



**DEPARTAMENTO DE POSGRADOS  
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA CALIDAD Y  
SEGURIDAD ALIMENTARIA**

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS  
QUESOS PENSADOS FRESCOS Y AMASADOS EXPENDIDOS EN LA CIUDAD DE  
CUENCA”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN  
GESTIÓN DE CALIDAD Y SEGURIDAD  
ALIMENTARIA**

**AUTOR: JORGE DANILO ÁLVAREZ CARPIO**

**DIRECTOR: DR. PIERCOSIMO TRIPALDI C.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2015**

## DEDICATORIA

Ante todo quiero agradecer a Dios quien con su bendición me permitió afrontar con decisión, valentía y constancia todas las dificultades e inconvenientes que se presentaron durante este tiempo, gracias a ti Señor conseguí culminar una etapa más en este intrigante pero maravilloso camino que es la “*vida*”.

Dicho esto, quiero dedicar la presente tesis a mis padres, a mis familiares y a mis cuatro pequeñas; quienes siempre me apoyaron con palabras de motivación en todo momento; “*esto es por ustedes y para ustedes, gracias*”.

En la misma extensión un agradecimiento especial al Dr. Piercosimo Tripaldi por su valiosa colaboración para el desarrollo del presente estudio; a la Ing. Ma. Fernanda Rosales, Ing. Mónica Tinoco por su apoyo y sus palabras de aliento.

De una manera especial quiero realizar esta dedicatoria a mis abuelos quienes desgraciadamente en este momento ya no están conmigo físicamente y a los que llevo en mi corazón todo el tiempo, pero estoy seguro que en donde estén ellos se sentirán felices, para ustedes abuelitos queridos.

## RESUMEN

En el presente estudio se establecen los parámetros que describen la reología del queso amasado y prensado fresco, se realizaron estudios de las propiedades reológicas fundamentadas en los ensayos de creep test y penetrometría.

Las muestras para los ensayos se tomaron de los principales mercados y autoservicios de la ciudad, posterior a ello se ejecutó un trabajo específico en reología y penetrometría obteniéndose datos fiables que permiten sustentar un análisis estadístico robusto que caracterizaron reológicamente las variedades de quesos analizadas.

En consecuencia se llegó a dilucidar la interrelación entre las propiedades reológicas de los quesos y la manera en la que las condiciones de fabricación influyen en la determinación de estos parámetros de identificación.

Se parte de un conocimiento integro respecto a las condiciones de fabricación y comercialización de los quesos en nuestro medio.

Por ello se enfoca la investigación hacia un sector importante de la industria alimenticia que es la calidad; ligando fuertemente la calidad y las condiciones de fabricación de las diferentes variedades de quesos que se expenden en los principales comercios de la ciudad.


## ABSTRACT

This study sets the parameters that describe the rheology of kneaded and pressed fresh cheese. Studies of rheological properties based on Creep and Penetrometer tests were performed. The samples for testing were taken from the main markets and supermarkets in the city. Then, a specific job in Rheology and Penetrometer was carried out, obtaining reliable data which validated a solid statistical analysis that characterized the varieties of cheese analyzed in a rheological manner.

Consequently, it was possible to explain the relationship between the rheological properties of cheese and the way in which manufacturing conditions influence the determination of these identification parameters.

We start from an overall knowledge of manufacture and marketing conditions of cheese in our environment. Therefore, the research is focused on quality as an important part of the food industry; strongly joining quality and manufacturing conditions of the different varieties of cheese that are sold in the main businesses in the city.



Translated by   
Lic. Lourdes Crespo



## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	9
MARCO TEÓRICO .....	10
1. DEFINICIONES BÁSICAS .....	10
1.1 REOLOGÍA.....	10
1.2 DEFORMACIÓN .....	10
1.2.1 TIPOS DE DEFORMACIÓN .....	14
1.3 PRUEBAS VISCOELÁSTICAS .....	15
1.3.1 Prueba de relajación .....	15
1.3.2 Prueba de fluencia o “creep” .....	16
1.4 TEXTURA DE LOS ALIMENTOS .....	18
1.5 COMPRESIÓN.....	18
1.6 REOLOGÍA Y TEXTURA DE QUESOS .....	19
CAPITULO II .....	21
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
2.1 CREEP TEST.....	21
2.2 PRUEBAS DE PENETRACIÓN.....	25
2.3 ANÁLISIS CLÚSTER DE DATOS.....	26
2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO.....	27
2.5 ALGORITMOS DE MÉTODOS JERÁRQUICOS.....	27
2.6 MUESTREO.....	27
3. CAPÍTULO IV .....	28
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1 Localización del lugar de estudio.....	28
3.2 Localización de los sitios de análisis de laboratorio. ....	28
3.3 Metodología de muestreo. ....	28
3.4 Determinación de las características de las principales propiedades reológicas..	28
3.5 Datos de ensayos de Penetrometria.....	32
3.6 Procedimiento. ....	33
3.7 Análisis Estadístico .....	33
CAPITULO IV.....	34
4. Resultados.....	34
BIBLIOGRAFÍA .....	48
ANEXOS .....	50
ANEXO 1 .....	50

ANEXO 2. GRÁFICOS DE PENETROMETRÍA .....	53
ANEXO 3. GRÁFICOS DE CREEP TEST.....	63

**ÍNDICE DE TABLAS3**

Tabla 1 Valores Empíricos de Parámetros de Textura/ Reología usados en la clasificación de quesos .....	20
<b>Tabla 2.</b> Resultados de ensayos de Penetrometria .....	32
Tabla 3. Descripción estadística de variables.....	34
<b>Tabla 4.</b> Resultados de la Prueba de Creep Test y Penetrometria.....	34
<b>Tabla 5.</b> Cuadro Estadístico de los Nodos .....	36
<b>Tabla 6.</b> Evaluación de Varianza.....	36
<b>Tabla 7.</b> Descomposición de la variación para la clasificación óptima .....	37
<b>Tabla 8.</b> Distancia entre los centroides de clase .....	37
<b>Tabla 9.</b> Distancias entre los objetos centrales .....	38
<b>Tabla 10.</b> Resultados por clase .....	38
<b>Tabla 11.</b> Resultados por objeto.....	38
<b>Tabla 12.</b> Descomposición de la variación para la clasificación óptima: .....	40
<b>Tabla 13.</b> Distancias entre los centroides de las clases:.....	40
<b>Tabla 14.</b> Distancias entre los objetos centrales.....	40
<b>Tabla 15.</b> Resultados por clase .....	41
<b>Tabla 16.</b> Resultados por objeto.....	42

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**Figura 1.** Clasificación de la reología ..... 10

Figura 2. Concepto de deformación..... 11

Figura 3. Ejemplos de deformación: a) alargamiento en la dirección  $x$ , b) Alargamiento en la dirección  $y$ , y c) deformación tangencial pura sin rotación..... 12

Figura 4. Deformación de una viga biapoyada sometida a una carga puntual ..... 13

Figura 5 Esquema de aplicación de la fuerza en el Creep-Test..... 22

**Figura 6** Modelo de Burger..... 23

Figura 7 Ejemplo de gráfica de Creep-Test..... 24

Figura 8 Esquema de cálculo de los parámetros del modelo de Burger..... 24

Figura 9 Esquema del dispositivo para la medición del Creep..... 25

**Figura 10** Cono Penetrómetro..... 26

Figura 11 Curva típica del Análisis del Perfil de textura (TPA)..... 30

**Figura 12.** Barra de los Niveles..... 36

**Figura 13.** Gráfico de la Varianza ..... 37

**Figura 14.** Clusterización Aglomerativa Jerárquica (CAJ) ..... 39

**Figura 15.** Dendograma ..... 39

**Figura 16.** Centroides de Resultados..... 43

Álvarez Carpio Jorge Danilo

Trabajo de graduación

Dr. Piercosimo Tripaldi

Septiembre, 2015

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES REOLÓGICAS Y  
TÉRMICAS DE LOS QUESOS PENSADOS FRESCOS Y AMASADOS EXPENDIDOS EN  
LA CIUDAD DE CUENCA”**

**INTRODUCCIÓN**

El primer uso de la palabra reología fue acreditado por Eugene C. Bingham en 1928, a partir de los trabajos de Heráclito (filósofo pre-Socrático), dándole el significado de “cada cosa fluye”. Actualmente, la reología se define como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia, es decir, la manera en la cual los materiales responden a un esfuerzo o tensión aplicada (Quintáns, 2008)

El estudio de las diferentes propiedades reológicas se aplica en múltiples disciplinas, es así en la ingeniería de procesos para el diseño de plantas; para establecer las dimensiones de tuberías y válvulas; para realizar mezclas; se utilizan en el cálculo de operaciones básicas con transferencia de calor, masa y cantidad de movimiento. Sirven para evaluar la calidad preferida por el consumidor por medio de correlaciones entre las medidas reológicas y pruebas sensoriales. Igualmente, permiten elucidar la estructura o composición de alimentos y analizar los cambios estructurales que ocurren durante un proceso. Además, permite el Control de calidad en productos intermedios y finales: este control se realiza en la propia línea de producción. Es determinante para la aceptación de productos como papas fritas, cereales, quesos, aperitivos, yogures, dulces, chocolates, cremas, etc. (Ramírez, 2006)

En este sentido, las propiedades reológicas constituyen un factor importante de la calidad y aceptabilidad de los quesos durante las etapas de elaboración, empaque y almacenamiento del producto y por tanto la presente investigación se enfoca en caracterizar las principales propiedades reológicas de los quesos pensados frescos y amasados expendidos en la ciudad de Cuenca-Azuay.

Estudios previos aplican diferentes métodos para medir las propiedades reológicas según el tipo de queso. Por ejemplo, la técnica de compresión-relajación es recomendada para el estudio de las propiedades viscoelásticas, usado ampliamente para quesos italianos.

## MARCO TEÓRICO

### 1. DEFINICIONES BÁSICAS

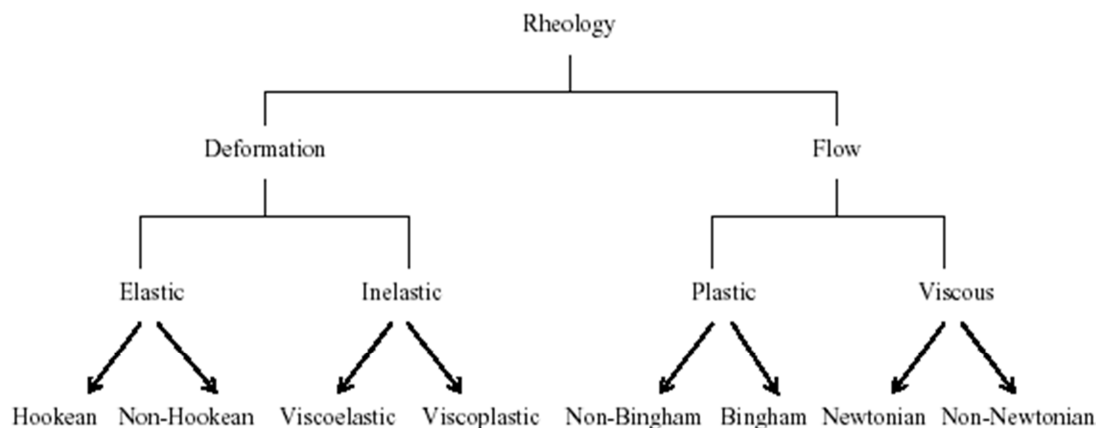
#### 1.1 REOLOGÍA

La reología es la ciencia que estudia la deformación de materiales incluyendo flujo. Los datos reológicos son requeridos en la evaluación de la calidad del producto, los cálculos de ingeniería y diseño de procesos. (Ramírez, 2006)

Los modelos reológicos obtenidos a partir de las mediciones experimentales pueden ser útiles en el diseño de procesos si se utiliza junto con el impulso, la energía y balances de masa ingeniería de alimentos. Efectos de procesamiento sobre las propiedades reológicas debe ser conocida para el control de calidad. (Ramírez, 2006)

La reología puede ser clasificada en diferentes grupos, como se muestra en la Fig.

**Figura 1.** Clasificación de la reología

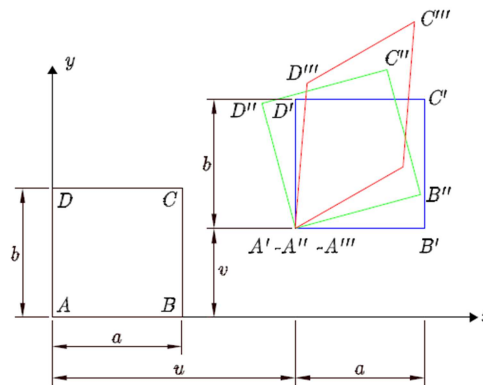


**Fuente:** Ramírez, 2006

#### 1.2 DEFORMACIÓN

La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica. Es decir, las partículas que constituyen cualquier sólido real, bajo la acción de cargas que actúan sobre él, varían su posición en el espacio. Por consiguiente, el sólido toma una configuración *deformada* distinta a la inicial. (Torrano y Herrero, 2011)

**Figura 2.** Concepto de deformación



**Fuente:** Torrano y Herrero, 2011

Existe deformación en un sólido si se produce un desplazamiento relativo entre las partículas que lo constituyen. El desplazamiento de los puntos de un sólido es debido a dos componentes: una componente de movimiento como sólido rígido y otra de deformación. Así pues, el desplazamiento de los puntos de un sólido no implica necesariamente que este se deforme. El rectángulo  $ABCD$  de la Figura 2 se desplaza hacia otra posición  $A'B'C'D'$ , pero es idéntico al inicial; es decir, no se ha producido ningún acercamiento o separación entre sus partículas, o lo que es lo mismo, no se ha producido ninguna deformación. Solamente se ha producido un movimiento como cuerpo rígido. Lo mismo ocurre al pasar a la posición  $A''B''C''D''$  mediante una rotación como sólido rígido. Finalmente, cuando el rectángulo pasa a la posición  $A'''B'''C'''D'''$ , sí que se deforma. (Torrano y Herrero, 2011)

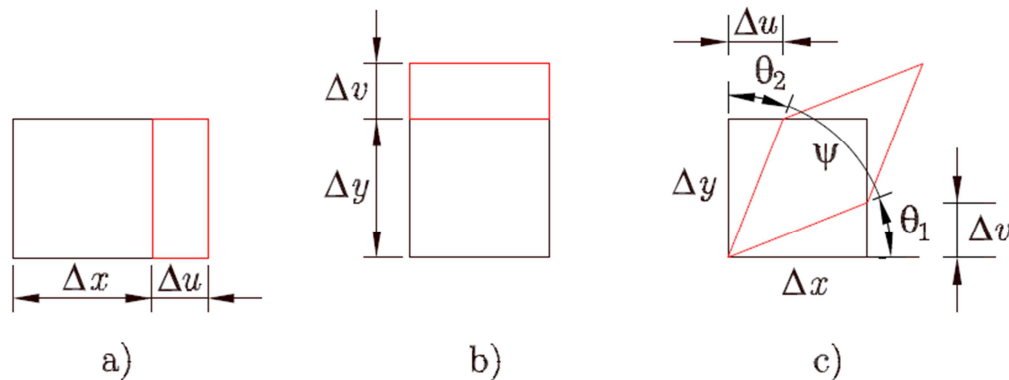
Los cuerpos se deforman cuando sobre ellos actúa una fuerza, cuando se les somete a tensión; ejemplos típicos de deformación son el alargamiento y la compresión. Más útil resulta considerar la llamada “deformación relativa” o “deformación unitaria” que se define como el cambio de dimensión experimentada por cada unidad de ésta. (Torrano y Herrero, 2011)

Experimentalmente se demuestra que, en muchas sustancias, cuando la deformación relativa es pequeña, la tensión es numéricamente igual al producto de la deformación relativa por una constante, es decir, que la deformación relativa es proporcional a la tensión. La constante de proporcionalidad es el módulo de elasticidad.

Los esfuerzos ejercidos pueden ser de tipo extensional, de cizalla o de compresión,

Los dos casos más simples de deformación son el alargamiento unitario y la deformación tangencial. Un ejemplo de estos tipos de deformación se muestra en la Figura 3. (Torrano y Herrero, 2011)

**Figura 3.** Ejemplos de deformación: a) alargamiento en la dirección x, b) Alargamiento en la dirección y, y c) deformación tangencial pura sin rotación



Dónde:

- $\Delta x$  = Variación dimensión en función de x
- $\Delta y$  = Variación alargamiento en función de y
- $\theta_1 ; \theta_2$  = Theta 1 y 2
- $\psi$  = Angulo de rotación

**Fuente:** Torrano y Herrero, 2011

El alargamiento unitario se define como un cambio de longitud por unidad de longitud. Se denomina  $\epsilon$ , indicando por medio de un subíndice la dirección del alargamiento. Observando las Figuras 3 a) y 3.b), se deduce que:

$$\epsilon_x \simeq \frac{\Delta u}{\Delta x} , \epsilon_y \simeq \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

**Ecuación 1**

Dónde:

- $\epsilon$  = Alargamiento unitario
- $\Delta u$  = Unidad de longitud
- $\Delta x$  = Variación de longitud

La deformación tangencial se define como la mitad del decremento del ángulo recto que forman inicialmente dos segmentos infinitamente pequeños (Torrano y Herrero, 2011). En referencia a la Figura 3 c), la expresión de la deformación tangencial es

$$\gamma_{xy} \simeq \frac{\pi}{2} - \psi = \theta_1 + \theta_2$$

$$\epsilon_{xy} \simeq \frac{1}{2} \gamma_{xy} \simeq \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta u}{\Delta y} + \frac{\Delta v}{\Delta x} \right)$$

**Ecuación 2**



Dónde:

$\gamma_{xy}$  = deformación tangencial

$\theta_1 ; \theta_2$  = Theta 1 y 2

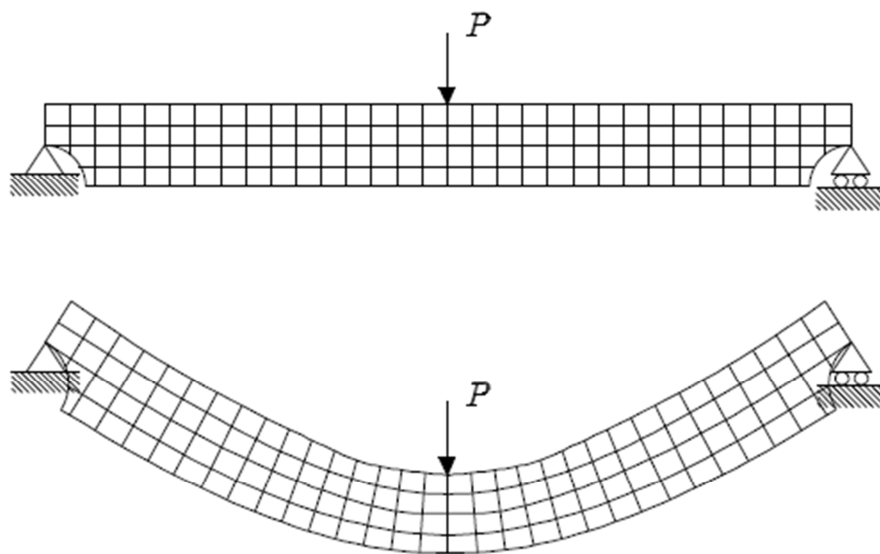
$\pi$  = Angulo recto

$\Delta u$  = Componente de desplazamiento en dirección al eje x

$\Delta v$  = Componente de desplazamiento en dirección al eje y

La figura 4 muestra la deformación en el entorno de un punto y modela una viga biapoyada sometida a una carga puntual en su zona central, así como la configuración deformada de la misma

**Figura 4.** Deformación de una viga biapoyada sometida a una carga puntual



**Fuente:** Torrano y Herrero, 2011

Se aprecia la distorsión que sufre la malla superpuesta sobre la viga una vez deformada. Los cuadriláteros que forman la malla sufren un alargamiento o acortamiento de los lados que los forman y una variación de los ángulos rectos iniciales. Es decir, la posición relativa entre los puntos del sólido ha variado, por lo que la viga se ha deformado. (Torrano y Herrero, 2011)

Denominamos vectores desplazamiento de los puntos  $P_0$  y  $P$  a  $u_0$  y  $u$ , respectivamente. Al estar muy próximos ambos puntos, es posible obtener el valor de  $u$  utilizando el desarrollo en Serie de Taylor en el entorno del punto  $P_0$  como sigue:

$$u = u_0 + \frac{\partial u}{\partial x}r_x + \frac{\partial u}{\partial y}r_y + \frac{\partial u}{\partial z}r_z$$

$$v = v_0 + \frac{\partial v}{\partial x}r_x + \frac{\partial v}{\partial y}r_y + \frac{\partial v}{\partial z}r_z$$

$$w = w_0 + \frac{\partial w}{\partial x}r_x + \frac{\partial w}{\partial y}r_y + \frac{\partial w}{\partial z}r_z$$

**Ecuación 3**

Dónde:

$u$  = componente del desplazamiento en la dirección del eje x

$v$  = componente del desplazamiento en la dirección del eje y

$w$  = componente del desplazamiento en la dirección del eje z

$\frac{\partial}{\partial u}$  = derivada tangencial

### 1.2.1 TIPOS DE DEFORMACIÓN

Tanto para la deformación unitaria como para el tensor deformación se puede descomponer el valor de la deformación en:

- Deformación plástica o irreversible.
- Deformación elástica o reversible

#### **Deformación elástica o reversible**

El cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación. En este tipo de deformación, el sólido, al variar su estado tensional y aumentar su energía interna en forma de energía potencial elástica, solo pasa por cambios termodinámicos reversibles. (Torrano y Herrero, 2011)

#### **Deformación plástica o irreversible**

Modo de deformación en que el material no regresa a su forma original después de retirar la carga aplicada. Esto sucede porque, en la deformación plástica, el material experimenta cambios termodinámicos irreversibles al adquirir mayor energía potencial elástica. La deformación plástica es lo contrario a la deformación reversible. (Torrano y Herrero, 2011)

### 1.3 PRUEBAS VISCOELÁSTICAS

Cuando se aplica una fuerza a un fluido viscoso, que empieza a deformarse y esta deformación es proporcional con la magnitud de la fuerza aplicada. Se deforma continuamente hasta que se retira la fuerza de manera que no puede volver a su posición original. Fluidos viscosos generalmente exhiben viscosidad mientras elasticidad exhiben sólidos. Algunos alimentos muestran tanto propiedades viscosas y elásticas que son conocidos como materiales viscoelásticos. El comportamiento visco-elástico se puede describir mediante las pruebas de fluencia “Creep” y relajación. (Osorio, Velasquez y Mejia, 2005)

#### 1.3.1 Prueba de relajación

En esta prueba, se mide el estrés como una función de tiempo que el material se somete a una tensión constante. Esta prueba se puede realizar en cizalla, tensión uniaxial o compresión uniaxial. A la muestra se le aplica una deformación inicial, la cual se mantiene constante y se monitorea el esfuerzo necesario para mantener constante esta deformación. Un cuerpo de Maxwell bajo condiciones de deformación constante, el esfuerzo en el resorte ( $\sigma_s$ ) es igual el esfuerzo en el amortiguador ( $\sigma_d$ ), a diferencia de la deformación la cual es diferente para el resorte ( $\epsilon_s$ ) y para el amortiguador ( $\epsilon_d$ ) (Osorio, Velasquez y Mejia, 2005). El esfuerzo en el cuerpo de Maxwell es igual:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{\frac{-t}{\eta/E}}$$

**Ecuación 4**

Dónde:

$\sigma(t)$  = Esfuerzo aplicado en un tiempo dado (Pa)

$\sigma_0$  = Esfuerzo en  $t = 0$  (Pa)

$t$  = tiempo (s)

$\eta$  = Coeficiente de viscosidad (Pa.s)

$E$  = Módulo de elasticidad (Pa)

Si en la Ecuación 4 reemplazamos el término  $\eta/E$  por el término  $\tau$ , llamado tiempo de relajación y se divide por la deformación constante ( $\epsilon$ ) se obtiene el módulo de elasticidad en función del tiempo, donde  $E_0$  es el módulo de elasticidad inicial producto de dividir el esfuerzo inicial por la deformación unitaria aplicada durante la prueba. (Osorio, Velásquez y Mejía, 2005)

$$E(t) = E_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}$$

**Ecuación 5**

Dónde:

**E**= Módulo de elasticidad

**E<sub>0</sub>**= Módulo de elasticidad inicial

**e** = número neperiano

El tiempo de relajación es definido como el tiempo requerido para que el esfuerzo impuesto al modelo disminuya de un valor inicial de  $\sigma_0$  a un valor de  $\sigma_0 / e$  donde e es el número neperiano. Para el modelo de Maxwell generalizado, la expresión anterior sería la sumatoria de todos los esfuerzos de los elementos, incluyendo el resorte residual:

$$E(t) = E_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + E_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} + \dots + E_n e^{-\frac{t}{\tau_n}} + E_{n+1}$$

**Ecuación 6**

**E** = Esfuerzo total en función del tiempo

**E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>...E<sub>n</sub>** = Esfuerzo 1, 2...n

**e** = número neperiano

**t** = tiempo

Esta ecuación indica el efecto del espectro de los tiempos de relajación. (Osorio, Velasquez y Mejia, 2005)

### 1.3.2 Prueba de fluencia o “creep”

Si una carga constante se aplica a materiales biológicos y si las tensiones son relativamente grandes, el material continuará a deformarse con el tiempo. Esto se conoce como la fluencia. En un ensayo de fluencia, una constante instantánea estrés se aplica al material y la cepa resultante se mide como una función del tiempo. (Osorio, Velasquez y Mejia, 2005)

Hay una posibilidad de una cierta recuperación del material cuando la tensión se libera como el material intenta volver a su forma original. En este ensayo, Se aplica un esfuerzo instantáneo, el cual se mantiene constante y se monitorea la deformación como función del tiempo. La deformación en el cuerpo de Maxwell será la suma de la deformación del resorte ( $\epsilon_s$ ) y para el amortiguador ( $\epsilon_d$ ), y el esfuerzo será mantenido constante (Osorio, Velasquez y Mejia, 2005). El desarrollo analítico para obtener las deformaciones en un cuerpo de Kelvin en cualquier instante de tiempo, está dado por:

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\left(\frac{\eta}{E}\right)}} \right)$$

**Ecuación 7**

Dónde:

$\epsilon(t)$  = Deformación del modelo en cualquier instante de tiempo (mm/mm)

$\sigma_0$  = Esfuerzo constante aplicado inicialmente (Pa)

$E$  = Módulo de elasticidad del resorte (Pa)

$\eta$  = Coeficiente de viscosidad (Pa. s)

Si se reemplaza el término  $\eta/E$  por el término  $\tau_{ret}$ , llamado tiempo de retardación, se obtiene:

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{ret}}}\right)$$

**Ecuación 8**

Dónde:

$\epsilon(t)$  = Deformación del modelo en cualquier instante de tiempo (mm/mm)

$\sigma_0$  = Esfuerzo constante aplicado inicialmente (Pa)

$e$  = número neperiano

$T_{ret}$  = tiempo de retardación

$t$  = tiempo

El tiempo de retardación es el tiempo necesario para que el modelo alcance el 63% de la deformación máxima (Osorio, Velásquez y Mejía, 2005). La expresión para el cuerpo de Maxwell generalizado es:

$$\epsilon(t) = \sigma_0 \left[ \frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right) + \frac{1}{E_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right) + \dots + \frac{1}{E_n} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}}\right) + \frac{t}{\eta} \right]$$

**Ecuación 9**

Dónde:

$\epsilon(t)$  = Deformación del modelo en cualquier instante de tiempo (mm/mm)

$\sigma_0$  = Esfuerzo constante aplicado inicialmente (Pa)

$e$  = número neperiano

$T_1$  = tiempo de retardación

$t$  = tiempo

Donde  $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$  son los diferentes tiempos de retardación,  $T_{ret}$ , correspondientes a los diferentes elementos del modelo (Osorio, Velásquez y Mejía, 2005).

## 1.4 TEXTURA DE LOS ALIMENTOS

La textura es una de las características más importantes de la calidad de los alimentos. Los alimentos tienen diferentes propiedades de textura. Estas diferencias son causadas por las diferencias inherentes debido a la diferencia de variedad, diferencias debidas a la madurez, y las diferencias causadas por los métodos de procesamiento.

Textura de los alimentos puede ser evaluada por métodos sensoriales o instrumentales. Métodos sensoriales necesitan un panel de gustos con panelistas entrenados. Es difícil repetir los resultados.

Los métodos instrumentales son menos caros y consumen menos tiempo en comparación con los métodos sensoriales. Hay varios métodos instrumentales para determinar la textura de los alimentos y son:

## 1.5 COMPRESIÓN

Compresión (deformación) mide la distancia que un alimento se comprime bajo un estándar de fuerza de compresión o la fuerza requerida para comprimir un alimento una distancia estándar. (Osorio, Velásquez y Mejía, 2005).

### **Mordedora-Doblado**

Esta prueba mide la fuerza requerida para doblar o romper los alimentos frágiles, tales como galletas.

### **Punción**

Ensayo de perforación mide la fuerza necesaria para empujar la sonda en el alimento y se expresa como firmeza o dureza del producto.

### **Penetración**

Penetrómetros fueron diseñados originalmente para medir la distancia que un cono o una aguja se hunde en un alimento tales como la margarina o mayonesa bajo la fuerza de la gravedad durante un tiempo estándar. La profundidad de penetración depende del peso, ángulo de cono, altura de caída, y las propiedades de los materiales de prueba. El cono primero deforma el material y en general la deformación del material puede ceder o fracturar.

La profundidad de penetración es determinada por una combinación de módulo elástico en cizalla y compresión, rendimiento o tensión de fractura, y la cizalladura y la viscosidad de elongación.

## 1.6 REOLOGÍA Y TEXTURA DE QUESOS

### Producción de queso- Una visión general

El queso es uno de los primeros y más populares productos alimenticios manufacturados. Lo que quizás empezó como un cuajar accidental de la leche se ha ido refinando cada vez más la fabricación de quesos. Durante miles de años el queso ha avanzado desde un arte a cerca de la ciencia. Variedades del queso han proliferado a las condiciones y requisitos variados, especialmente durante la última década. Se estima que existen más de 2.000 variedades (Olson, 1995), y la lista puede seguir creciendo. El queso es ahora una parte importante de los alimentos consumidos en muchos países. En una encuesta reciente, después de las especias, queso fue nombrado el ingrediente superior que hace que los cocineros se sienten más creativos (Doeff, 1994). La variedad de quesos satisface las distintas exigencias con el fin de ser utilizados como el ingrediente adecuado en diferentes platos infantiles o productos horneados. Battistotti et al. (1984) describieron la historia de la fabricación de queso y queso con mucho detalle. (Sundaram, 2003)

### TIPOS DE QUESO

Hoy en día existe una amplia gama de quesos que se puede clasificar de acuerdo al país de origen, proceso de fabricación, o alguna propiedad en el uso final. La clasificación de los quesos a base de los procesos de fabricación y maduración por Olson (1979) origina una lista concisa. Una clasificación basada en la firmeza y el agente de maduración utilizado produce una lista más larga, pero puede ser más relevante si las propiedades texturales y reológicas son importantes. Una clasificación basada en los distintos procesos de fabricación también es útil para comprender el efecto del proceso en la textura de queso. Otras clasificaciones de quesos, por ejemplo, de acuerdo a la fuente de leche, apariencia general (color, tamaño, forma), análisis químico, etc., son también posibles (Sundaram, 2003).

Davis (1965) reconoce la dificultad de clasificar los quesos e intentó agruparlos basándose en la naturaleza y extensión de la descomposición química durante la maduración o de acuerdo con el sabor. Tal clasificación aún no está disponible. Fox (1993) propuso que los productos de la proteólisis podrían ser más útiles para la clasificación. Una de las principales dificultades al utilizar esquemas de clasificación es que existen diferencias en el grado de humedad permitido dentro de varias categorías publicados en la literatura (Banks, 1998). Davis (1965) asigna algunos valores empíricos de parámetros de textura /reología para los términos de muy duro a blando (Tabla 1). El Código de los Estados Unidos de Regulaciones Federales (CFR, 1998) establece ciertas normas de identidad para la clasificación de los quesos según su consistencia, que se enumeran en la Tabla 1.5.

La composición típica de la leche y distintas variedades de queso se da en la Tabla 1.6. En los Estados Unidos, el mercado de quesos está dominado (casi igual) por Cheddar y Mozzarella.

Ellos comprenden alrededor de dos tercios de la producción total de queso durante los últimos años (Sundaram, 2003).

**Tabla 1 Valores Empíricos de Parámetros de Textura/ Reología usados en la clasificación de quesos**

<b>Valores Empíricos de Parámetros de Textura/ Reología usados en la clasificación de quesos</b>				
Tipo de queso	Humedad (%)	Valores escala logarítmica		
		Viscosidad	Elasticidad	Flexibilidad
Muy duro	<25	>9	>6.3	>2.3
Duro	25-36	8-9	5.8-6.3	2-2.3
Semi-blando	36-40	7.4-8	<5.8	1.8-2
Blando	>40	<7.4	<5.8	<1.8

**Fuente:** Sundaram, 2003



## CAPITULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las propiedades mecánicas de los alimentos juegan un papel primordial en el comportamiento de ellos durante el procesamiento, almacenamiento, distribución y consumo. La influencia de los distintos componentes en las propiedades mecánicas y en especial de la temperatura y contenido de agua son esenciales para elegir el equipamiento adecuado para su procesamiento. Así el material de envase está diseñado para proteger al alimento de los esfuerzos mecánicos y de la transferencia de agua entre el producto y el medio ambiente. Al consumir el alimento estamos detectando la textura, que también es afectada por las propiedades mecánicas.

#### 2.1 CREEP TEST

El método consiste en el empleo de una máquina de prueba de fluencia que mide la fluencia (la tendencia de un material después de haber sido sometido a altos niveles de estrés (es decir, altas temperaturas) para cambiar su forma en relación con el tiempo) de un objeto. Es un dispositivo que mide la alteración de un material después de que se ha puesto a través de diferentes formas de estrés (Pérez y Tripaldi, 2012).

Las máquinas de fluencia se utilizan principalmente por los ingenieros para determinar la estabilidad de un material y su comportamiento cuando se pone a través de las tensiones normales (Pérez y Tripaldi, 2012).

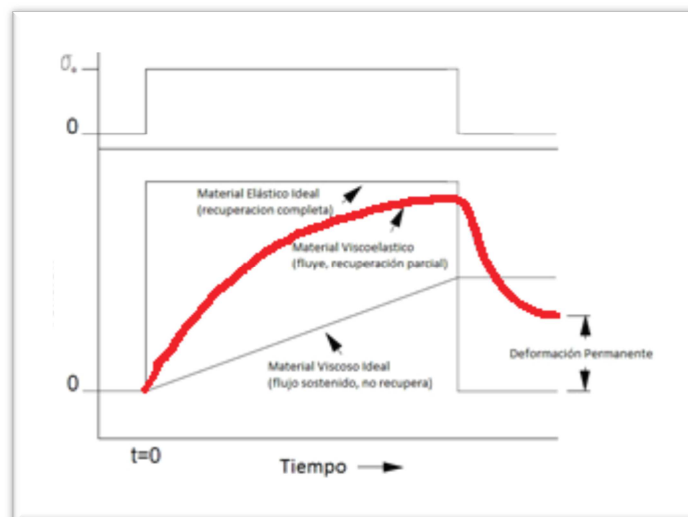
### INTRODUCCIÓN

El queso es un producto derivado de la leche, el cual tiene gran importancia en la alimentación del ser humano y gran difusión a nivel mundial. Se obtiene al provocar en la leche la coagulación de las moléculas de caseína mediante la adición de cuajo y otros componentes, los que le dan al queso una característica exclusiva, debido a estas variaciones existen alrededor de 2000 clases de quesos a nivel mundial. (Pérez y Tripaldi, 2012).

De acuerdo a las características de elaboración, a los tiempos de maduración y la composición, se puede realizar diferentes clasificaciones de los quesos. Como consecuencia de la variación de estos parámetros, se generarán en los quesos diferentes características reológicas.

En el ensayo Creep-Test, se aplica una fuerza a la muestra, la cual provoca un cambio en la tensión que posee dicha muestra, lo que va a provocar un estiramiento de la misma, conforme avanza el tiempo. Cuando se deja de ejercer esta fuerza en algunas muestras se puede observar como esta vuelve a su forma original. El estiramiento y la recuperación de una muestra elástica ideal, que se la ha sometido a una fuerza constante, provocará el estiramiento de la muestra, y la recuperación su forma original después de que se deje aplicar la fuerza de estiramiento. Una muestra viscosa ideal formaría un flujo sostenido, dando una respuesta lineal al esfuerzo ejercido, pero con la incapacidad de recuperarse de la deformación sufrida, mientras que una muestra viscoelástica tendrá una respuesta no lineal al esfuerzo ejercido, y tendrá la habilidad de recuperar parcialmente su forma estos fenómenos se ilustran en la figura 5. (Pérez y Tripaldi, 2012).

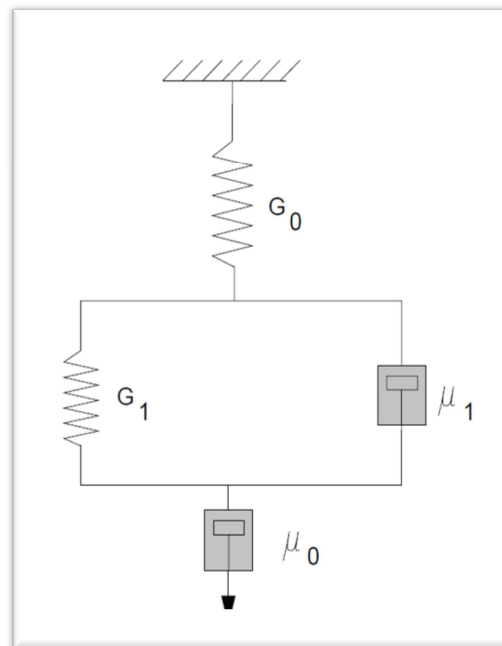
**Figura 5** Esquema de aplicación de la fuerza en el Creep-Test



**Fuente:** Pérez y Tripaldi, 2012

El comportamiento viscoelástico de los quesos se puede cuantificar utilizando el modelo de Burger, que es un modelo mecánico analógico y puede ser representado gráficamente como se indica en la figura 6.

**Figura 6** Modelo de Burger



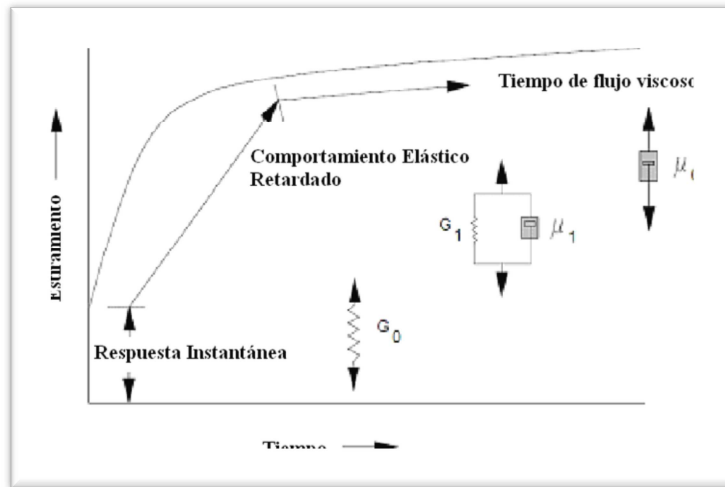
**Fuente:** Pérez y Tripaldi, 2012

Donde los resultados del Creep-Test se los puede obtener utilizando la siguiente fórmula:

$$J = f(t) = J_0 + J_1 \left( 1 - \exp\left(\frac{-t}{\lambda_{\text{ret}}}\right) \right) + \frac{t}{\mu_0}$$

Donde  $J$  es el cumplimiento del Creep-Test,  $J_0$  es el cumplimiento instantáneo,  $J_1$  es el cumplimiento retardado,  $\lambda_{\text{ret}}$  es el tiempo de retardo y  $\mu_0$  es la viscosidad del material, toda esta expresión está en función del tiempo. El modelo de Burger se lo puede observar en la figura 7. (Pérez y Tripaldi, 2012).

**Figura 7** Ejemplo de gráfica de Creep-Test

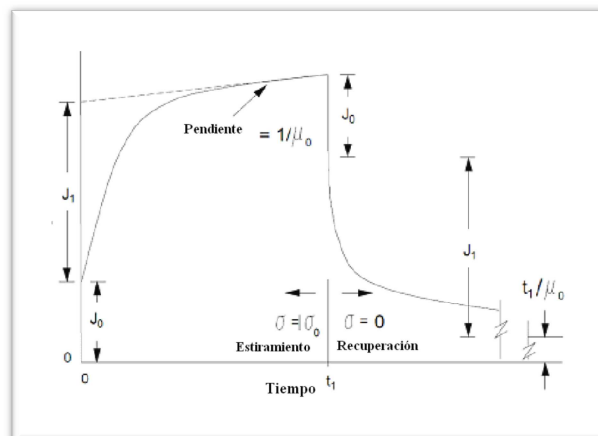


**Fuente:** Pérez y Tripaldi, 2012

Los valores de los factores del modelo de Burger se obtienen mediante regresión aplicada a los datos experimentales obtenidos. Los datos de la parte lineal de la curva de estiramiento están relacionados con dos parámetros los cuales son: la pendiente, que es igual a  $1/\mu_0$  y la ordenada al origen llamada estado estacionario igual a  $J_0 + J_1$ .

Cuando  $t = t_1$ , la fuerza ejercida desaparece y no se observa cambio instantáneo en el cumplimiento de la igualdad a  $J_0$ . El efecto de amortiguación que genera el aire, hace que el material tenga una deformación permanente lo que está relacionado con el cumplimiento de  $t_1/\mu_0$  como se puede observar en la figura 8 (Pérez y Tripaldi, 2012).

**Figura 8** Esquema de cálculo de los parámetros del modelo de Burger



**Fuente:** Pérez y Tripaldi, 2012

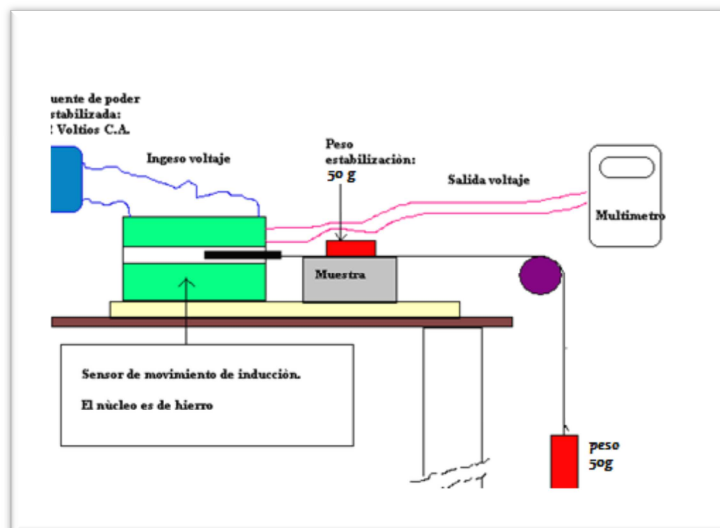
Si una sustancia obedece el modelo de Burger, se puede comprobar que en la región lineal el comportamiento de dicha sustancia es viscoelástico, y los valores de  $J_0$  y  $J_1$  determinados a partir de la curva de estiramiento son iguales a los obtenidos a partir de la curva de recuperación.

### Materiales y métodos

Las muestras de queso amasado y fresco han sido obtenidas de tres diferentes mercados de la ciudad y los quesos frescos en autoservicios.

El aparato para la determinación del Creep/Recovery test ha sido auto construido según el esquema que se presenta en la figura 9.

**Figura 9** Esquema del dispositivo para la medición del Creep



Fuente: Pérez y Tripaldi, 2012

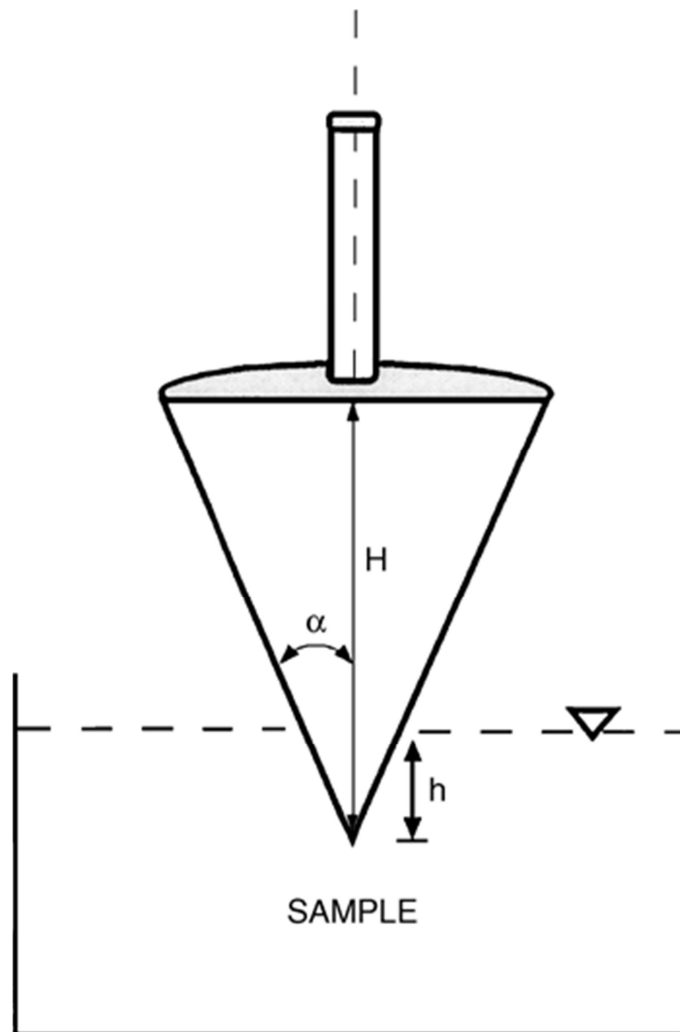
## 2.2 PRUEBAS DE PENETRACIÓN

En el ensayo la penetración en el alimento se lleva hasta una profundidad tal que cause un aplastamiento irreversible o flujo del material; por lo general se mide la "fuerza máxima de penetración", como una medida de la firmeza o consistencia del producto, a partir de las curvas de fuerza vs. distancia, pueden calcularse otros parámetros: módulo elástico aparente, deformabilidad, etc. (Sahin and Gülüm, 2006)

Esta prueba es sencilla y útil puede emplearse en cualquier tipo de alimento: geles, quesos, pastas, cárnicos, granos, mantequilla y otros productos grasos.

A continuación se detallan las características del cono Penetrómetro utilizado en el presente análisis.

Figura 10 Cono Penetrómetro



Fuente: Sahin and Gülüm, 2006.

- ACONDICIONADO A SOPORTE PLANO.
- MATERIAL BRONCE, EL ANGULO  $\alpha = 20^\circ$
- $H = 5$  cm.
- PULIDO TIPO ESPEJO

### 2.3 ANÁLISIS CLÚSTER DE DATOS

El Análisis de Clúster es una técnica de análisis exploratorio de datos para resolver problemas de clasificación. Su objeto consiste en ordenar objetos (variables) en grupos (clústeres) de forma que el grado de asociación - similitud entre miembros del mismo clúster sea más fuerte que el grado de asociación/similitud entre miembros de diferentes clústeres.

Los resultados de un análisis de clústeres pueden contribuir a la definición formal de un esquema de clasificación tal como una taxonomía para un conjunto de objetos, a sugerir modelos estadísticos para describir poblaciones, a asignar nuevos individuos a las clases para diagnóstico e identificación, etc.

## 2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO

El análisis multivariante (AM) es la parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e interpreta los datos que resultan de observar más de una variable estadística sobre una muestra de individuos. (Cuadras, 2007)

Las variables observables son homogéneas y correlacionadas, sin que alguna predomine sobre las demás. La información estadística en AM es de carácter multidimensional, por lo tanto la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivariantes juegan un papel fundamental

## 2.5 ALGORITMOS DE MÉTODOS JERÁRQUICOS.

**Método de Ward** (o método de pérdida de la inercia mínima): Cuando se unen dos conglomerados, con independencia del método utilizado, la varianza aumenta. El método de Ward une los casos buscando minimizar la varianza dentro de cada grupo. Para ello se calcula, en primer lugar, la media de todas las variables en cada conglomerado. A continuación, se calcula la distancia entre cada caso y la media del conglomerado, sumando después las distancias entre todos los casos. Posteriormente se agrupan los conglomerados que generan menos aumentos en la suma de las distancias dentro de cada conglomerado. Este procedimiento crea grupos homogéneos y con tamaños similares. (Cuadras, 2007)

## 2.6 MUESTREO

El muestreo se lo realizó en queso amasado y prensado fresco que se comercializa y consume en la ciudad de Cuenca.

Los lugares designados para la toma de muestras son los principales autoservicios y mercados de la ciudad.

En lo que respecta a los quesos amasados las muestras se tomarán de los principales mercados y en lo referente a los quesos prensados frescos el lugar de muestreo serán los autoservicios.

### **3. CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **3.1 Localización del lugar de estudio**

Esta investigación se realizó en cuatro lugares diferentes de la ciudad de Cuenca. Las muestras de queso amasado se tomaron en el mercado 12 de abril (A1), mercado 9 de Octubre (A2), mercado 3 de Noviembre (A3). Y las dos últimas muestras (queso Nutri (A4) y queso La Chonta (A5), se obtuvieron de un supermercado de la ciudad. Ver anexo 1.

El volumen de la muestra fue de 400 gramos.

##### **3.2 Localización de los sitios de análisis de laboratorio.**

Para realizar los análisis de las muestras, se llevaron en el laboratorio de química perteneciente a la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay en la ciudad de Cuenca.

##### **3.3 Metodología de muestreo.**

La toma de las muestras se realizó durante 10 semanas consecutivas, en cada semana de recolección se tomó una muestra de cada uno de los cinco lugares nombrados anteriormente. Cada muestra tuvo un peso de 400 gramos aproximadamente. En total se obtuvieron 50 muestras, las cuales fueron empacadas en fundas plásticas y llevadas al laboratorio para su análisis.

##### **3.4 Determinación de las características de las principales propiedades reológicas.**

Las propiedades reológicas incluyen características intrínsecas tales como elasticidad, viscosidad y viscoelasticidad que se relaciona principalmente con la composición, estructura y la fuerza de atracción entre los elementos estructurales del queso. El esfuerzo es definido como la distribución de fuerza sobre el área del queso, soportada por los filamentos de caseína y los glóbulos grasos. La deformación, es definida como el desplazamiento en respuesta a la fuerza aplicada. El esfuerzo puede ser de corte o normal. El esfuerzo de corte es aquel que es aplicado de manera tangencial a la superficie de la muestra, mientras que el esfuerzo normal es creado por una fuerza perpendicular aplicada a la superficie del producto. (Castro, Novoa, Algecira, y Buitrago, 2014)

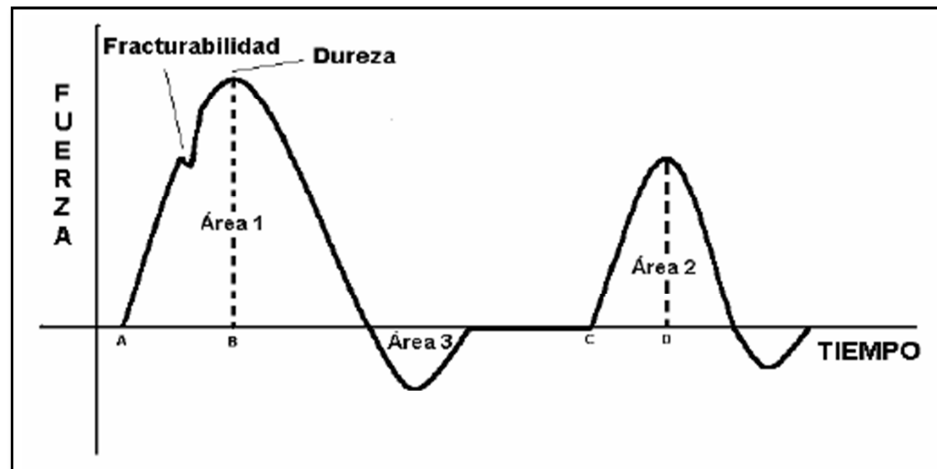


Los ensayos reológicos pueden ser clasificados como empíricos o fundamentales. Los métodos empíricos, son relativamente simples, miden el efecto de la aplicación de una fuerza en un solo punto de la muestra (por ejemplo, durante la manipulación de la cuajada, o la presión con los dedos), mediante penetrómetros, bolas de compresión y tromboelastógrafos, entre otros. Por otra parte, las pruebas fundamentales, son más sofisticadas y tienen en cuenta la geometría de la muestra, condiciones de experimentación y son realizadas con instrumentación especial, arrojando así una explicación matemática. (Castro, Novoa, Algecira, y Buitrago, 2014)

Las propiedades reológicas de los quesos pueden ser determinadas a través del análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA) y/o a través del análisis instrumental por medio de un analizador de textura. Para poder realizar las determinaciones instrumentales de textura se han desarrollado numerosos métodos, siendo ellos el "Textura Profile Analysis-TPA" y el de Compresión Uniaxial a desplazamiento constante. (Castro, Novoa, Algecira, y Buitrago, 2014)

#### **Análisis de Perfil de textura (TPA)**

El análisis de perfil de textura, es una prueba basada en la imitación del proceso de masticación. Es desarrollado como una doble compresión, sobre muestras de queso cilíndricas o cúbicas, mediante platos de mayor diámetro que la muestra. La compresión inicial puede variar de acuerdo al tipo de queso, hasta el punto de fractura, la cual es seguida de un aflojamiento del esfuerzo, relajación y una segunda compresión. El resultado obtenido relaciona la fuerza aplicada en función del tiempo, mediante una curva que permite definir una amplia variedad de parámetros de textura, tales como firmeza, fracturabilidad, adherencia, elasticidad, cohesión, gomosidad y masticabilidad, entre otros (Castro, Novoa, Algecira, y Buitrago, 2014)

**Figura 11** Curva típica del Análisis del Perfil de textura (TPA)

**Fuente:** López, 2004

En esta investigación la prueba de TPA se realizó mediante un penetrómetro con un factor por mm de movimiento de 0,01118333; el peso del eje de penetración fue de 709 gramos y el ángulo de la punta del eje fue de 19,33 grados. Los tiempos para la prueba se estimaron en milisegundos

### Ensayos de compresión uniaxial

Las pruebas de viscoelasticidad lineal, a bajas amplitudes de deformación, permiten conocer el comportamiento elástico o viscoso de los quesos. Sin embargo, en la práctica, durante el procesamiento o consumo de queso, se producen esfuerzos normales y de corte que originan grandes deformaciones sobre su estructura. Para simular estas condiciones y evaluar los efectos sobre los quesos a nivel industrial y comercial, se emplean pruebas de compresión mediante una placa cilíndrica de gran diámetro, que someten una muestra de queso, ya sea de forma cilíndrica, cuadrada o rectangular, a deformaciones >50% (dependiendo del tipo de queso), imitando por ejemplo el efecto de la compresión molar cuando es consumido (Castro, Novoa, Algecira, y Buitrago, 2014).

En un ensayo de compresión, una fuerza normal es aplicada, hasta originar la ruptura estructural del queso. La curva esfuerzo-deformación obtenida, puede ser usada para calcular el esfuerzo máximo para producir la fractura ( $\sigma_f$ ), la deformación de fractura ( $\epsilon_f$ ), el módulo de deformabilidad (la pendiente máxima en el inicio de la curva) y el trabajo necesario para fracturar la muestra, determinado por el área bajo la curva. Estos parámetros adquieren gran relevancia durante la evaluación de quesos bajos en grasa y su desarrollo industrial.

En algunos tipos de quesos a los que se ha disminuido el contenido de grasa, se han encontrado mayores esfuerzos y deformaciones de fractura, asociados con una firmeza elevada y un aumento de la fracción proteica (Castro, Novoa, Algecira, y Buitrago, 2014) .

Es importante tener en cuenta que la forma y dimensiones de la muestra deben ser precisas, con el fin de obtener reproducibilidad en las medidas. El rozamiento entre la muestra y la superficie del instrumento de medida, es un parámetro clave que puede modificar considerablemente los resultados; para esto, es necesario bloquear el deslizamiento empleando algún tipo de pegamento o papel de lija, o favorecerlo aplicando una capa de aceite mineral sobre las caras de la muestra.

En este sentido, nuestra investigación aplicó el método de Compresión Uniaxial a desplazamiento constante, el cual se realiza al comprimir una muestra de queso estandarizada mediante un plato descendente a velocidad constante, hasta un nivel de deformación superior al punto de fractura. Los parámetros reológicos a medir a través de estos métodos son: el módulo de deformabilidad, estimado como la regresión lineal de la parte inicial de la curva, la tensión o esfuerzo, la deformación, la energía a la fractura. (Walstra, 2003; Castañeda, Cañameras, Aranibar y Montero, 2002; Rodríguez, Fernández y Ayala, 2005)

Para esta prueba se tomó como factor de movimiento 0,01118333, peso de estabilización 50 gramos, peso de esfuerzo 80 gramos, las dimensiones de las muestras fueron: altura 21,05 mm, largo 51,49 mm, ancho 26,65 mm.

Los datos obtenidos en la pruebas se representan gráficamente por medio de curvas.

### 3.5 Datos de ensayos de Penetrometría

**Tabla 2.** Resultados de ensayos de Penetrometría

No.	QUESO (MUESTRA)	PENDIENTE 1 (m/seg)	PENDIENTE 2 (m/seg)
1	A1-M1	47,96923994	3,607600596
2	A2-M1	0,077347266	0,016005966
3	A3-M1	0,043457539	0,056333847
4	A4-M1	2,770722137	0,082631917
5	A5-M1	0,390402501	0,451922638
6	A1-M2	0,003934427	0,000268256
7	A2-M2	0,012965727	0,000268256
8	A3-M2	0,014307009	8,94188E-05
9	A4-M2	0,002146051	0,000178838
10	A5-M2	0,410789988	0,337913663
11	A1-M3	0,005543966	0,000447094
12	A2-M3	0,000268256	0,000268256
13	A3-M3	-8,94188E-05	0,00751118
14	A4-M3	0,00152012	0,000447094
15	A5-M3	0,001341282	0,000447094
16	A1-M4	47,96925424	3,607601671
17	A2-M4	0,147719865	0,213353268
18	A3-M4	0,043457539	0,056333847
19	A4-M4	-8,94188E-05	0,00751118
20	A5-M4	0,390402501	0,451922638
21	A1-M5	0,000447094	0,000268256
22	A2-M5	0,000268256	0,000268256
23	A3-M5	0,014307009	8,94188E-05
24	A4-M5	0,00152012	0,000447094
25	A5-M5	0,001341282	0,000447094
26	A1-M6	0,006652759	0,000536513
27	A2-M6	0,000268256	0,000268256
28	A3-M6	0,014307009	8,94188E-05
29	A4-M6	0,00152012	0,000447094
30	A5-M6	0,001341282	0,000447094
31	A1-M7	0,006652759	0,000536513
32	A2-M7	0,000625932	0,000268256
33	A3-M7	0,014307009	8,94188E-05
34	A4-M7	0,00152012	0,000447094
35	A5-M7	0,001341282	0,000447094
36	A1-M8	0,015558872	0,000804769
37	A2-M8	0	0
38	A3-M8	0,00375559	0,000536513

39	A4-M8	0,003487333	0,000357675
40	A5-M8	0,002146051	0,000536513
41	A1-M9	0,000536513	0,000268256
42	A2-M9	0,002414308	0,011624445
43	A3-M9	0,006080479	8,94188E-05
44	A4-M9	0,003576752	0,000357675
45	A5-M9	0,009031299	0,00071535
46	A1-M10	0,00071535	0,000357675
47	A2-M10	0,014575265	0,000536513
48	A3-M10	0,004828615	0
49	A4-M10	0,007779436	0,000625932
50	A5-M10	0,010730257	0,001341282

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

### 3.6 Procedimiento.

1. Toma de muestras
2. Colocar las muestras en los equipos de penetración y creep test
3. Ejercer presión
4. Registro y análisis de los datos.

### 3.7 Análisis Estadístico

Se realiza un análisis multivariante donde se procesan los datos a través del aglomerado jerárquico, aplicando el método de Ward.

## CAPITULO IV

## 4. Resultados

Se analizaron 50 muestras de quesos sometíendolas a diferentes cálculos reológicos, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 3. Descripción estadística de variables**

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Jo	50	0	50	-0.509	5.416	0.000	1.000
J1	50	0	50	-0.378	4.874	0.000	1.000
Lambda ret	50	0	50	-1.336	3.321	0.000	1.000
MUO	50	0	50	-2.916	2.374	0.000	1.000
TAU	50	0	50	-1.080	3.035	0.000	1.000
PENDIENTE 1 (m/seg)	50	0	50	-0.212	4.845	0.000	1.000
PENDIENTE 2 (m/seg)	50	0	50	-0.250	4.799	0.000	1.000

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

La siguiente tabla nos muestra los valores obtenidos para las variables a evaluar en cada una de las 50 muestras analizadas. Además se observa la clase a la cual corresponde cada muestra de acuerdo a los resultados obtenidos por el método de Ward.

**Tabla 4. Resultados de la Prueba de Creep Test y Penetrometría**

No	MUESTRA	Jo	J1	Lambda ret	MUO	TAU	PENDIENTE 1 (m/seg)	PENDIENTE 2 (m/seg)	Clase
1	A1 M1	-0.306	-0.366	-1.336	-0.026	-0.663	4.845	4.799	1
2	A2 M1	-0.509	0.462	0.642	-0.035	-0.790	-0.204	-0.227	2
3	A3 M1	1.472	0.737	0.662	-0.036	-0.777	-0.207	-0.171	3
4	A4 M1	0.187	-0.228	-0.825	-0.035	0.323	0.080	-0.134	4
5	A5 M1	5.416	3.513	-1.097	-0.036	0.823	-0.171	0.383	5
6	A1 M2	-0.327	-0.377	1.269	0.217	-0.337	-0.211	-0.249	2
7	A2 M2	1.354	0.534	0.696	-0.035	-0.249	-0.210	-0.249	3
8	A3 M2	3.132	1.006	0.784	-0.036	-0.835	-0.210	-0.250	3
9	A4 M2	-0.326	-0.377	2.407	0.106	0.812	-0.211	-0.249	3
10	A5 M2	-0.143	2.153	1.810	-0.039	0.917	-0.168	0.223	3
11	A1 M3	-0.327	-0.377	0.220	0.149	-1.069	-0.211	-0.249	2
12	A2 M3	-0.327	-0.378	-0.615	-1.743	-0.566	-0.212	-0.249	4
13	A3 M3	-0.328	-0.378	0.321	0.848	-0.333	-0.212	-0.239	2

14	A4 M3	-0.328	-0.378	-0.339	-1.753	-0.587	-0.212	-0.249	4
15	A5 M3	-0.327	-0.378	0.710	0.210	-0.705	-0.212	-0.249	2
16	A1 M4	-0.326	-0.370	0.200	-0.075	-0.097	4.845	4.799	1
17	A2 M4	0.119	-0.047	-0.726	-0.036	-0.113	-0.196	0.049	4
18	A3 M4	1.190	-0.317	-1.188	-0.035	-0.777	-0.207	-0.171	4
19	A4 M4	-0.328	-0.378	0.655	0.887	-0.161	-0.212	-0.239	2
20	A5 M4	-0.425	4.874	-0.418	-0.036	-0.933	-0.171	0.383	6
21	A1 M5	-0.327	-0.378	-0.659	1.484	-0.872	-0.212	-0.249	2
22	A2 M5	-0.328	-0.378	2.337	-1.159	-0.073	-0.212	-0.249	3
23	A3 M5	0.115	-0.003	-0.650	-0.036	-0.758	-0.210	-0.250	4
24	A4 M5	-0.328	-0.378	-1.188	-0.672	-0.226	-0.212	-0.249	4
25	A5 M5	-0.328	-0.378	-0.183	0.455	-0.705	-0.212	-0.249	2
26	A1 M6	-0.328	-0.378	-0.500	0.392	-0.388	-0.211	-0.249	2
27	A2 M6	-0.328	-0.378	-0.451	1.246	0.023	-0.212	-0.249	2
28	A3 M6	0.040	-0.082	-0.536	-0.036	-0.524	-0.210	-0.250	4
29	A4 M6	-0.328	-0.378	-0.440	0.743	0.253	-0.212	-0.249	2
30	A5 M6	-0.328	-0.378	-0.056	0.516	-0.666	-0.212	-0.249	2
31	A1 M7	-0.327	-0.378	1.068	2.297	-0.233	-0.211	-0.249	2
32	A2 M7	-0.328	-0.378	-0.465	-1.279	0.064	-0.212	-0.249	4
33	A3 M7	-0.036	0.998	3.321	-0.036	-0.387	-0.210	-0.250	3
34	A4 M7	-0.328	-0.378	-0.419	0.859	0.229	-0.212	-0.249	2
35	A5 M7	-0.328	-0.378	-0.149	0.662	-0.472	-0.212	-0.249	2
36	A1 M8	-0.327	-0.378	-0.602	0.049	-0.545	-0.210	-0.249	2
37	A2 M8	-0.327	-0.378	0.717	-0.007	-0.193	-0.212	-0.250	2
38	A3 M8	-0.328	-0.378	-0.738	-1.491	-0.541	-0.211	-0.249	4
39	A4 M8	-0.327	-0.378	0.478	0.178	-0.611	-0.211	-0.249	2
40	A5 M8	-0.328	-0.378	0.478	0.675	-1.060	-0.211	-0.249	2
41	A1 M9	-0.327	-0.378	-0.004	0.273	-1.080	-0.212	-0.249	2
42	A2 M9	-0.328	-0.378	0.635	-1.326	1.668	-0.211	-0.233	7
43	A3 M9	-0.407	-0.228	-0.600	-0.037	1.829	-0.211	-0.250	7
44	A4 M9	-0.328	-0.378	-1.274	-1.214	2.109	-0.211	-0.249	7
45	A5 M9	-0.328	-0.378	-1.161	2.374	2.493	-0.211	-0.249	7
46	A1 M10	-0.327	-0.378	-0.309	0.849	0.386	-0.212	-0.249	2
47	A2 M10	-0.328	-0.378	-0.109	-2.171	-0.073	-0.210	-0.249	4
48	A3 M10	-0.068	-0.169	-0.618	-0.037	0.827	-0.211	-0.250	4
49	A4 M10	-0.328	-0.378	-0.748	-2.916	3.035	-0.211	-0.249	7
50	A5 M10	-0.328	-0.378	-1.011	0.904	2.609	-0.211	-0.248	7

Fuente: Base de datos  
 Elaborado por: El autor

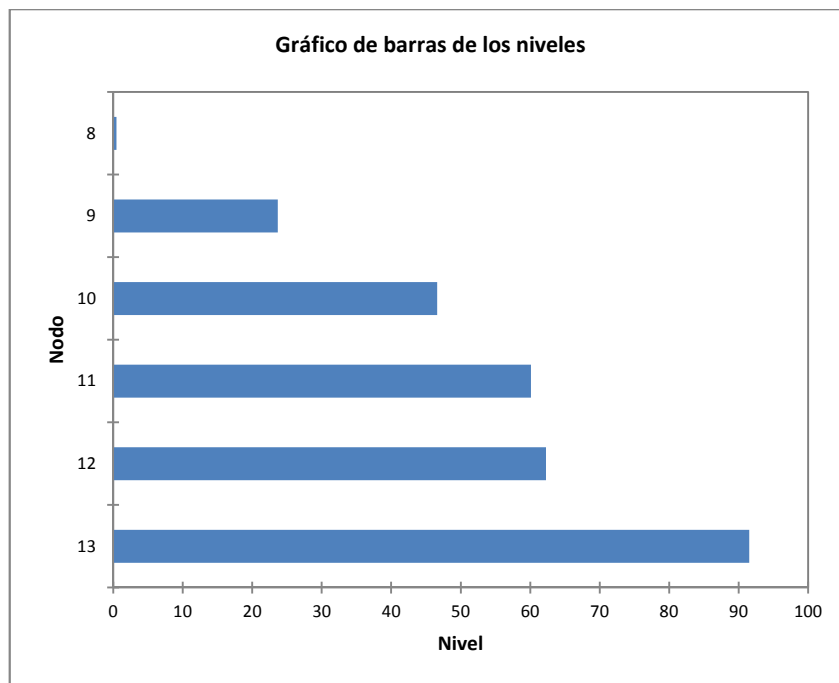
Por otra parte el análisis estadístico arrojó los siguientes resultados en cuanto a los nodos, evaluación de varianza, Clusterización Aglomerativa Jerárquica.

**Tabla 5.** Cuadro Estadístico de los Nodos

Nodo	Nivel	Peso	Objetos	Hijo izquierdo	Hijo derecho
13	91.509	7	7	8	12
12	62.266	5	5	9	11
11	60.089	3	3	5	10
10	46.636	2	2	3	4
9	23.677	2	2	1	2
8	0.467	2	2	6	7

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Figura 12.** Barra de los Niveles.



Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

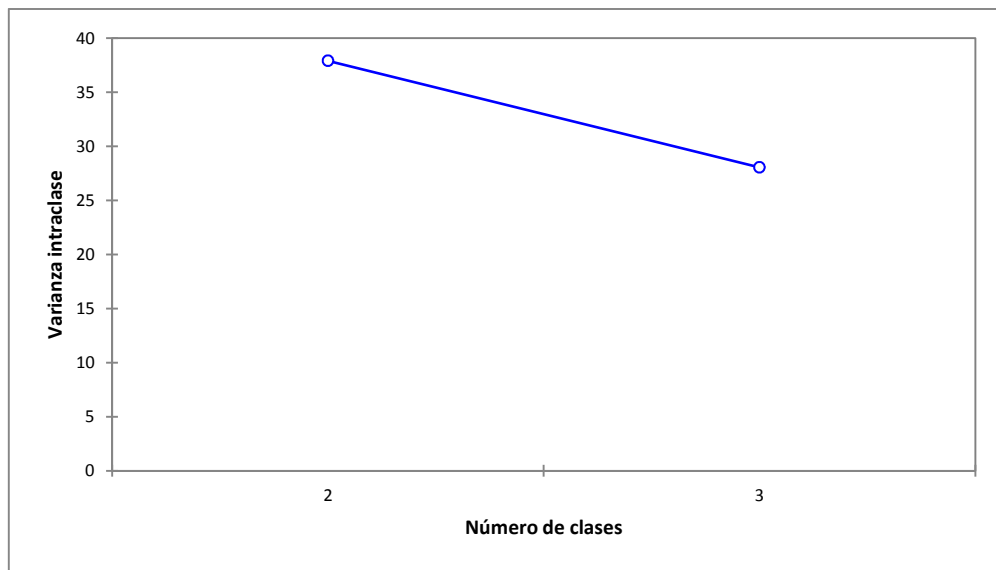
**Tabla 6.** Evaluación de Varianza

	Absoluto	Porcentaje
Intraclass	32.717	68.96%
Interclasses	14.723	31.04%
Total	47.441	100.00%

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor



**Figura 13.** Gráfico de la Varianza



Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 7.** Descomposición de la variación para la clasificación óptima

	Absoluto	Porcentaje
Intraclase	32.717	68.96%
Interclases	14.723	31.04%
Total	47.441	100.00%

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 8.** Distancia entre los centroides de clase

	1	2	3
1	0	7.203	9.365
2	7.203	0	8.309
3	9.365	8.309	0

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 9.** Distancias entre los objetos centrales

	1 (Jo)	2 (MUO)	3 (PENDIENTE 1 (m/seg))
1 (Jo)	0	9.958	10.191
2 (MUO)	9.958	0	9.953
3 (PENDIENTE 1 (m/seg))	10.191	9.953	0

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 10.** Resultados por clase

Clase	1	2	3
Objetos	2	3	2
Suma de los pesos	2	3	2
Varianza intraclass	23.677	53.363	0.467
Distancia mínima al centroide	3.441	5.686	0.483
Distancia media al centroide	3.441	5.958	0.483
Distancia máxima al centroide	3.441	6.329	0.483
	Jo	Lambda ret	PENDIENTE 1 (m/seg)
	J1	MUO	PENDIENTE 2 (m/seg)
		TAU	

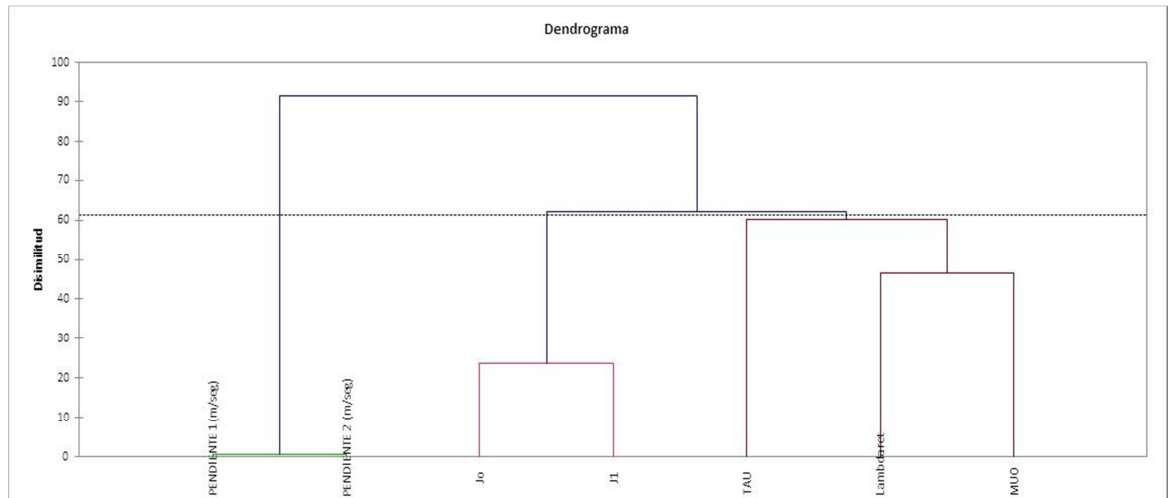
Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 11.** Resultados por objeto

Observación	Clase
Jo	1
J1	1
Lambda ret	2
MUO	2
TAU	2
PENDIENTE 1 (m/seg)	3
PENDIENTE 2 (m/seg)	3

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

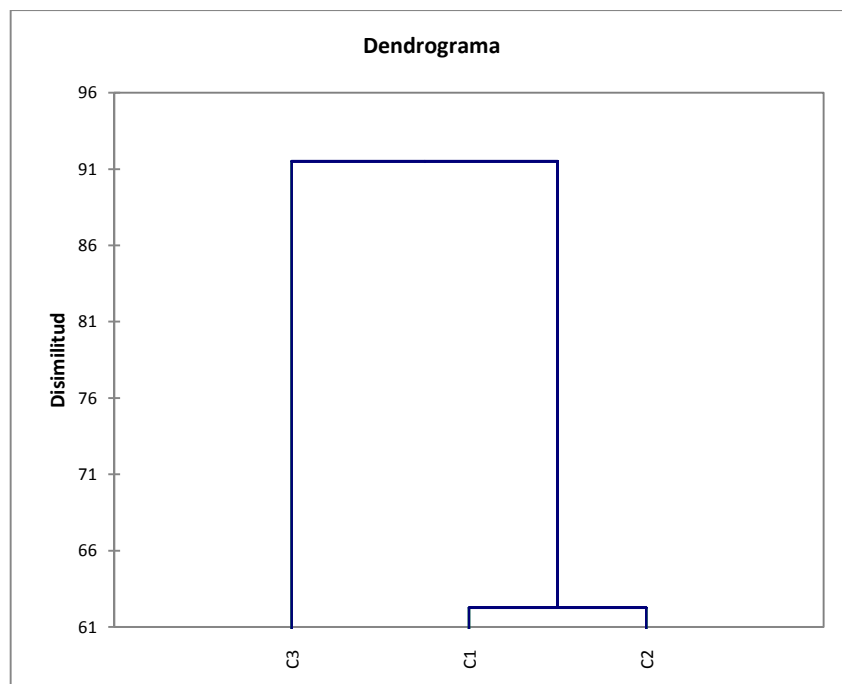
**Figura 14.** Clusterización Aglomerativa Jerárquica (CAJ)



Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

El análisis del dendrograma nos muestra que la prueba de penetrometria y Creep Test no tienen relación estadística. Por otra parte, la Pendiente 1 y 2 tienen un comportamiento similar, Jo y J1 de igual modo. En cuanto a las variables MUO y lamnda ret presentan tendencias equivalentes.

**Figura 15.** Dendrograma



Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 12.** Descomposición de la variación para la clasificación óptima:

	Absoluto	Porcentaje
Intraclase	1.852	26.45%
Interclases	5.148	73.55%
Total	7.000	100.00%

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 13.** Distancias entre los centroides de las clases:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	7.209	7.595	7.143	9.711	8.514	7.634
2	7.209	0	2.329	1.650	7.201	5.342	3.022
3	7.595	2.329	0	2.741	6.253	4.964	3.699
4	7.143	1.650	2.741	0	6.793	5.286	2.590
5	9.711	7.201	6.253	6.793	0	6.286	7.135
6	8.514	5.342	4.964	5.286	6.286	0	6.189
7	7.634	3.022	3.699	2.590	7.135	6.189	0

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 14.** Distancias entre los objetos centrales

	1 (A1 M1)	2 (A5 M7)	3 (A2 M2)	4 (A4 M5)	5 (A5 M1)	6 (A5 M4)	7 (A3 M9)
1 (A1 M1)	0	7.278	7.676	7.189	9.732	8.547	7.605
2 (A5 M7)	7.278	0	2.216	1.710	7.183	5.363	2.453
3 (A2 M2)	7.676	2.216	0	2.760	5.490	4.911	3.111
4 (A4 M5)	7.189	1.710	2.760	0	7.074	5.431	2.236
5 (A5 M1)	9.732	7.183	5.490	7.074	0	6.286	7.040
6 (A5 M4)	8.547	5.363	4.911	5.431	6.286	0	5.839
7 (A3 M9)	7.605	2.453	3.111	2.236	7.040	5.839	0

Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El autor

**Tabla 15.** Resultados por clase

Clase	1	2	3	4	5	6	7
Objetos	2	21	7	12	1	1	6
Suma de los pesos	2	21	7	12	1	1	6
Varianza intraclase	1.341	0.870	4.284	1.275	0.000	0.000	4.232
Distancia mínima al centroide	0.819	0.289	1.224	0.623	0.000	0.000	0.593
Distancia media al centroide	0.819	0.832	1.867	1.038	0.000	0.000	1.697
Distancia máxima al centroide	0.819	1.935	2.708	1.613	0.000	0.000	2.790
	A1 M1	A2 M1	A3 M1	A4 M1	A5 M1	A5 M4	A2 M9
	A1 M4	A1 M2	A2 M2	A2 M3			A3 M9
		A1 M3	A3 M2	A4 M3			A4 M9
		A3 M3	A4 M2	A2 M4			A5 M9
		A5 M3	A5 M2	A3 M4			A4 M10
		A4 M4	A2 M5	A3 M5			A5 M10
		A1 M5	A3 M7	A4 M5			
		A5 M5		A3 M6			
		A1 M6		A2 M7			
		A2 M6		A3 M8			
		A4 M6		A2 M10			
		A5 M6		A3 M10			
		A1 M7					
		A4 M7					
		A5 M7					
		A1 M8					
		A2 M8					
		A4 M8					
		A5 M8					
		A1 M9					
		A1M10					

Fuente: Base de datos  
 Elaborado por: El autor

**Tabla 16.** Resultados por objeto

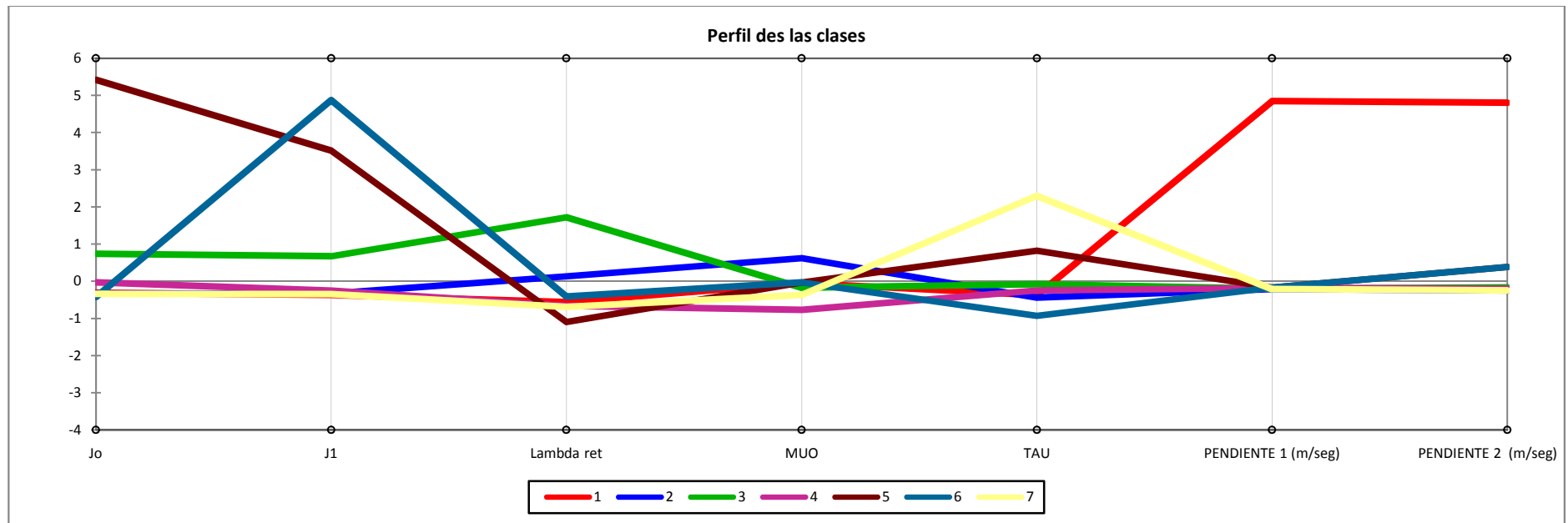
Observación	Clase	Observación	Clase
A1 M1	1	A1 M6	2
A2 M1	2	A2 M6	2
A3 M1	3	A3 M6	4
A4 M1	4	A4 M6	2
A5 M1	5	A5 M6	2
A1 M2	2	A1 M7	2
A2 M2	3	A2 M7	4
A3 M2	3	A3 M7	3
A4 M2	3	A4 M7	2
A5 M2	3	A5 M7	2
A1 M3	2	A1 M8	2
A2 M3	4	A2 M8	2
A3 M3	2	A3 M8	4
A4 M3	4	A4 M8	2
A5 M3	2	A5 M8	2
A1 M4	1	A1 M9	2
A2 M4	4	A2 M9	7
A3 M4	4	A3 M9	7
A4 M4	2	A4 M9	7
A5 M4	6	A5 M9	7
A1 M5	2	A1 M10	2
A2 M5	3	A2 M10	4
A3 M5	4	A3 M10	4
A4 M5	4	A4 M10	7
A5 M5	2	A5 M10	7

Fuente: Base de datos  
 Elaborado por: El autor

**Centroides por clase**

A continuación se observa el comportamiento de cada uno de los centroides encontrados para las siete clases establecidas en nuestra investigación, es así que se observa la media de las variables Jo, J1, Lamdaret, MUO, TAU, pendiente 1 y pendiente 2, las cuales son los resultados obtenidos en las pruebas de Creep Test y Penetrometría.

**Figura 16.** Centroides de Resultados.



Fuente: Base de datos  
Elaborado por: El Autor

Esta investigación obtuvo 7 clases de quesos con comportamientos reológicos similares. La primera clase está conformada por dos muestras de queso amasado del mercado 12 de abril, la segunda clase está conformada por 21 muestras de queso amasado de las cuales 8 corresponden al mercado 12 de abril, 3 al mercado nueve de octubre, 1 al mercado 3 de noviembre, 4 a queso nutri y 5 muestras a queso la Chonta, la tercera clase lo constituyen 7 muestras distribuidas: 2 muestras de queso del mercado nueve de octubre, 3 muestras de queso amasado del mercado 3 de noviembre, 1 muestra de queso Nutri y La Chonta, respectivamente. La clase número cuatro agrupa 12 muestras que corresponden a: 4 muestras del mercado nueve de octubre, 5 muestras del mercado 3 de noviembre y 3 muestras del queso Nutri. La clase 5 y 6 se conforman por 1 muestra de queso la Chonta cada una. En la última clase (7) se compone de 6 muestras, 1 muestra de queso del mercado nueve de octubre, 1 muestra del mercado 3 de noviembre, 2 muestras de queso Nutri y 2 de queso La Chonta.

Según la distribución de estas clases encontradas, determinados que el comportamiento reológico de los quesos depende de la maduración. La firmeza, la elasticidad y la deformabilidad no solo dependen de los procesos estándares industriales, sino también de las características descritas anteriormente.

Se observa que solo el centroide 5 (clase constituida por una sola muestra de queso La Chonta), tienen una media de  $J_0$  alta, que nos indica que el queso no es suave, es decir presenta una resistencia mayor ante las pruebas sometidas. En tanto que los centroides de las clases restantes muestran un comportamiento diferente, tienen un valor de  $J_0$  bajo y por tanto podemos acotar que los quesos correspondientes a estas muestras tienen una textura suave y homogénea entre ellos.



## DISCUSIÓN

Los valores de  $J_0$  en los ensayos demuestran un comportamiento variable, lo que sugiere que el proceso de elaboración de las muestras de quesos analizadas, no están estandarizados.

El comportamiento de  $J_1$  en las muestras de queso analizadas es variable, se destacan los centroides 5 y 6 con los valores más altos, los cuales corresponden al queso La Chonta, de ahí la importancia de realizar un análisis estructural de mayor profundidad en esta variedad de queso.

Se observa que los valores de las Pendientes 1 y 2, son elevados en el centroide 1, sin embargo para los restantes centroides, se observa un comportamiento similar.

Analizando la Clusterización Aglomerativa Jerárquica (CAJ) (Gráfica 4.), se encontró que los resultados de los análisis de Creep Test y Penetrometría no tienen un grado de relación entre ellos.

Los datos obtenidos en este estudio revelan que la producción de queso industrial no muestra un comportamiento reológicamente uniforme, ya que tanto las muestras de queso Nutri como queso La Chonta, tienen un comportamiento estadísticamente similar a los quesos elaborados de forma artesanal, esto se evidencia en la Tabla 15.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el ejercicio de Clusterización Aglomerativa Jerárquica (CAJ), se observó que el valor de las pendientes no están relacionados con  $J_0$  (cumplimiento instantáneo) y  $J_1$  (Comportamiento retardado) como se observa en la figura 14.

Los análisis mecánicos realizados a las 50 muestras de 5 tipos de queso arrojaron 7 clases de quesos con comportamientos reológicos similares.

Los dos tipos industriales de queso (La Chonta y queso Nutri), no mostraron comportamientos con diferencias significativas frente a los quesos producidos de manera artesanal. Estos tipos de comportamientos se pueden ver afectados por factores tales como la composición química y condiciones de proceso que afectan en menor o mayor medida las propiedades y características que por definición corresponden a los quesos frescos entre las cuales se pueden nombrar el contenido de grasa, humedad, tiempo de elaboración, por tanto se puede llegar a modificar algunos parámetros como firmeza, adhesividad, esfuerzo de fractura, deformabilidad, elasticidad, entre otros, tal como se observa en los resultados por clase (tabla 15).

El análisis de las propiedades reológicas de los alimentos (quesos) a través de diferentes métodos instrumentales (creep test y penetrometría), permite la evaluación de calidad y caracterización de los quesos.

Los análisis estadísticos permiten acotar que las pruebas de penetrometría y creep test no guardan interrelación entre sí, como se observa en la figura 15 (Dendograma).

La figura de centroides de resultados (fig. 16) muestra que el centroide 5 (clase constituida por una sola muestra de queso La Chonta), tienen una media de  $J_0$  alta, que nos indica que el queso no es suave en lo que respecta a su textura, es decir presenta una resistencia mayor ante las pruebas sometidas. En tanto que los centroides de las clases restantes muestran un comportamiento diferente, tienen un valor de  $J_0$  bajo y por tanto podemos acotar que los quesos correspondientes a estas muestras tienen una textura suave y homogénea entre ellos.

Se recomienda hacer monitoreos reológicos periódicos en los distintos quesos en los mercados y autoservicios de la ciudad con el fin de validar esta investigación.

Se recomienda que este tipo de investigaciones sobre reología, se complementen con estudios geométricos, mecánicos y físico químicos para conocer en diferentes dimensiones el comportamiento de las características de los alimentos y los factores que lo describen.

Finalmente se recomienda investigaciones enfocadas a analizar estructuralmente el queso Chonta.

Los gráficos (anexo 3) permiten concluir que el comportamiento reológico de los quesos prensados, frescos y amasados expendidos en la ciudad de Cuenca cumple con el modelo de Burger.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Castañeda, R.; Cañameras, C.; Aranibar, G.; Montero, H. La textura del Queso Goya. Comparación entre el método sensorial y métodos reológicos. [Internet]. 2002. Argentina. [Citado el 5 de mayo del 2015]. Disponible en: [www4.inti.gov.ar/GD/5jornadas/doc/178.doc](http://www4.inti.gov.ar/GD/5jornadas/doc/178.doc)
2. Castro, Andrea C; Novoa, Carlos F; Algecira, Néstor y Buitrago, Gustavo. Reología y textura de quesos bajos en grasa. [internet]. 2014. Rev. Cienc. Tecnol. Argentina [citado el 5 de mayo del 2015], 16:(22) pp. 58-66. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-75872014000200009](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872014000200009)
3. Cuadras, Carles M. Nuevos Métodos de Análisis Multivariante. [Internet] 2007. España [citado el 18 marzo de 2015] Disponible en: [http://www.est.uc3m.es/esp/nueva\\_docencia/getafe/estadistica/analisis\\_multivariante/doc\\_generica/archivos/metodos.pdf](http://www.est.uc3m.es/esp/nueva_docencia/getafe/estadistica/analisis_multivariante/doc_generica/archivos/metodos.pdf)
4. Osorio Tobon, Juan, Velasquez, Hector y Mejia, Luis. Caracterización reológica y textural del queso Edam. [Internet] 2005. Medellín, Colombia. [citado el 18 marzo de 2015] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614705>
5. Pérez, Andres y Tripaldi, Piero. Aplicación del creep-recovery test para estudiar el comportamiento reológico del queso mozzarella. 2012. Universidad del Azuay. Ecuador. 8p.
6. Quintáns Riveiro, Lourdes Consuelo. Reología de Productos Alimentarios. Universidad de Santiago de Compostela. 2008. España. Disponible en: [http://dspace.usc.es/bitstream/10347/2556/1/9788498872187\\_content.pdf](http://dspace.usc.es/bitstream/10347/2556/1/9788498872187_content.pdf)
7. Ramírez Navas, Juan Sebastián. Fundamentos de reología de alimentos. [Internet] 2006. Colombia. [citado el 21 marzo de 2015] Disponible en: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Fundamentos%20de%20Reologia.pdf>

8. Ramírez Navas, Juan Sebastián. Introducción a la Reología de los Alimentos. [Internet] 2006. Universidad del Valle, Colombia. [citado el 21 marzo de 2015]. Disponible en:  
[https://books.google.com.ec/books?id=IVCAQal\\_ePkC&pg=PA3&dq=Ram%C3%ADrez+Navas,+Juan+Sebasti%C3%A1n.+Introducci%C3%B3n+a+la+Reolog%C3%ADa+de+los+Alimentos.+Universidad+del+Valle,+Colombia&hl=es-419&sa=X&ved=0CBwQ6AEwAGoVChMI5dfI6KTrxwIVxxUeCh1DDwUO#v=onepage&q=Ram%C3%ADrez%20Navas%2C%20Juan%20Sebasti%C3%A1n.%20Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Reolog%C3%ADa%20de%20los%20Alimentos.%20Universidad%20del%20Valle%2C%20Colombia&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=IVCAQal_ePkC&pg=PA3&dq=Ram%C3%ADrez+Navas,+Juan+Sebasti%C3%A1n.+Introducci%C3%B3n+a+la+Reolog%C3%ADa+de+los+Alimentos.+Universidad+del+Valle,+Colombia&hl=es-419&sa=X&ved=0CBwQ6AEwAGoVChMI5dfI6KTrxwIVxxUeCh1DDwUO#v=onepage&q=Ram%C3%ADrez%20Navas%2C%20Juan%20Sebasti%C3%A1n.%20Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Reolog%C3%ADa%20de%20los%20Alimentos.%20Universidad%20del%20Valle%2C%20Colombia&f=false)
9. Rodríguez, E.; Fernández, A.; Ayala, A. Modelos reológicos aplicados a masas de trigo y maíz. [Internet]. 2005. Rev. Cienc. Tecnol. Bogotá. [Citado el 5 de mayo del 2015]; Vol. 25 (2): 87-93 Disponible en:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092005000200012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092005000200012&script=sci_arttext)
10. Serpil Sahin and Servet Gülüm Sumnu. Physical Properties of Foods. Middle East Technical University Ankara, Turkey. Springer. 2006. 267p.
11. Sundaram Gunasekaran, M. Mehmet Ak. Cheese rheology and texture. 2003. Washington, D.C. 284p.
12. Torrano, Santiago y Herrero, D. Apuntes de elasticidad y resistencia de materiales. [Internet] 2011. España. [citado el 21 marzo de 2015] Disponible en:  
[http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5464/mod\\_resource/content/1/T2-deformaciones\\_v1.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5464/mod_resource/content/1/T2-deformaciones_v1.pdf).
13. Walstra P. Physical Chemistry Foods, 2003 Marcel Dekker Inc New York, p775.
14. López, M. Mejoramiento de vida de Anaquel de Queso tradicional Ranchero y Queso de Pasta Hilada (Oaxaca)[internet] 2004Mexico [citado el 9 marzo de 2015] Disponible en: <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/014485/014485.pdf>

**ANEXOS**

**ANEXO 1**

**IDENTIFICACIÓN Y NOMENCLATURA DE MUESTRAS DE QUESOS**

<b>IDENTIFICACIÓN LUGAR DE MUESTREO</b>	<b>NOMENCLATURA LABORATORIO</b>
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	A1
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	A2
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	A3
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	A4
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	A5

<b>GRUPOS DE ANÁLISIS</b>				
<b>GRUPO DE MUESTRAS</b>	<b>1</b>			
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	<b>06/10/2014</b>			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	<b>A1</b>			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	<b>A2</b>			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	<b>A3</b>			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	<b>A4</b>	LOTE: 40019P5T2	ELABORACIÓN: 03/10/2014	VENCIMIENTO: 03/11/2014
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	<b>A5</b>	LOTE: 011004	ELABORACIÓN: 01/10/2014	VENCIMIENTO: 01/11/2014

<b>GRUPOS DE ANÁLISIS</b>				
<b>GRUPO DE MUESTRAS</b>	<b>2</b>			
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	<b>15/10/2014</b>			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	<b>A1</b>			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	<b>A2</b>			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	<b>A3</b>			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	<b>A4</b>	LOTE: 40919P5T2	ELABORACIÓN: 15/10/2014	VENCIMIENTO: 15/11/2014
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	<b>A5</b>	LOTE: 031001	ELABORACIÓN: 14/10/2014	VENCIMIENTO: 14/11/2014

<b>GRUPOS DE ANÁLISIS</b>				
<b>GRUPO DE MUESTRAS</b>	<b>3</b>			
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	<b>27/10/2014</b>			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	<b>A1</b>			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	<b>A2</b>			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	<b>A3</b>			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	<b>A4</b>	LOTE: 410129P5T2	ELABORACIÓN: 23/10/2014	VENCIMIENTO: 23/11/2014
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	<b>A5</b>	LOTE: 151002	ELABORACIÓN: 21/10/2014	VENCIMIENTO: 21/11/2014

GRUPOS DE ANÁLISIS				
GRUPO DE MUESTRAS	4			
FECHA DE MUESTREO	05/11/2014			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	A1			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	A2			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	A3			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	A4	LOTE: 41024P4T1	ELABORACIÓN: 27/10/2014	VENCIMIENTO: 27/11/2014
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	A5	LOTE: 151012	ELABORACIÓN: 23/10/2014	VENCIMIENTO: 23/11/2014

GRUPOS DE ANÁLISIS				
GRUPO DE MUESTRAS	5			
FECHA DE MUESTREO	13/11/2014			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	A1			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	A2			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	A3			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	A4	LOTE: 41024P5T2	ELABORACIÓN: 29/10/2014	VENCIMIENTO: 29/11/2014
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	A5	LOTE: 1710009	ELABORACIÓN: 25/10/2014	VENCIMIENTO: 25/11/2014

GRUPOS DE ANÁLISIS				
GRUPO DE MUESTRAS	6			
FECHA DE MUESTREO	01/12/2014			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	A1			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	A2			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	A3			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	A4	LOTE: 41104P2T1	ELABORACIÓN: 07/11/2014	VENCIMIENTO: 07/12/2014
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	A5	LOTE: 031103	ELABORACIÓN: 03/11/2014	VENCIMIENTO: 03/12/2014

GRUPOS DE ANÁLISIS				
GRUPO DE MUESTRAS	7			
FECHA DE MUESTREO	15/12/2014			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	A1			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	A2			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	A3			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	A4	LOTE: 41127P4T	ELABORACIÓN: 01/12/2014	VENCIMIENTO: 31/12/2014
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	A5	LOTE: 271101	ELABORACIÓN: 29/11/2014	VENCIMIENTO: 29/12/2014

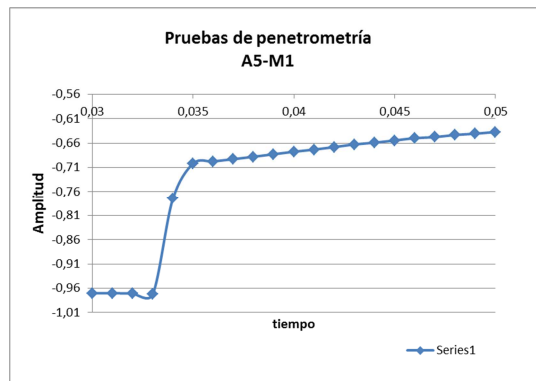
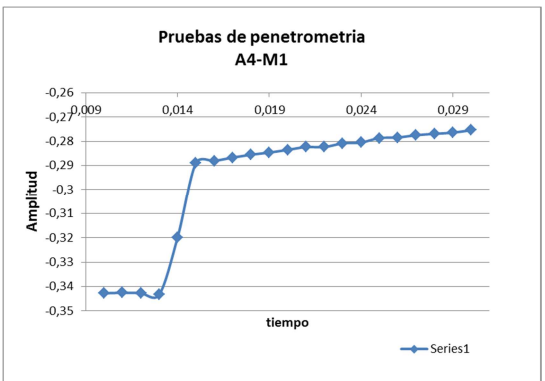
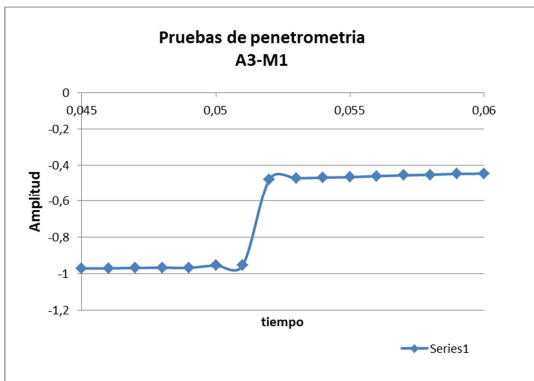
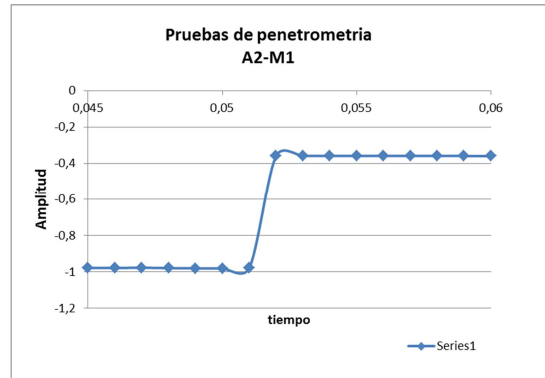
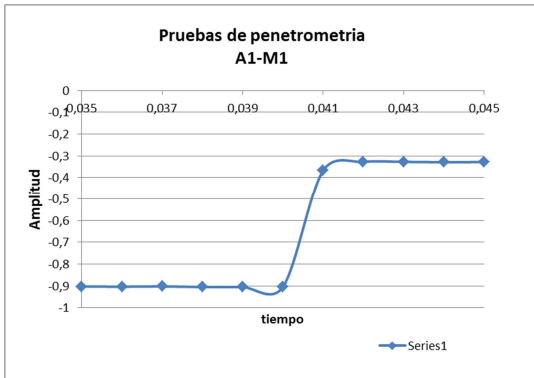
GRUPOS DE ANÁLISIS				
GRUPO DE MUESTRAS	8			
FECHA DE MUESTREO	06/01/2015			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	A1			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	A2			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	A3			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	A4	LOTE: 41231P1T2	ELABORACIÓN: 02/01/2015	VENCIMIENTO: 03/02/2015
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	A5	LOTE: 050105	ELABORACIÓN: 05/01/2015	VENCIMIENTO: 05/02/2015

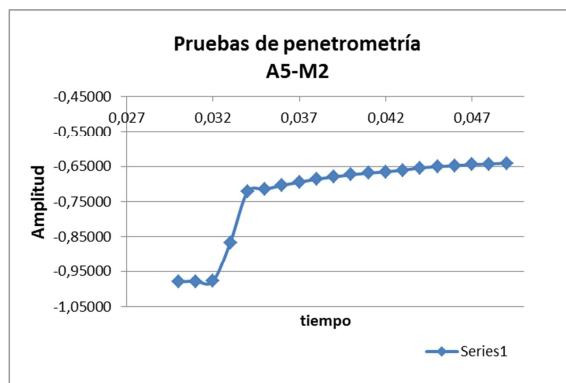
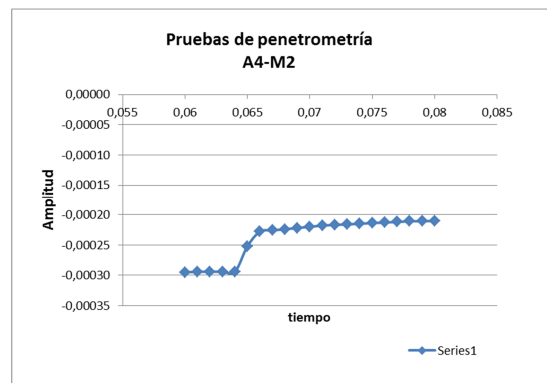
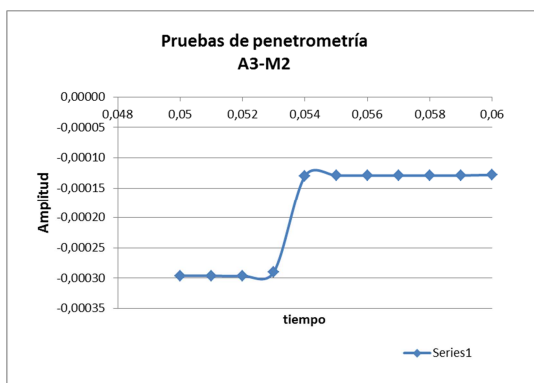
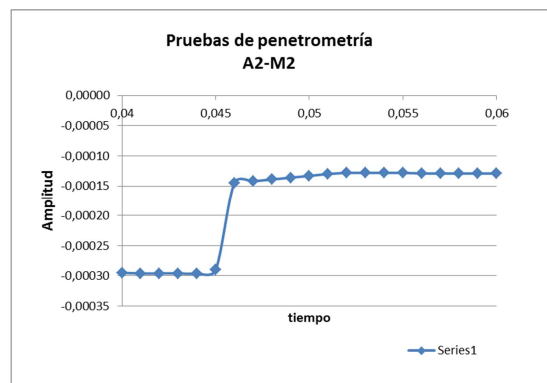
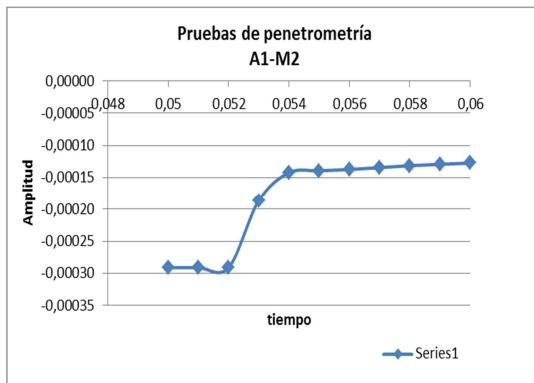
GRUPOS DE ANÁLISIS				
GRUPO DE MUESTRAS	9			
FECHA DE MUESTREO	15/01/2015			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	A1			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	A2			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	A3			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	A4	LOTE: 50102P4T2	ELABORACIÓN: 09/01/2015	VENCIMIENTO: 09/02/2015
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	A5	LOTE: 050101	ELABORACIÓN: 08/01/2015	VENCIMIENTO: 08/02/2015

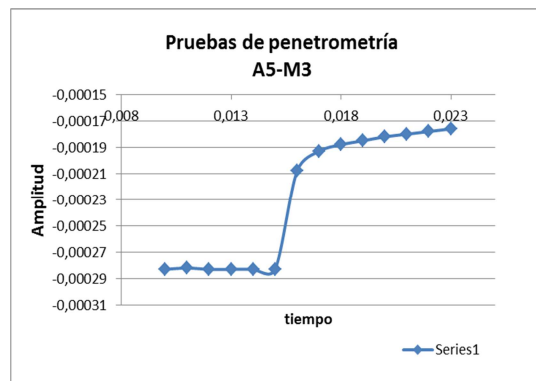
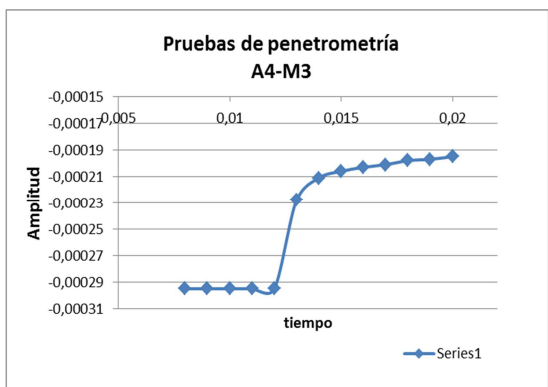
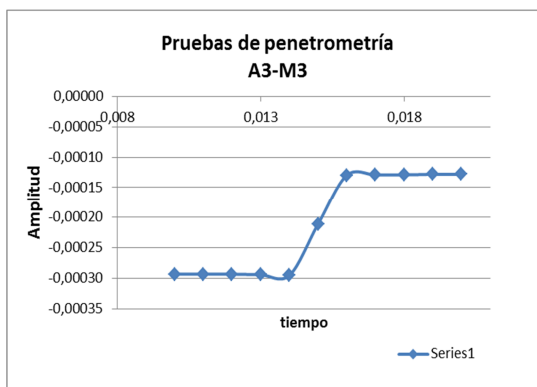
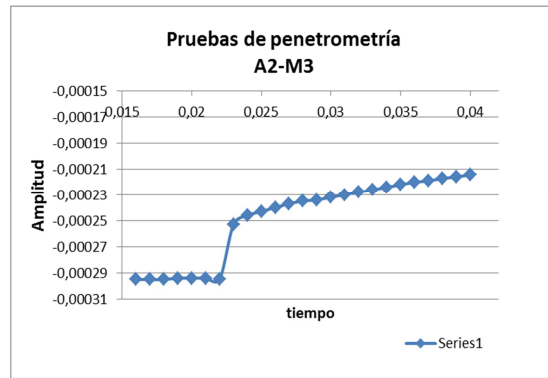
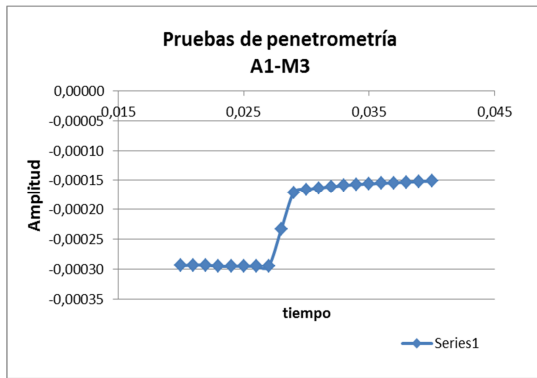
GRUPOS DE ANÁLISIS				
GRUPO DE MUESTRAS	10			
FECHA DE MUESTREO	21/01/2015			
MERCADO 12 DE ABRIL (QUESO AMASADO)	A1			
MERCADO 9 DE OCTUBRE (QUESO AMASADO)	A2			
MERCADO 3 DE NOVIEMBRE (QUESO AMASADO)	A3			
QUESO NUTRI (QUESO FRESCO)	A4	LOTE: 50102P4T3	ELABORACIÓN: 15/01/2015	VENCIMIENTO: 15/02/2015
QUESO LA CHONTA (QUESO FRESCO)	A5	LOTE: 050101	ELABORACIÓN: 12/01/2015	VENCIMIENTO: 12/02/2015

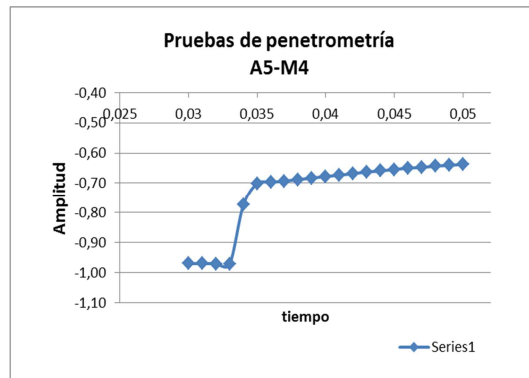
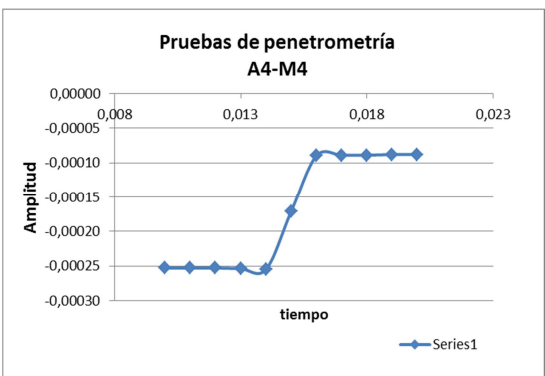
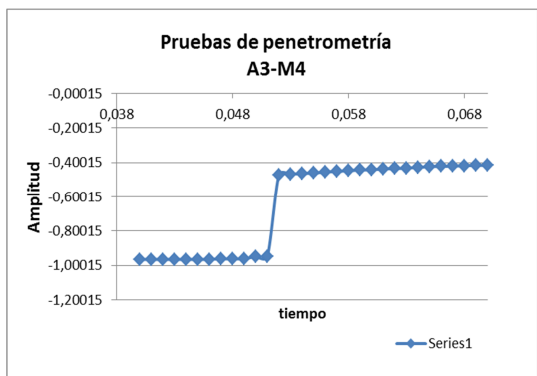
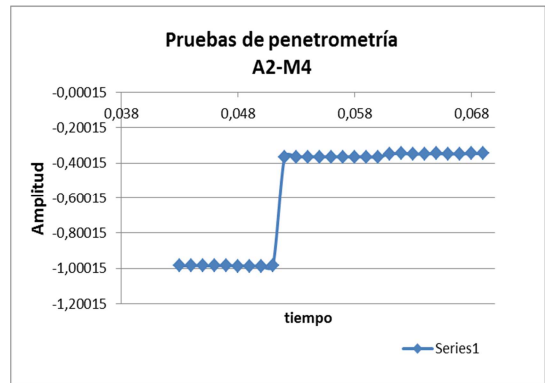
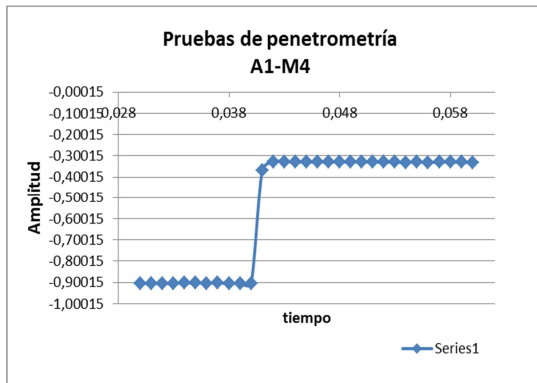


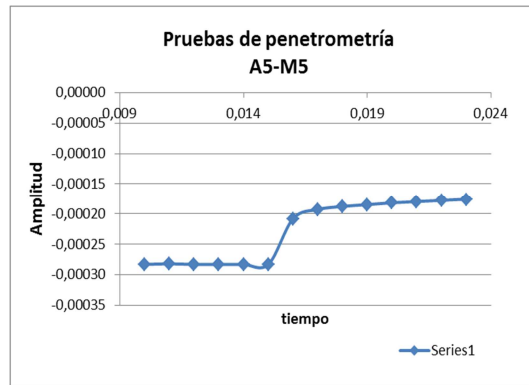
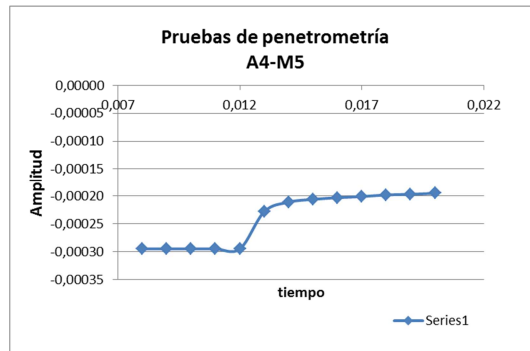
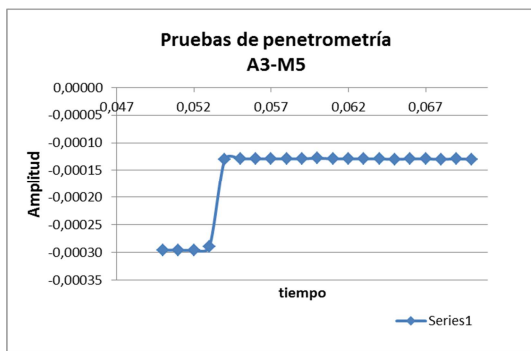
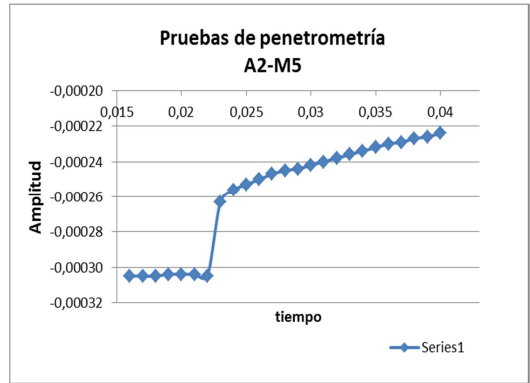
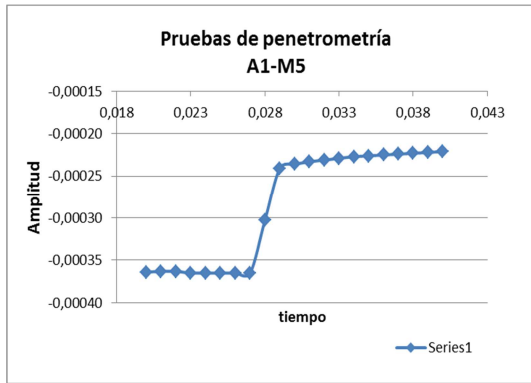
**ANEXO 2. GRÁFICOS DE PENETROMETRÍA**

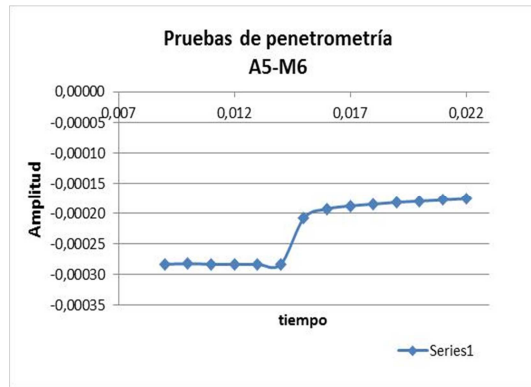
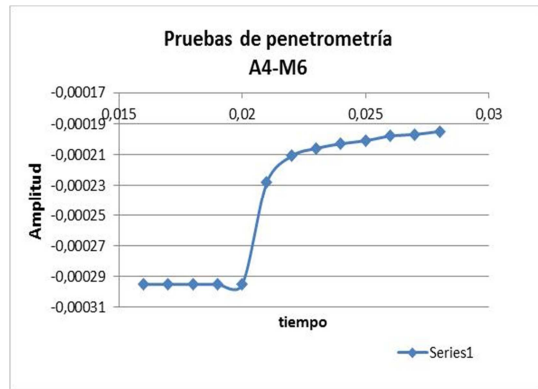
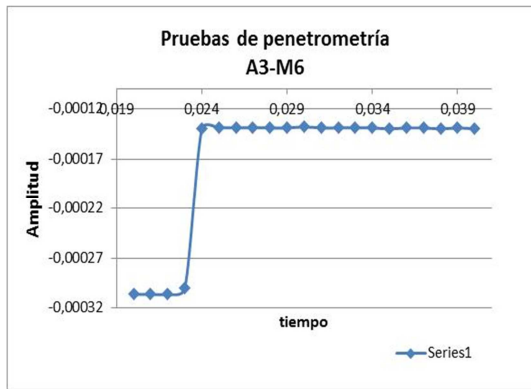
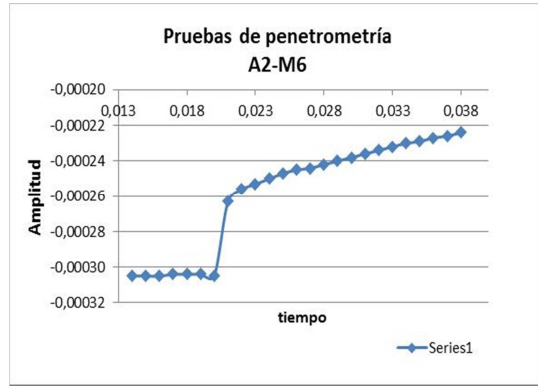
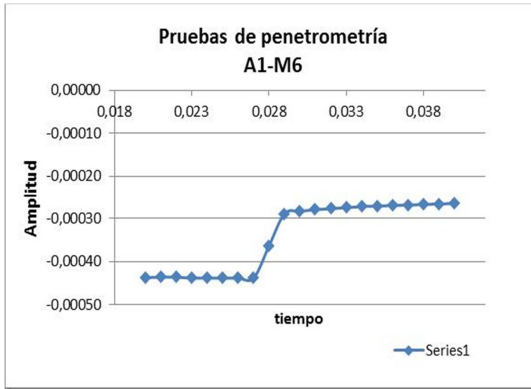


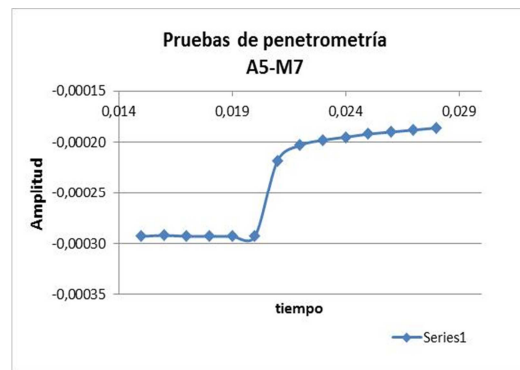
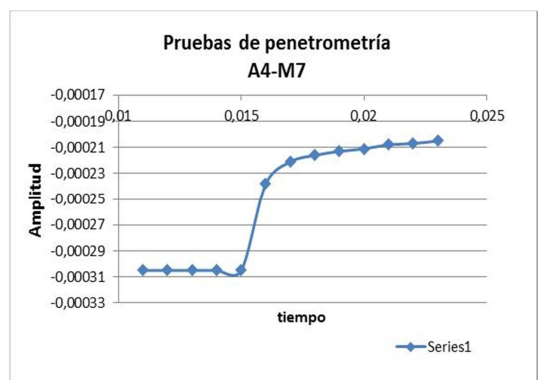
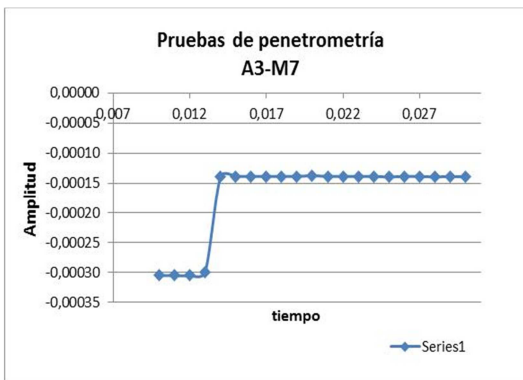
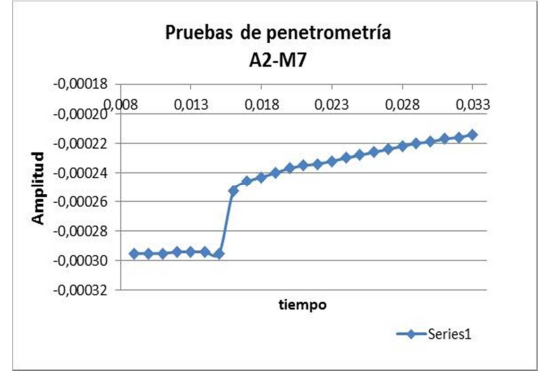
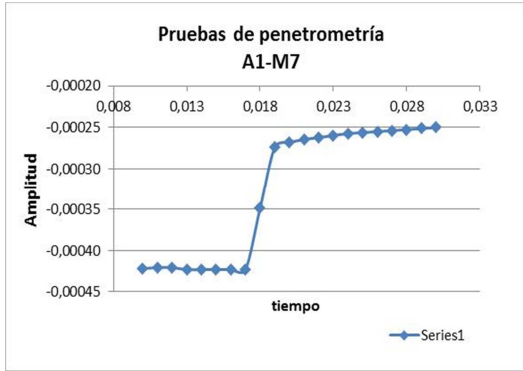


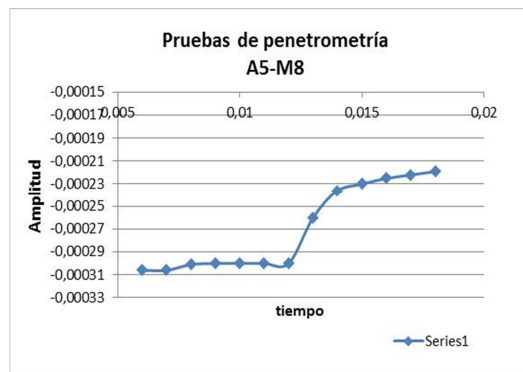
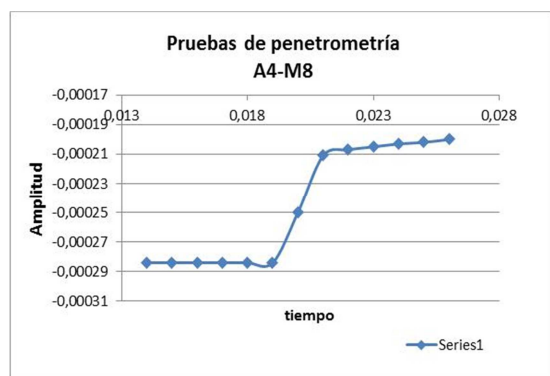
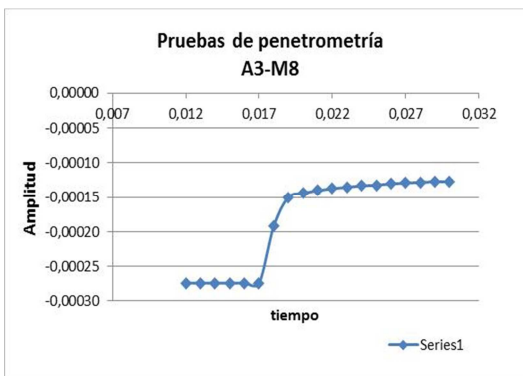
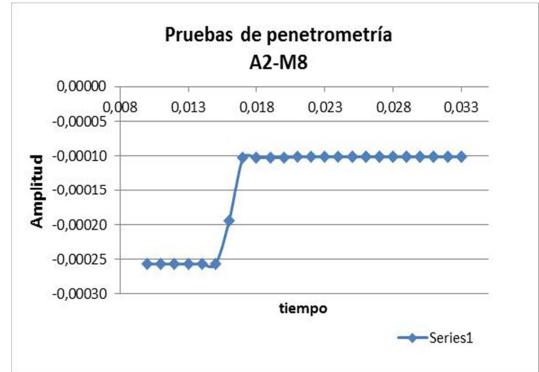
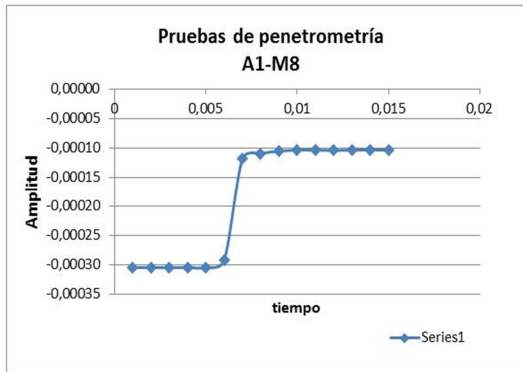




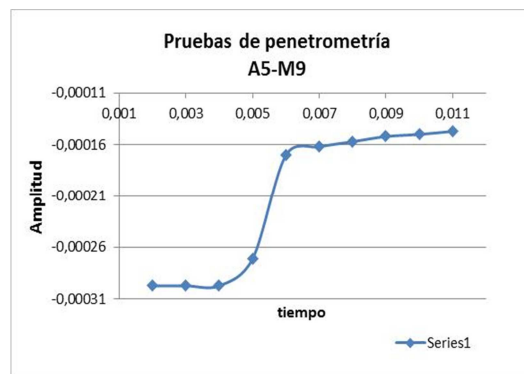
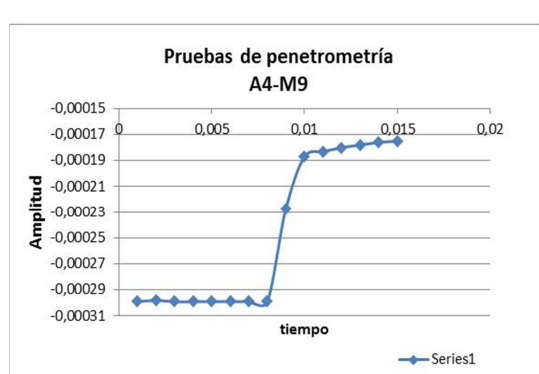
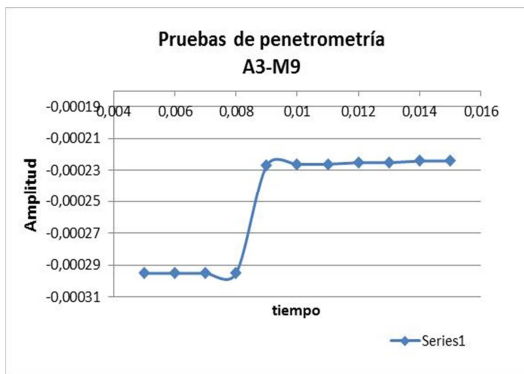
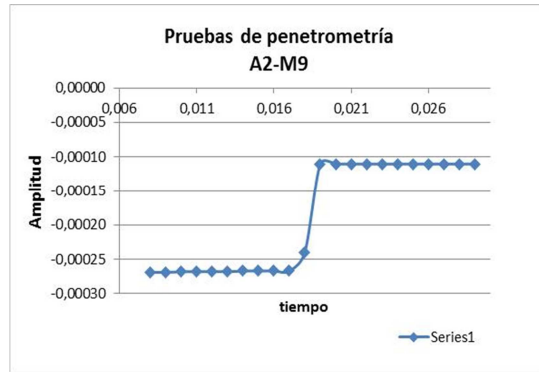
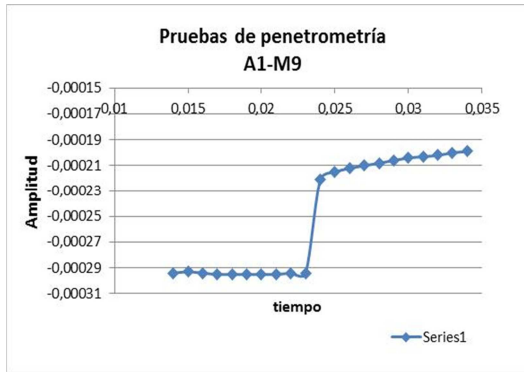


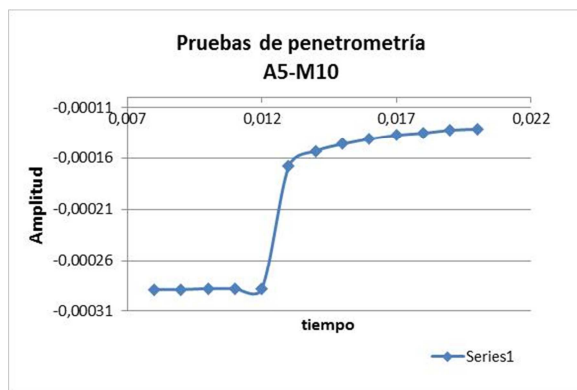
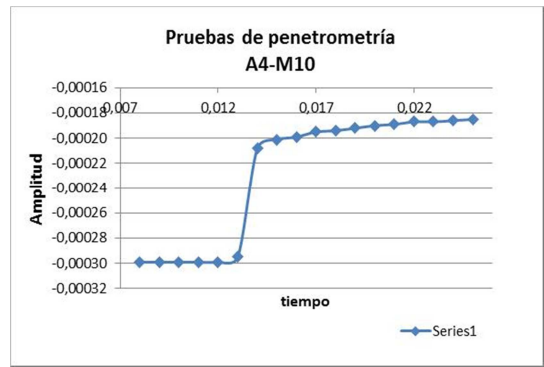
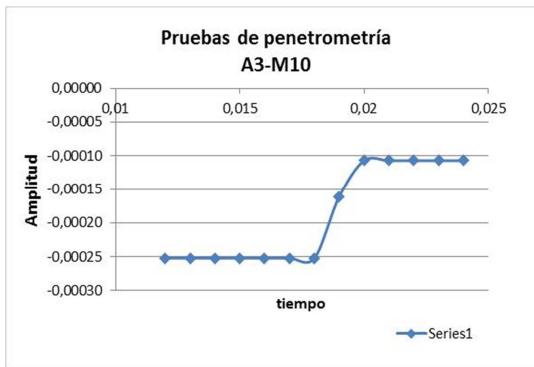
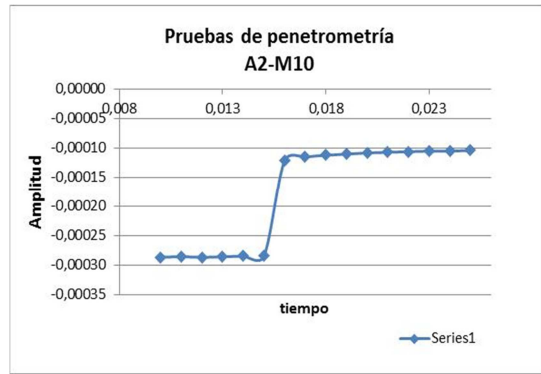
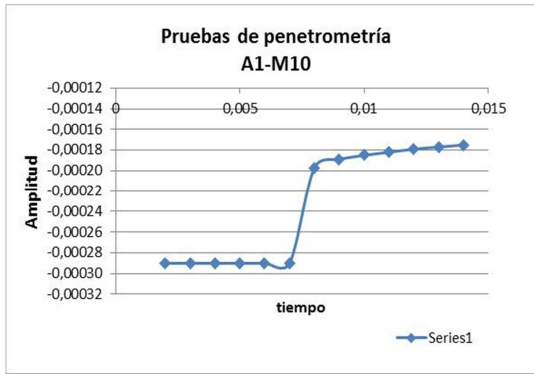












ANEXO 3. GRÁFICOS DE CREEP TEST

