$ a 113°C	25	65,2
$\epsilon_R$ a 118°C	25	69,84

Estadístico = 6,15075    P-valor = 0,18817

Dado que el valor de  $p$  es superior a 0,05, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

#### Requisito de normalidad para $\epsilon_R$ del lote 3

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$\epsilon_R$ a 20°C	25	1,54164	1,637	1,767
$\epsilon_R$ a 100°C	25	1,76976	1,789	
$\epsilon_R$ a 108°C	25	1,77408	1,774	
$\epsilon_R$ a 113°C	25	1,83332	1,836	
$\epsilon_R$ a 118°C	25	1,71592	1,732	
Total	125	1,72694	1,767	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$\epsilon_R$ a 20°C	0,200947	0,448271	-3,21695	1,31102
$\epsilon_R$ a 100°C	0,0423177	0,205713	-2,40977	3,86823
$\epsilon_R$ a 108°C	0,0276334	0,166233	-0,325147	0,0308094
$\epsilon_R$ a 113°C	0,0239085	0,154624	-0,0611449	-0,287282
$\epsilon_R$ a 118°C	0,0296189	0,172101	-1,78593	0,722092
Total	0,0728384	0,269886	-11,2275	19,591

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

#### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $\epsilon_R$ del lote 3

Prueba C de Cochran: 0,619393 P-valor = 6,07814E-11  
 Prueba de Bartlett: 1,47202 P-valor = 2,93276E-9  
 Prueba de Hartley: 8,40484  
 Test de Levene: 3,29104 P-valor = 0,0134416

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de p es menor a 0,05, indicándose que no existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

#### Prueba de Kruskal-Wallis para $\epsilon_R$ según tratamiento para el lote 3

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$\epsilon_R$ a 20°C	25	47,6
$\epsilon_R$ a 100°C	25	67,08
$\epsilon_R$ a 108°C	25	66,12
$\epsilon_R$ a 113°C	25	77,92
$\epsilon_R$ a 118°C	25	56,28

Estadístico = 10,1205 P-valor = 0,0384454

Dado que el valor de p es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

## A 2.5 Comparación de los valores de pseudo - módulo de deformabilidad $E_{mR}$ (N/cm<sup>2</sup>) entre las muestras de murta fresca y tratada en cada lote de recolección

### Requisito de normalidad para $E_{mR}$ del lote 1

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$E_{mR}$ a 20°C	25	2,20952	1,335	
$E_{mR}$ a 100°C	25	0,98784	0,987	
$E_{mR}$ a 108°C	25	1,01904	0,972	
$E_{mR}$ a 113°C	25	0,96988	0,797	0,893
$E_{mR}$ a 118°C	25	0,96104	0,901	
Total	125	1,22946	0,973	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$E_{mR}$ a 20°C	3,38402	1,83957	2,64355	-0,128307
$E_{mR}$ a 100°C	0,0211621	0,145472	0,567169	-0,432286
$E_{mR}$ a 108°C	0,0434955	0,208556	0,41659	-1,32682
$E_{mR}$ a 113°C	0,16059	0,400737	2,2572	0,0280119
$E_{mR}$ a 118°C	0,0591828	0,243275	2,51264	1,31734
Total	0,952484	0,975953	17,5324	33,3484

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $E_{mR}$ del lote 1

Prueba C de Cochran: 0,922466 P-valor = 0,0  
 Prueba de Bartlett: 5,90531 P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 159,909  
 Test de Levene: 8,0249 P-valor = 0,00000909331

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de p es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

### Prueba de Kruskal-Wallis para $E_{mR}$ según tratamiento para el lote 1

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$E_{mR}$ a 20°C	25	92,54
$E_{mR}$ a 100°C	25	61,02
$E_{mR}$ a 108°C	25	62,6
$E_{mR}$ a 113°C	25	46,48
$E_{mR}$ a 118°C	25	52,36

Estadístico = 24,0538 P-valor = 0,0000779163

Dado que el valor de  $p$  es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

#### Requisito de normalidad para $E_{mR}$ del lote 2

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$E_{mR}$ a 20°C	25	1,29068	0,878	
$E_{mR}$ a 100°C	25	1,0644	0,88	
$E_{mR}$ a 108°C	25	0,84784	0,828	
$E_{mR}$ a 113°C	25	0,91944	0,955	
$E_{mR}$ a 118°C	25	0,85236	0,833	
Total	125	0,994944	0,856	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$E_{mR}$ a 20°C	1,61696	1,2716	6,12202	8,47824
$E_{mR}$ a 100°C	0,721513	0,849419	8,47912	19,5412
$E_{mR}$ a 108°C	0,055924	0,236483	1,15156	-0,537695
$E_{mR}$ a 113°C	0,0631768	0,25135	0,056731	-0,580163
$E_{mR}$ a 118°C	0,0589614	0,24282	1,40905	-0,338805
Total	0,515287	0,717835	23,2353	65,0488

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

#### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $E_{mR}$ del lote 2

Prueba C de Cochran: 0,642534    P-valor = 4,42091E-12  
 Prueba de Bartlett: 2,65888    P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 28,9135  
 Test de Levene: 1,72807    P-valor = 0,148208

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

### Prueba de Kruskal-Wallis para $E_{mR}$ según tratamiento para el lote 2

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$E_{mR}$ a 20°C	25	70,24
$E_{mR}$ a 100°C	25	64,98
$E_{mR}$ a 108°C	25	55,84
$E_{mR}$ a 113°C	25	67,36
$E_{mR}$ a 118°C	25	56,58

Estadístico = 3,1968    P-valor = 0,525447

Dado que el valor de  $p$  es superior a 0,05, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

### Requisito de normalidad para $E_{mR}$ del lote 3

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
$E_{mR}$ a 20°C	25	1,29088	0,763	
$E_{mR}$ a 100°C	25	0,77668	0,768	
$E_{mR}$ a 108°C	25	0,80588	0,802	
$E_{mR}$ a 113°C	25	0,7148	0,662	
$E_{mR}$ a 118°C	25	0,84268	0,844	0,628
Total	125	0,886184	0,77	

	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada
$E_{mR}$ a 20°C	2,57906	1,60595	6,25894	8,76744
$E_{mR}$ a 100°C	0,0461394	0,214801	1,12978	0,218396
$E_{mR}$ a 108°C	0,0667366	0,258334	2,48121	2,77904
$E_{mR}$ a 113°C	0,0441201	0,210048	2,30116	1,21804
$E_{mR}$ a 118°C	0,0335254	0,183099	0,786345	-0,299341
Total	0,579089	0,760979	30,2635	108,666

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $E_{mR}$ del lote 3

Prueba C de Cochran: 0,931209    P-valor = 0,0  
 Prueba de Bartlett: 5,36368    P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 76,9286  
 Test de Levene: 2,85377    P-valor = 0,0266304

Este requisito tampoco se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.



Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

Prueba de Kruskal-Wallis para  $E_{mR}$  según tratamiento para el lote 3

	Tamaño Muestral	Rango Medio
$E_{mR}$ a 20°C	25	67,32
$E_{mR}$ a 100°C	25	61,02
$E_{mR}$ a 108°C	25	63,92
$E_{mR}$ a 113°C	25	49,14
$E_{mR}$ a 118°C	25	73,6

Estadístico = 6,24569    P-valor = 0,181536

Dado que el valor de p es superior a 0,05, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

## A 2.6 Análisis de varianza simple del coeficiente de Poisson ( $m$ ) entre las muestras de murta fresca y tratada en cada lote de recolección

### Requisito de normalidad para $\mu$ del lote 1

Tratamiento	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
20	25	0,5112	0,436	
100	25	0,4062	0,409	0,474
108	25	0,41156	0,408	0,401
113	25	0,39456	0,395	0,378
118	25	0,41416	0,412	0,428
Total	125	0,427536	0,41	0,401

Tratamiento	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis típicada
20	0,0315059	0,177499	3,99557	4,32241
100	0,00135967	0,0368737	0,631497	-0,487747
108	0,000697673	0,0264135	1,12792	0,0433825
113	0,00142509	0,0377504	0,710121	-0,864059
118	0,000675723	0,0259947	0,235711	0,962002
Total	0,00871249	0,0933407	20,19	58,2084

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $\mu$ del lote 1

Prueba C de Cochran:	0,883408	P-valor = 0,0
Prueba de Bartlett:	3,64287	P-valor = 0,0
Prueba de Hartley:	46,6255	
Test de Levene:	7,45118	P-valor = 0,0000214383

Este requisito no se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de p es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

### Prueba de Kruskal-Wallis para $\mu$ según tratamiento para el lote 1

Tratamiento	Tamaño muestral	Rango Promedio
20	25	83,42
100	25	57,54
108	25	62,04
113	25	46,0
118	25	66,0

Estadístico = 14,2091    P-valor = 0,00665662

Dado que el valor de  $p$  es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%

#### Requisito de normalidad para $\mu$ del lote 2

Tratamiento	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
20	25	0,5974	0,442	0,41
100	25	0,42484	0,404	0,399
108	25	0,3986	0,397	
113	25	0,39744	0,4	
118	25	0,40796	0,41	
Total	125	0,445248	0,409	0,389

Tratamiento	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis típificada
20	0,101085	0,317939	4,10867	4,1853
100	0,00876781	0,0936366	6,03375	9,67137
108	0,000543167	0,0233059	0,445133	-0,832834
113	0,000895257	0,0299208	-0,298383	-0,844899
118	0,000747457	0,0273397	0,371151	-0,463602
Total	0,0276161	0,166181	21,6076	60,6172

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

#### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $\mu$ del lote 2

Prueba C de Cochran: 0,902233 P-valor = 0,0  
 Prueba de Bartlett: 7,05975 P-valor = 0,0  
 Prueba de Hartley: 186,103  
 Test de Levene: 6,93715 P-valor = 0,000046587

Este requisito no se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

#### Prueba de Kruskal-Wallis para $\mu$ según tratamiento para el lote 2

Tratamiento	Tamaño muestral	Rango Promedio
20	25	90,42
100	25	59,98
108	25	50,66
113	25	51,7
118	25	62,24

Estadístico = 19,8434 P-valor = 0,000536226

Dado que el valor de  $p$  es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

#### Requisito de normalidad para $\mu$ del lote 3

Tratamiento	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
20	25	0,49496	0,428	
100	25	0,40584	0,407	0,407
108	25	0,40568	0,413	
113	25	0,40452	0,404	0,401
118	25	0,40116	0,4	
Total	125	0,422432	0,409	0,421

Tratamiento	Varianza	Desv. típica	Asimetría tipi.	Curtosis típicada
20	0,0308798	0,175726	4,7028	4,74327
100	0,00156422	0,0395503	0,67823	1,53623
108	0,000896143	0,0299357	-1,19176	0,0446641
113	0,000481427	0,0219414	-0,27025	-0,669319
118	0,00098764	0,0314267	0,543053	0,332842
Total	0,00806581	0,0898099	22,7938	66,7215

Este requisito no se cumple dado que los coeficientes estandarizados de asimetría típica y Curtosis tipificada tiene valores mayores que 2 en valor absoluto.

#### Requisito de homogeneidad interna de varianzas para $\mu$ del lote 3

Prueba C de Cochran:	0,887115	P-valor = 0,0
Prueba de Bartlett:	3,80214	P-valor = 0,0
Prueba de Hartley:	64,1423	
Test de Levene:	3,36918	P-valor = 0,0118912

Este requisito no se cumple dado que para la prueba de Cochran (igual número de muestras) el valor de  $p$  es menor a 0,05, indicándose que existen diferencias significativas entre las varianzas internas de los grupos, con un nivel de confianza del 95%.

Como no se cumplen los requisitos del análisis de varianza, se aplica una prueba no paramétrica:

#### Prueba de Kruskal-Wallis para $\mu$ según tratamiento para el lote 3

Tratamiento	Tamaño muestral	Rango Promedio
20	25	89,0
100	25	58,26
108	25	59,72
113	25	55,6
118	25	52,42

Estadístico = 16,6914 P-valor = 0,00221885

Dado que el valor de  $p$  es inferior a 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de murta fresca y murta tratada con un nivel de confianza del 95%.

## A 2.7 Análisis de correlación

Como los datos son no paramétricos se usa la correlación por rangos de Spearman:

Correlaciones por Rangos de Spearman para los parámetros texturales

	$F_{(R)}$	$\sigma_R$	$H_{rR}$	$e_R$	$E_{mR}$	$\mu$	Tto.
$F_{(R)}$		0,4951 ( 15) 0,0640	0,3571 ( 15) 0,1814	-0,2258 ( 15) 0,3982	0,6351 ( 15) 0,0175	0,3985 ( 15) 0,1360	-0,1637 ( 15) 0,5403
$\sigma_R$	0,4951 ( 15) 0,0640		0,9562 ( 15) 0,0003	-0,8825 ( 15) 0,0010	0,8084 ( 15) 0,0025	0,7679 ( 15) 0,0041	-0,6389 ( 15) 0,0168
$H_{rR}$	0,3571 ( 15) 0,1814	0,9562 ( 15) 0,0003		-0,9140 ( 15) 0,0006	0,7227 ( 15) 0,0068	0,7430 ( 15) 0,0054	-0,6547 ( 15) 0,0143
$e_R$	-0,2258 ( 15) 0,3982	-0,8825 ( 15) 0,0010	-0,9140 ( 15) 0,0006		-0,6733 ( 15) 0,0118	-0,7830 ( 15) 0,0034	0,6899 ( 15) 0,0098
$E_{mR}$	0,6351 ( 15) 0,0175	0,8084 ( 15) 0,0025	0,7227 ( 15) 0,0068	-0,6733 ( 15) 0,0118		0,6641 ( 15) 0,0130	-0,6121 ( 15) 0,0220
$\mu$	0,3985 ( 15) 0,1360	0,7679 ( 15) 0,0041	0,7430 ( 15) 0,0054	-0,7830 ( 15) 0,0034	0,6641 ( 15) 0,0130		-0,7282 ( 15) 0,0064
Tto.	-0,1637 ( 15) 0,5403	-0,6389 ( 15) 0,0168	-0,6547 ( 15) 0,0143	0,6899 ( 15) 0,0098	-0,6121 ( 15) 0,0220	-0,7282 ( 15) 0,0064	

Correlación

(Tamaño muestral)

P-Valor

Los siguientes pares de variables tienen P-valores por debajo de 0.05:

$F_{(R)}$  y  $E_{mR}$

$\sigma_R$  y  $H_{rR}$

$\sigma_R$  y  $e_R$

$\sigma_R$  y  $E_{mR}$

$\sigma_R$  y  $\mu$

$\sigma_R$  y Tratamiento

$H_{rR}$  y  $e_R$

$H_{rR}$  y  $E_{mR}$

$H_{rR}$  y  $\mu$

$H_{rR}$  y Tratamiento

$e_R$  y  $E_{mR}$

$e_R$  y  $\mu$

$e_R$  y Tratamiento

$E_{mR}$  y  $\mu$

$E_{mR}$  y Tratamiento

$\mu$  y Tratamiento

Por lo tanto existe correlación significativa entre esos pares de variables.

## A 2.8 Análisis de varianza multifactorial para el valor $D$ , según tratamiento y lote de recolección

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	7494,33	3	2498,11	1,96	0,1354
B:Lote	47739,4	2	23869,7	18,68	0,0000
RESIDUOS	53659,7	42	1277,61		
TOTAL (CORREGIDO)	108893,0	47			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Se aprecia que existe un efecto significativo debido al lote de recolección, no así debido al tratamiento, pues el valor de p para el lote es inferior a 0,05; en cambio el valor de p para el tratamiento es mayor que 0,05.

Comparando promedios, solo para lote, pues dio diferencias significativas, mediante la prueba de Tukey se tiene:

Contraste Múltiple de Rangos para Valor\_D según Lote

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Lote	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	16	50,3375	8,93593	X a
2	16	116,488	8,93593	X b
3	16	117,963	8,93593	X b

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los promedios

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	*-66,15	30,7066
1 - 3	*-67,625	30,7066
2 - 3	-1,475	30,7066

\* indica una diferencia significativa.

Aquí se ve que el lote 1 muestra diferencias estadísticamente significativas con el lote 2 y el lote 3, en cambio entre el lote 2 y lote 3 no existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95,0%.