



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



**DESARROLLO DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA  
CUANTIFICACIÓN DE LA DUREZA DE GEL EN POSTRES**

Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Licenciado en Química

**Autor:** Ortega Armeliz

**Tutor académico:** Prof. Ygmar Jiménez

**Tutor Industrial:** Ing. Pascualina Russo

Valencia, Octubre 2012



## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este gran logro a Dios por darme la oportunidad de vivir plenamente esta experiencia y nunca abandonarme, siempre iluminando mi camino.*

*A mis padres, porque sin ellos no hubiese sido posible la realización de este sueño.*

*A toda mi familia ya que cada uno aportó su granito de arena, acompañándome y apoyándome día tras día, lo cual fue fundamental en el desarrollo de mi carrera.*



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y a la Virgen del Carmen por guiarme e iluminarme en el camino recorrido para alcanzar esta importante meta.*

*A mis padres, por ser mi ejemplo a seguir, por su apoyo incondicional y por ser las personas que estuvieron en los momentos más difíciles dándome ánimos para continuar. Los amo*

*A mis segundos padres, mis abuelos los cuales nunca dudaron en brindarme la ayuda que siempre necesite.*

*A mi hermana, que a pesar de nuestras peleas fue mi compañera en mis trasnochos y me brindó sonrisas en mis momentos de estrés.*

*A todos mis tíos, los cuales en muchas ocasiones fueron una madre y un padre para mí, que nunca han tenido respuestas negativas cuando acudo a ellos.*

*A la Familia Córdova, en especial a la Sra. Mirna y David, gracias por su gran ayuda en todo momento durante estos años.*

*A María Virginia y Oscar, no hay palabras para agradecer la inmensa ayuda que me dieron desde el comienzo de mi carrera, siempre haciendo todo lo posible para ayudarme a superar los obstáculos a lo largo de mi formación académica.*

*A mis amigos académicos, que compartieron conmigo en toda mi carrera Beliesky, Feriannys, Giskarly, Grysette, Lisamdys, Gabriela y María Andreina por sus ocurrencias y conocimientos compartidos.*

*Un especial agradecimiento a mi amiga de residencia, Keyra, por sus hermosas palabras de aliento que siempre estuvieron presente.*

*A George y Sissi, por convertirse en tan poco tiempo en unas personas muy especiales, las cuales me ayudaron incondicionalmente en todo momento.*

*A todos los integrantes del Departamento de Investigación y Desarrollo de Alimentos Polar Comercial Planta Turmero, por brindarme la oportunidad de formar parte de un excelente grupo de trabajo.*

*Quiero agradecer a mi tutora, Prof Ygmar Jimenez por su valiosa colaboración en este proyecto.*



ÍNDICE GENERAL

**LISTA DE TABLAS** ..... vii

**LISTA DE FIGURAS** ..... x

**RESUMEN** ..... xi

**ABSTRACT** ..... xii

**INTRODUCCIÓN** ..... 1

**CAPÍTULO I** ..... 3

**EL PROBLEMA** ..... 3

    1.1 Planteamiento y Justificación del Problema ..... 3

    1.2 Objetivos de la Investigación ..... 4

        1.2.1 Objetivo General ..... 4

        1.2.2 Objetivos Específicos ..... 4

    1.3 Alcance ..... 5

    1.4 Limitaciones ..... 5

**CAPITULO II** ..... 6

**MARCO TEÓRICO** ..... 6

    2.1 Antecedentes de la Investigación ..... 6

    2.2 Bases Teóricas ..... 8

        2.2.1 Geles alimenticios ..... 8

        2.2.2 Textura ..... 20

        2.2.3 Relaciones Psicofísicas ..... 30

        2.2.4 Vida Útil ..... 31

**CAPITULO III** ..... 35

**MARCO METODOLÓGICO** ..... 35

    3.1 Esquema General ..... 35



# Índice

---

3.2	Formulación y preparación de las muestras .....	36
3.3	Equipo.....	37
3.4	Medición de la dureza de la gelatina.....	38
3.5	Establecimiento de las condiciones instrumentales que permitan la medición de la dureza de gel en postres .....	39
3.6	Determinación de la precisión del método de acuerdo a las condiciones de análisis establecidas. ....	42
3.6.1	Repetibilidad.....	42
3.6.2	Reproducibilidad .....	43
3.7	Evaluación de la correlación entre los resultados instrumentales y sensoriales.....	43
3.8	Evaluación de la variación de la dureza de gel con muestras almacenadas a condiciones aceleradas .....	46
<b>CAPITULO IV</b>	.....	<b>47</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	.....	<b>47</b>
4.1	Establecimiento de las condiciones instrumentales .....	47
4.2	Determinación de la precisión del método de acuerdo a las condiciones de ensayo establecidas. ....	57
4.3	Evaluación de la dureza del gel a través de pruebas sensoriales.....	58
4.3.1	Entrenamiento del panel.....	58
4.3.1	Evaluación sensorial de la dureza de la gelatina .....	61
4.4	Relación entre la evaluación sensorial e instrumental .....	63
4.5	Estudio del comportamiento de la dureza de gel a condiciones aceleradas de almacenamiento del producto en polvo. ....	66
<b>CAPITULO V</b>	.....	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	.....	<b>69</b>
5.1	Conclusiones .....	69



# Índice

---



5.2 Recomendaciones .....	70
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO A. TABLAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>
<b>APÉNDICE A. DATOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>76</b>
<b>APÉNDICE B. RESULTADOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>81</b>
<b>APÉNDICE C. PRUEBA DE ORDENAMIENTO .....</b>	<b>85</b>



LISTA DE TABLAS

**Tabla 2.1** Hechos más importantes que popularizaron a la gelatina a través de los años..... 9

**Tabla 2.2** Descripción de los diferentes tipos de colágeno según el órgano donde se produce. .... 10

**Tabla 2.3** Descripción de los diferentes procesos de producción de la gelatina. .... 20

**Tabla 2.4** Clasificación de los diferentes atributos de la textura. .... 22

**Tabla 3.1** Cantidades de materia prima empleada según el tipo de gelatina en cuanto a su dureza para la formulación de la mezcla en polvo sabor a manzana. .... 36

**Tabla 3.2** Componentes del texturómetro necesario para el análisis de geles alimenticios. .... 38

**Tabla 3.3** Niveles establecidos para cada uno de los factores a estudiar. ... 41

**Tabla 3.4** Valores establecidos en las corridas, determinadas en el diseño de experimentos para cada uno de los factores a estudiar en la respuesta de dureza. .... 41

**Tabla 3.5** Valores establecidos en las corridas, determinadas en el diseño de experimentos para cada uno de los factores a estudiar en la respuesta de coeficiente de variación. .... 42

**Tabla 3.6** Patrones a utilizados en la evaluación sensorial de dureza para entrenar a los catadores. .... 43

**Tabla 3.7** Escalas sensoriales transformadas en valores numéricos para los datos del entrenamiento del panel sensorial..... 45

**Tabla 3.8** Cantidad de gelatina agregada para formular las muestras a evaluar sensorialmente con diferentes niveles de dureza. .... 45



## Lista de tablas

---

<b>Tabla 4.1</b> Análisis de varianza para la variabilidad de la dureza del gel con cada uno de los efectos, de acuerdo al diseño aplicado.....	48
<b>Tabla 4.2</b> Análisis de varianza para el coeficiente de variación de las mediciones de la dureza de la gelatina de acuerdo al diseño aplicado. ....	54
<b>Tabla 4.3</b> Coeficientes de variación obtenidos para la repetibilidad y precisión intermedia junto con las medias experimentales obtenidas en la determinación de dureza en muestras de gelatina. ....	57
<b>Tabla 4.4</b> Análisis de varianza para las calificaciones de dureza de los diferentes alimentos empleados en el entrenamiento del panel. ....	59
<b>Tabla 4.5</b> Prueba de múltiples rangos para las calificaciones de dureza de los diferentes alimentos en el entrenamiento del panel.....	59
<b>Tabla 4.6</b> Grupos homogéneos para las calificaciones de dureza de los diferentes alimentos en el entrenamiento del panel.....	60
<b>Tabla 4.7</b> Análisis de varianza para las calificaciones de dureza de las diferentes muestras de gelatina evaluadas sensorialmente. ....	61
<b>Tabla 4.8</b> Resultados de la prueba de múltiples rangos de Tukey para las calificaciones de dureza de las diferentes muestras de gelatina. ....	61
<b>Tabla 4.9</b> Grupos homogéneos para las calificaciones de dureza de las diferentes muestras de gelatina. ....	62
<b>Tabla 4.10</b> Valores obtenidos a través de mediciones instrumentales correspondientes al promedio de escala sensorial calificada por un panel entrenado para diferentes formulaciones de gelatina. ....	63
<b>Tabla 4.11</b> Análisis de varianza para la correlación entre la evaluación instrumental y sensorial de la dureza de la gelatina. ....	65
<b>Tabla 4.12</b> Análisis de varianza para los valores de dureza de muestras de gelatina almacenadas durante 4 semanas a una temperatura de 37°C. ....	66
<b>Tabla 4.13</b> Promedio de los valores de dureza medidos instrumentalmente durante 4 semanas para muestras almacenadas a 37°C. ....	68



## Lista de tablas

---

<b>Tabla A.1</b> Corridas experimentales para el diseño de experimentos factorial evaluando la dureza de la gelatina como variable respuesta .....	76
<b>Tabla A.2</b> Mediciones instrumentales de dureza para 5 muestras con 3 niveles diferentes de dureza cada una de las muestras. ....	78
<b>Tabla A.3</b> Ordenamiento según el nivel de dureza para diferentes tipos de alimentos empleados en el entrenamiento del panel. ....	79
<b>Tabla A.4</b> Ordenamiento según el nivel de dureza para diferentes muestras de gelatina evaluadas sensorialmente. ....	79
<b>Tabla A.5</b> Valores de dureza obtenidos mediante mediciones instrumentalmente para muestras de gelatina formuladas con diferentes niveles de dureza. ....	80
<b>Tabla A.6</b> Valores de dureza para muestras de gelatinas almacenadas a 37 °C durante 4 semanas. ....	80
<b>Tabla B.1</b> Coeficientes de variación usados en el diseño factorial para establecer las condiciones instrumentales de ensayo que presentan mejor precisión. ....	81
<b>Tabla B.2</b> Promedios de las mediciones instrumentales de dureza durante 5 días para 5 muestras de diferentes niveles para la evaluación de la precisión del método. ....	83
<b>Tabla B.3</b> Valores transformados para los resultados de la calificación de dureza de las muestras empleadas en el entrenamiento del panel. ....	83
<b>Tabla B.4</b> Valores transformados para los resultados de la calificación de las muestras de gelatinas empleadas en la evaluación sensorial de dureza. ....	84
<b>Tabla B.5</b> Valores de las mediciones instrumentales y sensoriales de la dureza de gelatina transformados a las diferentes escalas para establecer el modelo psicofísico que más se ajuste a los datos. ....	84



LISTA DE FIGURAS

**Figura 2.1** Esquema de la transformación de colágeno en gelatina. ( $T_s$ : Temperatura de contracción, T: temperatura, c: concentración). Fuente: Belitz y Grosch (1997). ..... 12

**Figura 2.2** Distribución de carga de gelatinas de tipo A y B en soluciones acuosas de diferente pH. Fuente: Schrieber y Gareis (2007). ..... 17

**Figura 2.3**Proceso de producción de gelatina. .... 19

**Figura 2.4** Curva característica de un análisis de textura para determinar la dureza. Fuente: Gómez (2004). .....23

**Figura 3.1** Esquema representativo del resumen de actividades a realizar para cumplir con los objetivos establecidos. ....35

**Figura 3.2** Texturómetro modelo TA-XT2 Marca Stable Micro System. ....37

**Figura 4.1** Diagrama de Pareto estandarizado para la dureza de la gelatina. ....48

**Figura 4.2**Tendencia de los efectos principales de la dureza de la gelatina.50

**Figura 4.3** Probabilidad normal de los residuos sobre la dureza del gel. ....51

**Figura 4.4** Gráfico de residuos en función de los predichos para la dureza del gel. ....52

**Figura 4.5** Gráfico de los residuales en función del número de corrida de los experimentos en la determinación de la dureza de la gelatina. ....53

**Figura 4.6** Tendencia de los efectos principales del coeficiente de variación de la dureza de la gelatina. ....54

**Figura 4.7** Probabilidad normal de los residuos sobre el coeficiente de variación de la dureza de la gelatina. ....56



## DESARROLLO DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA DUREZA DE GEL EN POSTRES

**Autor:**

Br. Armeliz Ortega

### RESUMEN

La dureza de la gelatina es el atributo más importante que determina la textura en este tipo de alimento. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la dureza del gel en postres de gelatina, a través de un texturómetro. Para ello fue necesario el establecimiento de las condiciones instrumentales más óptimas que resaltaran la precisión del método de ensayo. Mediante un diseño de experimentos factorial se estudiaron los factores velocidad de pre test, velocidad de test, velocidad de post test y distancia de compresión, con niveles altos de 2 mm/s para velocidades y 10 mm para la distancia, y niveles bajos de 0,5 mm/s para velocidades y 4mm para la distancia. Se obtuvo que para los niveles más bajos de los factores, las mediciones presentaban menor coeficiente de variación y por ende una mejor precisión. De acuerdo a la bibliografía se consideraron precisos valores de coeficiente de variabilidad menores a 10%. A través de un panel sensorial previamente entrenado, se realizó la evaluación instrumental de la dureza de gelatinas que iban desde muy blanda a muy dura, cuyos resultados se correlacionaron logarítmicamente con las mediciones instrumentales de dureza, obteniéndose una alta correlación entre los mismos. Finalmente se evaluaron cambios en la dureza de gelatinas en polvo almacenadas a condiciones aceleradas de temperatura, demostrándose cambios significativos en las mediciones instrumentales más no en las evaluaciones sensoriales.

**Palabras Claves:** Textura, Dureza, Gelatina, Evaluación Sensorial.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



## DESARROLLO DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA DUREZA DE GEL EN POSTRES

**Autor:**

Br. Armeliz Ortega

### ABSTRACT

The hardness of the gelatin is the most important attribute that determines the texture in this type of food. This research aims to determine the hardness of the gel in gelatin desserts by using a texture analyzer. In order to do this, it was necessary to establish of the instrumental conditions to highlight the precision of the test method. By designing factorial experiments, we were able to study pre-test speed, test speed, post-test speed, and distance post compression; which involved high levels of 2 mm/s for speed and 10 mm for distance, and low levels of 0,5 mm/s for speed and 4mm for distance. We found that for the lower levels of the factors, the measurements showed lower coefficient of variation and hence better accuracy. According to the literature, we considered precise coefficient values less than 10%. Through a previously trained sensory panel, an instrumental assessment was made to determine the toughness of gels ranging from very soft to very hard. The results were correlated with logarithmically instrumental measurements of toughness, which yielded a high correlation between them. Finally we evaluated changes in toughness of gelatin powder stored at accelerated temperature conditions, which showed significant changes in instrumental measurements, but not in the sensory evaluations.

**Keywords:** Texture, hardness, Gelatin, Sensory Evaluation.



## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la formulación de nuevos productos alimenticios se encuentra actualmente como un tema de gran importancia y prioridad para la industria alimentaria. La aceptabilidad y control de calidad de productos alimenticios está ligado estrechamente con el conocimiento profundo de las propiedades texturales de los diversos tipos de alimentos, estos conocimientos ciertamente, aportan gran ayuda en la selección del atributo de textura adecuado, que define al producto durante su desarrollo. No es posible definir una textura deseable, ya que una característica de textura puede ser deseable en un alimento mientras que en otro haría que éste fuese completamente repugnante. Por lo tanto, es necesario definir para cada tipo de alimento cuáles son los atributos que merecen mayor atención. Es por ello que, el estudio de las propiedades de textura de los alimentos se vuelve imperativo para la tecnología de los alimentos de hoy en día.

Los consumidores están cada vez más conscientes de la textura de los alimentos ya que la variedad de productos alimenticios en el mercado se incrementa día a día y los nuevos productos basan su atractivo en nuevas y diferentes texturas (Anzaldúa, 1994).

El análisis instrumental de perfil de textura (TPA) es una herramienta mecánica nueva pero útil que intenta imitar la acción de mordedura al ingerir el producto, sin embargo, estas técnicas instrumentales requieren validación. La validación de un instrumento para medir algún parámetro de textura solo es posible a través de su grado de correlación con la medición sensorial. Es por eso que a partir de los años 60 se inician con mayor rigor e interés los llamados estudios de correlaciones instrumento-sensoriales con el objetivo de establecer una técnica instrumental predictiva (De Hombre y col., 1998).



## Introducción

---

Ya que la textura se manifiesta como resultado de haber sometido el alimento a un esfuerzo deformante, el estudio de los parámetros mecánicos del alimento puede proporcionar alguna información acerca de sus atributos de textura.

Estos parámetros mecánicos incluyen dureza, fracturabilidad, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad, entre otros.

Durante el procesamiento, elaboración y consumo de los alimentos, los sistemas gelificados están sujetos a deformaciones, que pueden ser reversibles o irreversibles. Esto lleva a conocer en profundidad sus propiedades mecánicas poniendo a punto o mejorando los sistemas de medición de la calidad.

Usualmente, la medición de un simple punto como es la fuerza del gel ha sido utilizada por los proveedores y usuarios para caracterizar los sistemas gelificados. Esta fuerza está íntimamente relacionada con la fuerza necesaria para causar en el alimento una deformación determinada, lo cual corresponde a la definición de dureza.

El objetivo de esta investigación es desarrollar un método analítico para la cuantificación de la dureza de gel en postres empleando un texturómetro, a través del establecimiento de las condiciones de ensayo referidas a velocidad y porcentaje de deformación, con la finalidad de llevar a cabo el análisis de la textura de un gel muy común y popularizado como es la gelatina, de manera de establecer un método preciso para el estudio del producto.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento y Justificación del Problema

El crecimiento tecnológico en una industria a través del tiempo, se debe principalmente a la necesidad, cada vez mayor de mejorar y satisfacer las exigencias del consumidor. Para esto, las empresas requieren introducir en sus procesos de control, equipos y sistemas que aumenten el rendimiento, eficacia y calidad, tanto en las diferentes etapas de fabricación como en la obtención del producto final.

En la actualidad existe una tendencia en la industria alimentaria al mejoramiento de sus productos mediante la aplicación de pruebas sencillas y confiables. La medición de características físicas en los alimentos como la textura ha tenido un auge en los últimos años, debido a que forma parte de uno de los atributos primarios que junto con el aspecto sabor y olor conforman la calidad sensorial de los alimentos; determinando en muchos casos que un producto sea exitoso en el mercado.

Para productos semisólidos como la gelatina, la textura es un parámetro crítico relacionado directamente con el predilecto del producto, de ahí la importancia de la medición cuantitativa de esta cualidad. En la industria de alimentos existen equipos desarrollados para medir instrumentalmente la textura, donde en muchas ocasiones se considera suficiente evaluar un atributo, sobre todo cuando éste predomina sobre el resto en la sensación final de textura (Castro, 2007)

En la gelatina, el parámetro de textura que tiene mayor relevancia sobre la sensación final es la dureza de gel, que no es más que la fuerza requerida



# 1. El Problema

---

para deformar una muestra, simulada sensorialmente como la fuerza necesaria para comprimir un alimento semisólido entre la lengua y el paladar. Su cuantificación se realiza a través de pruebas de compresión con un texturómetro, convirtiéndose en una herramienta para el control de calidad, y un indicador de costo en la fabricación de gelatinas (Bourne, 1982).

Debido a la importancia que representa este parámetro en el producto surge la necesidad de desarrollar un método analítico que permita la medición de la dureza de gel en postres, cuya implementación proporcionará resultados técnicamente válidos, mediante los cuales se pueda predecir la aceptación del consumidor aportando una vital herramienta en el control del proceso de fabricación de gelatinas.

## 1.2 Objetivos de la Investigación

### 1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un método analítico para la cuantificación de la dureza de gel en postres empleando un texturómetro en la empresa Alimentos Polar Comercial.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer las condiciones instrumentales para la determinación de la dureza de gel en postres.
- Determinar la precisión del método de acuerdo a las condiciones de análisis establecidas.
- Evaluar la dureza del gel a través de pruebas sensoriales con un panel entrenado.
- Evaluar la existencia de la relación entre los resultados obtenidos con el método desarrollado y la evaluación sensorial con un panel entrenado.



# 1. El Problema

---

- Estudiar el comportamiento de la dureza del gel, a condiciones aceleradas de almacenamiento del producto en polvo.

## 1.3 Alcance

La presente investigación abarca principalmente el desarrollo de una metodología para la cuantificación de la dureza de gel en postres a través de un texturómetro. Se realizará un diseño de experimentos para establecer las condiciones de análisis, con las cuales se obtendrá una mayor precisión del método. A través de los resultados obtenidos con el instrumento, se evaluará la existencia de una relación con los resultados arrojados por pruebas realizadas con un panel sensorial entrenado, permitiendo así conocer el valor de dureza que debe tener una gelatina para que sea aceptada y preferida por los consumidores.

## 1.4 Limitaciones

La principal limitación de esta investigación, se basa en la escasa disponibilidad de estudios previos en cuanto al tema, la dureza como propiedad de textura, ha sido estudiada pero en otros alimentos que poseen características muy diferentes a la gelatina, lo que conlleva a la ausencia de un patrón o material de referencia, que permita evaluar los diferentes parámetros de validación. De igual forma, sería muy provechoso, poder evaluar la vida útil del producto en polvo, y ver cómo afecta el tiempo de almacenamiento en la dureza de la gelatina, pero esto implica una limitación con respecto al tiempo, debido a que, un estudio preliminar sobre la vida útil, recomienda realizar la evaluación durante doce (12) meses, lo cual está fuera del alcance del intervalo de tiempo correspondiente a la presente investigación.



### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO

##### 2.1 Antecedentes de la Investigación

*A continuación se presenta una serie de trabajos de investigación que, debido al contenido que poseen, se encuentran vinculados con el problema en estudio.*

Lesá, C y Colaboradores. **“Ensayos texturales en diferentes tipos de geles”**. (2005).

El objetivo de este estudio fue comparar los parámetros texturales de diferentes geles (ovoalbúmina, plasma bovino, gelatina y carragenina) mediante el Análisis de Perfiles de Textura (TPA); la determinación de la fuerza de gel, así como, la capacidad de retención de agua en los mismos. La importancia de este estudio en el presente trabajo, es que los investigadores recomiendan hacer las mediciones sobre el producto final y no sobre la materia prima, ya que, se les hizo difícil la realización del TPA en geles de gelatina debido a sus propiedades mecánicas, considerando que los valores de los mismos varían al formar parte de una matriz compleja como lo es la de un alimento procesado. Es por ello que en el presente estudio, las mediciones se harán sobre el producto terminado.



## II. Marco Teórico

---

Cui, S y Colaboradores. **“Texture Profile of herbal gel affected by instrumental parameters and correlations of instrumental and sensory evaluation”**(2011).

Esta investigación consistió en establecer una evaluación instrumental de textura basada en un análisis de perfil de textura (TPA) con la finalidad de estudiar el efecto de las condiciones de operación del analizador de textura incluyendo el grado de penetración del émbolo y la velocidad de la probeta sobre los resultados del TPA, además de la correlación del análisis de perfil de textura instrumental y sensorial. Los resultados indican que el grado de penetración del émbolo y la velocidad de la probeta mostraron efectos diferentes sobre los resultados de las pruebas según atributos de textura alcanzados.

Se considera como un antecedente para la investigación actual, debido a que, guarda una estrecha relación en cuanto a los objetivos planteados, donde las condiciones a establecer se basan principalmente en velocidad y penetración en la muestra a la hora de realizar la medición, además de aportar información necesaria para la relación entre la dureza a través de una medición sensorial y una instrumental.

Muñoz, A y Colaboradores. **“Sensory and Mechanical Attributes of Gel Texture”** (1986).

El presente trabajo fue diseñado con la finalidad de comparar las mediciones sensoriales de firmeza evaluadas por corte manual y oral, así como, la compresión, cohesión, y grado de descomposición de los geles con diferentes contenidos de la gelatina. A su vez, los datos sensoriales se compararon con medidas instrumentales de compresión y cizallamiento en diferentes deformaciones y dos velocidades. El aporte que representa a la siguiente investigación se encuentra en los efectos de la concentración de



## II. Marco Teórico

---

gelatina en los atributos de textura, tanto sensorialmente como instrumentalmente. Además de información sobre la correlación de las medidas mecánicas con pruebas sensoriales, dirigidas a diferentes parámetros que se estudiarán en la presente investigación como lo son: el tipo de fuerza, velocidad y grado de deformación.

### 2.2 Bases Teóricas

*Esta parte de la investigación incluye el conjunto de conceptos requeridos para dar un enfoque preciso a la temática vinculada con el diseño de un método analítico para la cuantificación de la dureza de gel en postres, permitiendo así sustentar la presente investigación.*

#### 2.2.1 Geles alimenticios

##### 2.2.1.1 Historia de la gelatina

La gelatina como producto comestible ha tenido una larga y exitosa historia. En la Tabla 2.1 se muestra un breve resumen de la historia de la gelatina en el transcurso de los años, mostrándose los hechos más relevantes que marcaron la trascendencia de la gelatina como producto alimenticio.



## II. Marco Teórico

**Tabla 2.1** Hechos más importantes que popularizaron a la gelatina a través de los años.

<b>Año</b>	<b>Acontecimiento</b>
<b>1889</b>	Creación de la organización GELITA AG en Alemania (mayor fabricante de gelatina a nivel mundial).
<b>1890</b>	Introducción de empaques de gelatina granulada en los Estados Unidos gracias al desempeño de Charles Knox.
<b>1845</b>	Peter Cooper en Estados Unidos obtuvo la primera patente para un postre de gelatina.
<b>1897</b>	El producto fue mejorado mediante la adición de aromas frutales y fue nombrado gelatina JELL-O1.
<b>1904</b>	Es publicado el primer libro de recetas de JELL-O1 (Las ventas de gelatina JELL-O1 se encuentra actualmente alrededor de los 300 millones de cajas por año en los Estados Unidos).
<b>1923</b>	Se inició la comercialización de cubos concentrados llamados tabletas de jalea, estos contenían diferentes sabores de fruta.
<b>1930</b>	Los ositos de goma (hechos con gelatina) se hicieron muy famosos.
<b>1970</b>	Se innovaron los yogures de gelatina con frutas sin capa membranosa de suero en la superficie.

(Schrieber y Gareis, 2007).

### **2.2.1.2 Origen de la gelatina**

La gelatina es originada por la hidrólisis parcial de colágeno nativo. El colágeno es la proteína principal del tejido conectivo en animales y seres humanos, constituye en los mamíferos entre el 20 y el 25% del contenido proteico total. En contraste con las proteínas globulares esféricas, el colágeno se compone de fibras lineales. El colágeno no es una sustancia uniforme, sino que es una familia de proteínas. Hasta la fecha, han sido identificados unos 27 tipos diferentes de colágeno. Los principales tipos se mencionan en la Tabla 2.2. Los otros tipos de colágeno están presentes en cantidades muy bajas y son en su mayoría de órganos específicos (Schrieber y Gareis, 2007).

## II. Marco Teórico

**Tabla 2.2** Descripción de los diferentes tipos de colágeno según el órgano donde se produce.

Tipo de Colágeno	Descripción
Tipo I	Se produce principalmente en el tejido conectivo, como la piel, los huesos y tendones.
Tipo II	Se produce prácticamente de forma exclusiva en el tejido cartilaginoso.
Tipo III	Es fuertemente dependiente de la edad del animal.

(Belitz y Grosch, 1997).

Al igual que todas las otras proteínas, el colágeno posee estructuras primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias. La estructura primaria del colágeno animal tipo I, el cual se utiliza en la fabricación de gelatina, comprende unos 1014 aminoácidos entrelazados que forman una cadena con un peso molecular de aproximadamente 100.000 g/mol. Estas alfa cadenas comprenden 334 unidades repetitivas de la secuencia glicina-X-Y. Sólo en los N- y C-terminal hay cadenas cortas que incluyen de unos 15-26 aminoácidos que no se ajustan a esta estructura. La glicina constituye aproximadamente el 33% del componente de aminoácidos, la prolina e hidroxiprolina alrededor del 22% en conjunto. La Prolina se encuentra con frecuencia en la posición X y la hidroxiprolina casi siempre en la posición Y. El 45% restante se distribuye en las combinaciones de X e Y, algunas siendo preferidas por motivos estéricos y electrostáticos. La prolina e hidroxiprolina son responsables de la estructura única secundaria del colágeno. Estos aminoácidos limitan la rotación de la cadena principal del polipéptido y por lo tanto contribuyen a la estabilidad de la triple hélice. El grupo hidroxilo de la hidroxiprolina desempeña un papel importante en la estabilización de la triple hélice de colágeno(Schrieber y Gareis, 2007).

El colágeno tipo I se compone de tres cadenas alfa de las cuales dos son idénticas (alfa 1) y una ligeramente diferente (alfa 2) (estructura



## II. Marco Teórico

---

primaria). Cada cadena alfa está enrollada en forma de hélice girando hacia la izquierda con tres aminoácidos por vuelta (estructura secundaria). Las tres cadenas alfa se enrollan una alrededor de la otra en un diestro giro de súper hélice para formar una estructura rígida (estructura terciaria) Estos elementos de triple hélice representan los bloques básicos de construcción del tejido de colágeno. Debido a la distribución de carga, estas estructuras básicas están escalonadas en aproximadamente un cuarto de su longitud (estructura cuaternaria). De cuatro a ocho moléculas de colágeno en sección transversal constituyen la unidad básica para formar las denominadas fibrillas de colágeno. La estructura completa está estabilizada y reforzada por los enlaces cruzados en forma de enlaces covalentes. Muchas de estas fibrillas de colágeno se entrecruzan para formar la estructura básica de los tejidos tales como la piel y los huesos.

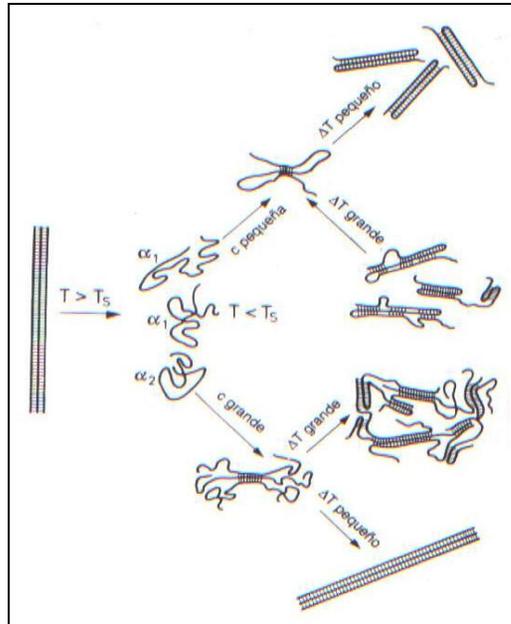
El colágeno se compone de 20 aminoácidos, de los nueve aminoácidos denominados esenciales para el cuerpo humano, contiene muy poca metionina y triptófano. Los restos de cisteína encontrados ocasionalmente en piel y tejido gelatinoso se originan probablemente a partir del colágeno tipo III en la materia prima, ya que el colágeno de tipo I no contiene cisteína (Schrieber y Gareis, 2007).

Los aminoácidos modificados como 3-hidroxiprolina (1 residuo aminoácido /1000), 4-hidroxiprolina (92 residuos aminoácidos /1000), y 5-hidroxilisina (6 residuos aminoácidos), se encuentran principalmente en el colágeno, y por lo tanto en la gelatina, este hecho permite determinar el contenido del mismo en el producto final. El contenido de hidroxiprolina, por ejemplo, es particularmente importante para el efecto de gelificación (Schrieber y Gareis, 2007).

Una propiedad característica del colágeno es el encogimiento que se produce por aumento de la temperatura. Con el calentamiento del colágeno nativo se produce una destrucción de la estructura en triple hélice, más o menos intensa según el grado de entrecruzamiento de las fibras, para dar

## II. Marco Teórico

lugar a la formación de gelatina soluble. Por enfriamiento de la disolución se verifica una reordenación de la estructura, cuya intensidad depende de la concentración de gelatina y del gradiente de temperatura. La Figura 2.1 representa esquemáticamente estos procesos.



**Figura 2.1** Esquema de la transformación de colágeno en gelatina. ( $T_s$ : Temperatura de contracción,  $T$ : temperatura,  $c$ : concentración) (Belitz y Grosch, 1997).

A concentraciones bajas se produce mayoritariamente un plegamiento intramolecular de cadenas aisladas. Las concentraciones más altas y enfriamiento lento conducen de nuevo a la formación de estructuras similares a las del material de partida. A concentración alta y rápido descenso de la temperatura, se forman estructuras en las que alternan segmentos helicoidales cortos con otros no ordenados. Estas últimas pueden inmovilizar grandes cantidades de agua, formando geles de gelatina. (Belitz y Grosch, 1997).



## II. Marco Teórico

---

### 2.2.1.3 Generalidades de la gelatina

Según la norma COVENIN 2946-92 la gelatina comestible es el producto obtenido por la extracción parcial del colágeno contenido en las pieles, tejido conjuntivo y huesos de los animales bovino y porcino, sometido a un proceso de purificación y conocido bajo las denominaciones de gelatina base, neutra o sin sabor, pura o simplemente gelatina.

La gelatina es un sistema coloidal formado por una fase continua acuosa y unas micelas solidas como fase dispersa, orientadas en el espacio, y formadas por un conjunto de macromoléculas unidas entre sí y otras entremezcladas. Se trata de una proteína derivada de las fibras de colágeno encontrada en el tejido conectivo fibroso blanco. Existen dos fuentes principales de tejido conectivo utilizadas en la elaboración de gelatina, los huesos y la piel desmerelizados o el cuero, al cual se le quitan el pelo y la grasa (Gutiérrez, 2000).

Se obtiene tecnológicamente a partir de huesos y pieles por tratamiento con ácidos y/o álcalis y posteriormente extracción con agua. Según el proceso de extracción se obtienen productos con diferentes pesos moleculares y, dependiendo de ello, con diversas propiedades de gelificación, de uso en varios tipos de industrias, como lo es la alimentaria. (Belitz y Grosch, 1997).

Una solución de gelatina diluida es un fluido newtoniano que muestra un comportamiento puramente viscoso, pero el enfriamiento inicia los cambios estructurales. Estos están representados por la formación de interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas entre las moléculas de gelatina. En esta fase inicial, el sistema puede ser descrito como una solución (Schrieber y Gareis, 2007).

Después de la refrigeración adicional, el proceso de formación de estructura continúa cuando la temperatura disminuye hasta que el punto de transición de fase se alcanza. En este punto, las interacciones, algunas de



## II. Marco Teórico

---

las cuales son mucho más estables, se forman, y se inicia la gelificación. Si la temperatura sigue bajando, se forma un gel permanente. Este gel es viscoelástico por naturaleza. Ahora el sistema tiene la naturaleza de un sólido; esta transición de fase se conoce como la transición sólido-gel (Schrieber y Gareis, 2007).

### **2.2.1.4 Tipos de gelatinas**

Según la procedencia del colágeno, se pueden encontrar dos tipos de gelatinas:

a) Gelatina tipo A: Procede del colágeno de la piel y huesos del cerdo. El proceso de extracción es mediante un tratamiento ácido durante 24 horas. El resultado es una gelatina de carga eléctrica positiva y con punto isoeléctrico entre pH 6-9,5. (Cubero, 2002).

b) Gelatina tipo B: Procede del colágeno de la piel y huesos de vacuno. El proceso de extracción es mediante un tratamiento alcalino durante varios días. El resultado es una gelatina de carga eléctrica negativa y con punto isoeléctrico entre pH 4,7-5,6 (Cubero, 2002).

### **2.2.1.5 Formación de geles**

Los geles son sistemas dispersos de al menos dos componentes en los que la fase dispersa forma un entramado cohesivo en el medio de una dispersión. Se caracterizan por la falta de fluidez y por la deformabilidad elástica. Ocupan una posición intermedia entre las disoluciones, en las que predominan las fuerzas repulsivas entre las moléculas de la fase dispersa, y los precipitados, en los que dominan las interacciones intermoleculares fuertes. Se diferencian dos tipos de geles: las redes poliméricas y las dispersiones agregadas. Son ejemplos de las redes poliméricas los geles formados por gelatina y por polisacáridos como la agarosa y carragenanos.



## 11. Marco Teórico

---

La formación de una red tridimensional tiene lugar por agregación de moléculas fibrilares desorganizadas a estructuras limitadas ordenadas, por ejemplo por formación de hélices dobles. Es característico de los geles de este tipo la baja concentración de polímero (~ 1%), la transparencia y la textura fina. Puesto que la agregación se produce principalmente por puentes de hidrogeno, que se rompen fácilmente al calentar, las redes poliméricas son termorreversibles, es decir, los geles se forman por enfriamiento de una disolución y al calentar se vuelven a fundir. Los geles formados a partir de proteínas globulares tras su calentamiento y desnaturalización son ejemplos de dispersiones agregadas. Puesto que lo que se libera durante la desnaturalización parcial son sobre todo grupos hidrófobos, predominan las interacciones hidrófobas intermoleculares, de ahí el carácter termoplástico (termoirreversible) de este tipo de geles, en contraposición con los geles termorreversibles estabilizados por puentes de hidrogeno. (Belitz y Grosch, 1997).

En el punto de gelificación, se forma un gel transparente, termorreversible, elástico, con buena resistencia a los ciclos de congelación-descongelación y al tratamiento mecánico. No producen sinéresis y los productos almacenados no experimentan modificaciones a temperatura ambiental (Cubero, 2002).

Existen otros factores además de la temperatura que condicionan el proceso de gelificación:

- Origen del colágeno del cual se ha obtenido la gelatina
- El peso molecular de la gelatina. A mayor peso molecular, mayor viscosidad, con lo que aumenta la temperatura de fusión de la gelatina, aumentando también el tiempo de gelificación y la fuerza del gel obtenido.
- Concentración de gelatina en la disolución.
- El pH afecta al punto isoeléctrico de la gelatina y, por tanto, a las características finales del gel obtenido.
- Tiempo y temperatura influyen en el proceso de gelificación de la gelatina.



## 11. Marco Teórico

---

- El punto de fusión depende del valor Bloom y de la concentración de sustancias añadidas como sinérgicas.

### **2.2.1.6 Fuerza de gel**

La característica principal de la gelatina utilizada en el proceso industrial es su efecto gelificante. Principalmente, este parámetro determina el precio de un tipo particular de gelatina. La resistencia de gel es, por tanto, la característica más importante de la gelatina (Schrieber y Gareis, 2007).

La fuerza del gel obtenida viene definida por el valor Bloom de la gelatina, lo que refleja el peso molecular medio de sus componentes. Es un valor que puede ir desde 50 hasta 300, y a mayor índice de Bloom más fuerte será el gel que se forme, y mayor será su valor económico. El nombre es de Oscar T. Bloom, inventor del gelómetro Bloom. La palabra se encuentra tanto en mayúsculas como en minúsculas; a veces es precedido por una "g", por gramo. Para hacer una prueba, una muestra de 112 gramos de 6,666% p/p de gel de gelatina se prepara en un contenedor estandarizado y condicionado después de un tiempo normalizado con régimen de temperaturas. Luego de un intervalo de tiempo donde la muestra permanece a 10°C, se usa un instrumento que permite medir la fuerza necesaria para empujar un émbolo de 12,5 milímetros de diámetro sobre 4 milímetros en la gelatina. Esta fuerza es producida por un disparo de manera controlada hasta que el émbolo llegue a la profundidad de 4 mm. El resultado es el peso de una masa expresada en gramos, al cual se le denomina, número de Bloom. (Fellers y Griffeths, 1928).

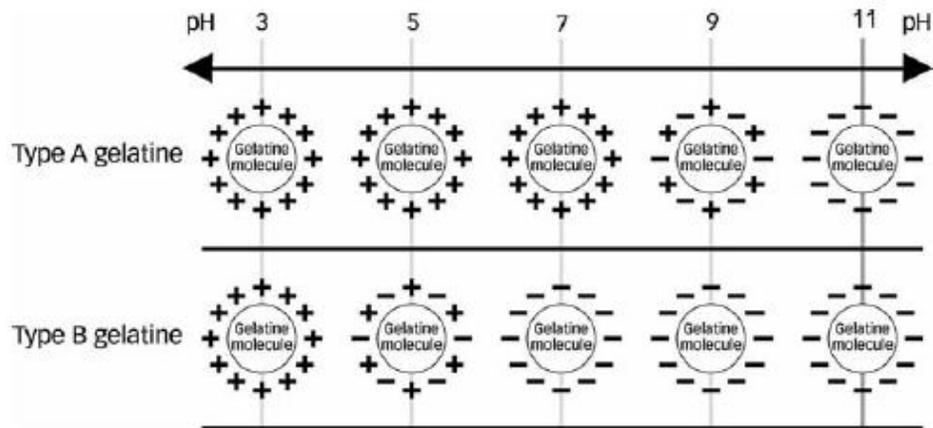
### **2.2.1.7 Punto isoeléctrico**

El punto isoeléctrico (IEP) es de importancia fundamental en los efectos de superficie de actividad de la gelatina. Debido al método de determinación de

## II. Marco Teórico

este parámetro, también se conoce como el punto isoiónico. En teoría, hay una pequeña diferencia entre los dos, en la práctica, sin embargo, pueden considerarse idénticos. Si el pH del medio que rodea a la gelatina corresponde al punto isoeléctrico, la gelatina posee carga neutra. (Schrieber y Gareis, 2007).

Como se muestra en la Figura 2.2, si el pH del medio es mayor significa que está cargada negativamente, y si está por debajo del punto isoeléctrico, quiere decir que la gelatina está cargada positivamente. En las soluciones de gelatina de tipo B con un pH aproximado entre 5,0 y 9,0, la gelatina está cargada negativamente y por lo tanto requiere un acondicionamiento positivo. Por debajo de pH 5 todos los tipos de gelatina están cargadas positivamente, mientras que por encima de pH 9,0 todas se encuentran cargadas negativamente.



**Figura 2.2** Distribución de carga de gelatinas de tipo A y B en soluciones acuosas de diferente pH (Schrieber y Gareis, 2007).

Las características del gel se ven modificadas cuando se alcanza el punto isoeléctrico de la gelatina (pH en el que la carga eléctrica de la solución de gelatina es cero, es decir no hay cargas positivas ni negativas). La gelatina presenta mayor turbidez, menor hinchamiento, menor viscosidad, los enlaces



## II. Marco Teórico

---

son más fuertes y la sinéresis es mayor. Pero estos efectos son poco importantes a concentraciones bajas. (Cubero y col., 2002).

El punto isoeléctrico también tiene mucha importancia, a la hora de encontrar otros hidrocoloides de acción sinérgica con la gelatina, ya que si las cargas son opuestas se puede producir una precipitación mutua. Gelatinas del tipo A (carga positiva), precipitan en presencia de agar, carragenato, alginato y goma arábica (todos ellos hidrocoloides con cargas negativas). Si no se quiere obtener precipitación en un medio a pH neutro se aconseja utilizar gelatina del tipo B. (Cubero y col., 2002).

### **2.2.1.8 Elaboración de la gelatina**

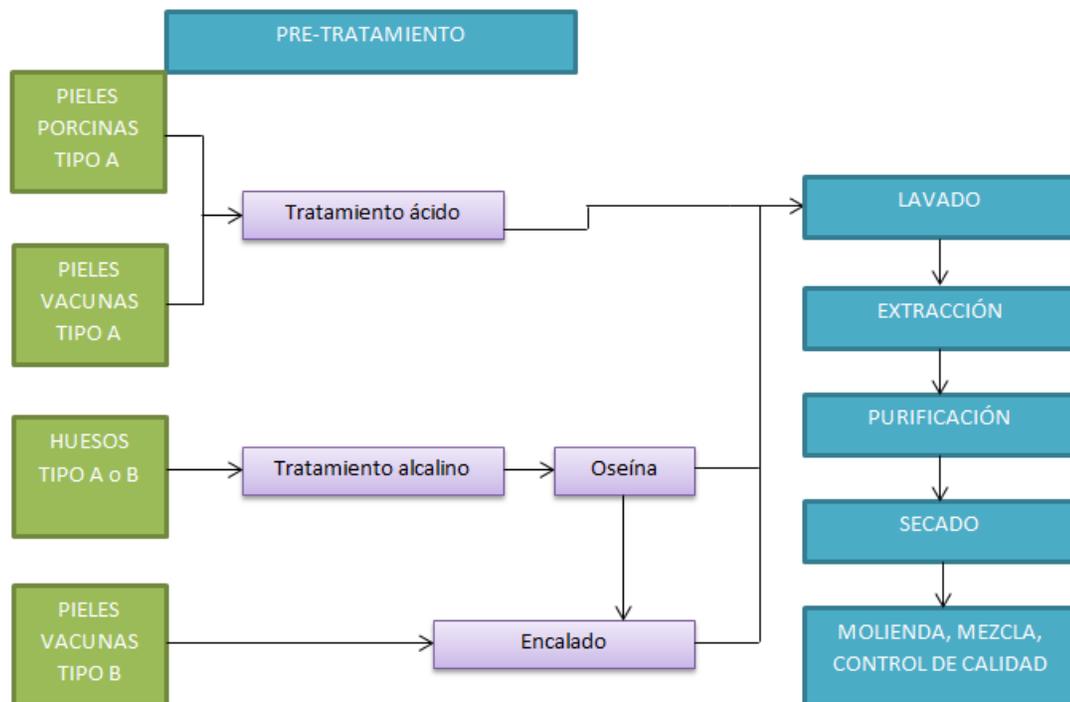
Primeramente el material rico en colágeno se enjuaga ya sea en ácido o álcali. Este tratamiento elimina las impurezas y facilita la conversión de colágeno en gelatina. La conversión se efectúa calentando al tejido ya tratado en agua hasta que los enlaces cruzados que mantienen las tres cadenas de gelatina en la hélice de colágeno se rompen. Las moléculas de gelatina así formadas se dispersan en el agua caliente. Se evapora cierta humedad y las dispersiones coloidales concentradas se enfrían, permitiéndose que gelatinice en una capa delgada, la cual luego se seca. El producto seco se vende para su uso del hogar ya sea granulado o pulverizado. (Charley, 1997).

La gelatina tipo A ha sido tratada con ácido, es decir se le ha añadido protones ( $H^+$ ) que se unen al grupo amida quedando las cadenas de aminoácidos cargadas positivamente y, por tanto, se obtiene una gelatina de carga total positiva. Para neutralizar esta carga positiva hay que añadir aniones ( $OH^-$ ) proporcionados por un medio alcalino. Por esta razón las gelatinas tipo A tienen un punto isoeléctrico en un margen de pH alto, entre 6 y 9,5. El caso de las gelatinas tipo B es el contrario. Este tipo de gelatina ha sido tratada con álcalis, que anulan el protón ácido de los aminoácidos, por lo

## 11. Marco Teórico

tanto la solución queda cargada negativamente. Para neutralizar esta carga negativa hay que añadir protones ( $H^+$ ) proporcionados por un medio ácido. Por esta razón las gelatinas tipo B tienen un punto isoeléctrico en un margen de pH bajo, entre 4,7 y 5,6. (Cubero, 2002).

Un proceso básico de producción de gelatina incluye los pasos mostrados en la Figura 2.3, los cuales se describen en la Tabla 2.3.



**Figura 2.3** Proceso de producción de gelatina (Schrieber y Gareis, 2007).

## II. Marco Teórico

**Tabla 2.3** Descripción de los diferentes procesos de producción de la gelatina.

Proceso	Descripción
<b>Pre-tratamiento</b>	<p><b>Proceso ácido (gelatina tipo A):</b> los huesos o las pieles son tratados en un recipiente que contiene una solución diluida de ácido durante un período de tiempo predeterminado. Posteriormente, el ácido se elimina con agua fría.</p> <p><b>Proceso alcalino (gelatina tipo B):</b> los huesos desmineralizados se colocan en pozos con cal y se sumergen en una suspensión de cal durante un período de 60 días. Como alternativa, para las pieles, se utiliza una solución de soda cáustica durante un período de tiempo más breve. Al finalizar este tratamiento, la materia prima se lava cuidadosamente para remover la solución alcalina residual.</p>
<b>Extracción, purificación y secado</b>	<p>Se utiliza el mismo método de extracción para los procesos del tipo A y B. La extracción se realiza utilizando agua a temperaturas controladas. La solución de gelatina diluida proveniente del proceso de extracción se filtra, desmineraliza y concentra en evaporadores al vacío de efecto múltiple. La solución concentrada se esteriliza, enfría y extrude para formar fideos de gelatina. Estos pasan a través de un túnel de secado donde se secan con aire purificado. La extracción de secado final se muele y luego se somete a pruebas para comprobar su calidad bacteriológica, fuerza de gel, viscosidad y otros parámetros.</p>
<b>Molienda, mezclado y control de calidad</b>	<p>Se muelen y mezclan diferentes extracciones hasta lograr un lote final que asegure que la gelatina cumpla con las especificaciones requeridas. El producto final se somete a pruebas de Aseguramiento de la Calidad de distintos parámetros antes de aprobarlo para su entrega al cliente.</p>

(Schrieber y Gareis, 2007).

### 2.2.2 Textura

De manera general, la textura de un alimento, puede ser definida como el conjunto de atributos, que de un modo subjetivo, son apreciados por los sentidos de la vista, el tacto y el oído, y que hacen referencia a la impresión



## 11. Marco Teórico

---

percibida de su peculiaridad física, debido a una deformación sufrida por el alimento (Anzaldúa, 1994).

Es un concepto muy amplio, que engloba una gran cantidad de propiedades que poseen los alimentos, y que no puede ser definida de una sola manera, sino que al contrario existen muchas definiciones por numerosos autores que estudian el área. Es por ello que Bourne (1982) define la textura como un grupo de propiedades, y no como una propiedad única:

*Las propiedades texturales de los alimentos son ese grupo de características físicas que se derivan de los elementos estructurales de los alimentos, son detectados principalmente por la sensación del tacto, están relacionadas entre sí a la deformación, la desintegración, y el flujo del alimento bajo una fuerza, y se miden objetivamente por las funciones de masa, tiempo y distancia.(Bourne, 1982).*

Las propiedades o características de textura han sido clasificadas en tres categorías: atributos mecánicos, geométricos y de composición. Los primeros dan una indicación del comportamiento mecánico del alimento ante la deformación, y pueden, a su vez, dividirse en primarios y secundarios. Los primarios son los que se correlacionan con una propiedad mecánica, tal como, fuerza, deformación o energía, mientras que los secundarios son los que resultan de la combinación de propiedades primarias (Anzaldúa, 1994).

Los atributos geométricos son aquellos relacionados con la forma o la orientación de las partículas del alimento, mientras que los atributos de composición son los que aparentemente indican la presencia de algún componente en el alimento. Esta descripción se muestra en la Tabla 2.4 (Anzaldúa, 1994).

## II. Marco Teórico

**Tabla 2.4** Clasificación de los diferentes atributos de la textura.

<b>Atributos de Textura</b>		
<b>Mecánicos</b>	<b>Geométricos</b>	<b>De composición</b>
Primarios	Fibrosidad	Humedad
Dureza	Granulosidad	Grasosidad
Cohesividad	Cristalinidad	Sebosidad
Elasticidad	Esponjosidad	Aceitosidad
Adhesividad	Flexibilidad	Resequedad
Viscosidad	Friabilidad	Harinosidad
	Hilosidad	Suculencia
Secundarios	Tersura	Terrosidad
Fragilidad	Aspereza	
Masticabilidad		
Gomosidad		

(Anzaldúa, 1994).

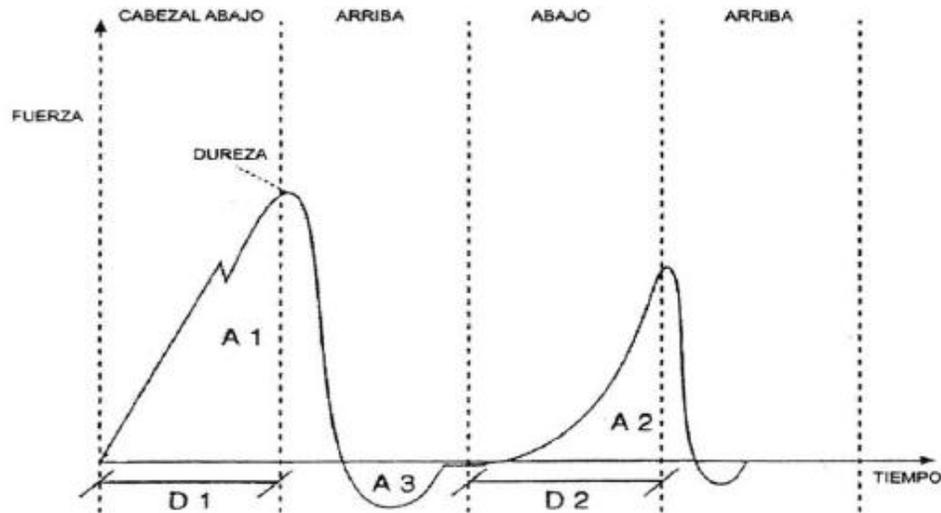
Se presenta una definición general, por parte de Gutiérrez (2000), de los diferentes atributos mecánicos que intervienen en la textura de los alimentos, encontrándose en este grupo, la característica a ser medida en la presente investigación.

### *a) Dureza*

Fuerza necesaria para conseguir en el alimento una deformación determinada. Es un atributo mecánico, que se puede definir sensorialmente como la fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas, si se trata de un sólido, o entre la lengua y el paladar si se trata de un producto semisólido.(Anzaldúa, 1994). Su medición se realiza a través de un texturómetro y es representada gráficamente como la fuerza máxima obtenida durante la primera parte de compresión del ensayo (imitando el primer mordisco), realizando un análisis de perfil de textura. Es identificada como el primer pico durante la primera compresión. Se muestra a continuación el comportamiento esperado al realizar la medición de dureza

## 11. Marco Teórico

en la Figura 2.4, donde la fuerza esta expresada en gramos y el tiempo en segundos.



**Figura 2.4** Curva característica de un análisis de textura para determinar la dureza. Fuente: Gómez (2004).

### *b) Cohesividad*

Fortaleza que mantiene unidos los enlaces internos que existen entre las distintas partículas que integran un alimento.

### *c) Fragilidad*

Fuerza con la que se puede fracturar el material que integra un alimento.

### *d) Masticabilidad*

Energía requerida para masticar un alimento sólido y convertirlo en una forma o situación, adecuada para su deglución.



## 11. Marco Teórico

---

### *e) Gomosidad*

Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido hasta una situación que sea apta para su deglución.

### *f) Adhesividad*

Trabajo necesario para vencer las fuerzas atractivas entre las superficies de los materiales de un alimento puestos en contacto.

### *g) Elasticidad*

Velocidad a la que un alimento, deformado por una fuerza externa, recupera su condición inicial una vez que ha desaparecido la acción de dicha fuerza.

### *h) Viscosidad*

Velocidad con la que fluye un alimento por unidad de energía aplicada, o de fuerza que le obliga a moverse.

### **2.2.2.1 Evaluación instrumental de la textura**

La medición instrumental de la textura es una alternativa a la evaluación sensorial que permite superar los principales inconvenientes y limitaciones de ésta última.

Las propiedades mecánicas de un alimento son estudiadas sometiendo el producto a una fuerza, ya sea de compresión, corte, punción o extrusión, y observando la deformación producida por el esfuerzo correspondiente (Anzaldúa, 1994).

Existe una gran cantidad de métodos instrumentales de medición de textura, pero todos ellos se basan en los siguientes elementos (Anzaldúa, 1994):

- Una punta de prueba, elemento de aplicación del esfuerzo;



## 11. Marco Teórico

---

- Una fuente de movimiento;
- Un elemento registrador.

En general, los métodos instrumentales de medición de textura pueden clasificarse en tres tipos: fundamentales, empíricos e imitativos (Anzaldúa, 1994).

### *a) Métodos fundamentales*

Son aquellos en los que se trata de definir lo más exactamente posible el comportamiento reológico del alimento, establecer las ecuaciones que rigen dicho comportamiento y medir los parámetros y coeficientes involucrados en dichas ecuaciones.

### *b) Métodos empíricos*

Son los más utilizados. Por lo general, las pruebas empíricas son destructivas, aunque también pueden ser de tipo no destructivo, mientras que las fundamentales casi siempre dejan el alimento intacto. En los métodos empíricos se aplica un esfuerzo de cualquier tipo al alimento, ya sea compresión, corte, punción, extrusión, flexión, tensión, etc., y se mide la respuesta del alimento.

### *c) Métodos imitativos*

Entre los instrumentos imitativos se encuentran varios aparatos con los que se trata de simular la acción de los dedos, mano, dientes o incluso la boca, al deformar un alimento para determinar su textura.

### **2.2.2.2 Evaluación Sensorial de la textura**

El Instituto de Alimentos de EEUU (IFT), define la evaluación sensorial como “la disciplina científica utilizada para evocar, medir analizar e interpretar las



## 11. Marco Teórico

---

reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído”.(Hernández, 2005).

Otro concepto que se le da a la evaluación sensorial es el de la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo principalmente (Hernández, 2005).

Las pruebas sensoriales empleadas en la industria de alimentos se dividen en tres grupos (Mackey y col., 1984):

### a) Pruebas de diferencia

Se llevan a cabo en el laboratorio de evaluación sensorial y permiten encontrar diferencias entre dos o más muestras. Las pruebas de diferencia son:

- Muestra de estímulo simple

Comparación entre una muestra bien conocida y otra nueva. A nivel de consumidor se pregunta la aceptabilidad.

- Comparación de pares

Esta prueba comprende la presentación de dos muestras simultáneamente. Por lo general la pregunta formulada es si existe diferencia en cierta característica entre las dos muestras, y si la hay, en cual es de menor o mayor grado.

- Prueba de dúo-trío.

En este tipo de prueba se presenta primero una muestra, la cual tiene que ser identificada por el catador. Posteriormente se presentan dos muestras



## 11. Marco Teórico

---

debidamente codificadas de las cuales una contiene el mismo tratamiento de la muestra inicialmente presentada y la otra muestra en tratamiento diferente. El panelista debe decir cuál de las dos muestras presentadas se parece o es igual a la primera muestra.

- Prueba de triángulo.

Se presentan en forma simultánea tres muestras, de las cuales dos son iguales y una diferente. La diferente tiene que ser identificada por los panelistas.

- Prueba de ordenamiento

Se puede usar cuando se presentan una serie de muestras a los panelistas. Los catadores deben colocar las muestras en orden decreciente para cada característica.

- Pruebas de puntos o calificación

Esta prueba es una de las empleadas en los paneles de evaluación sensorial. Se emplea cuando se quiere determinar si existen diferencias entre una o más muestras con respecto a un control y para estimar el tamaño de las diferencias. Los panelistas miden la diferencia entre una muestra control y una o más muestras problema, empleando una escala estructurada o no estructurada.

- Prueba de perfil

Consiste en hacer un análisis descriptivo en forma compleja de todos los componentes que el catador pueda observar en un alimento o comida. Para este tipo de prueba se requiere del catador un año de entrenamiento como mínimo.



## 11. Marco Teórico

---

- Prueba de umbral

En esta prueba se presenta una serie de muestras que contienen diluciones acuosas de sustancias que representan cada sabor básico, desde una pequeña concentración hasta una gran concentración. A través de estas pruebas se selecciona un grupo de panelistas que posean una gran sensibilidad a un sabor específico.

### b) Pruebas de Preferencia

Este tipo de prueba se realiza a nivel de consumidores, no a panelistas de laboratorio:

- Muestras simples

Se puede entregar sólo una muestra y preguntar sobre su aceptabilidad o grado de gusto.

- Comparación de pares

A nivel de consumidores se usa la prueba de comparación de pares usualmente para determinar la aceptación de un producto sobre otro.

- Pruebas de rangos

Sigue el mismo procedimiento que en las pruebas de diferencia, pero en este caso los panelistas deben ordenar las muestras según su preferencia y no deben anotar más de una para cada casilla.

- Escala hedónica

Se usa tanto en las pruebas de preferencia como en las pruebas de diferencia. La escala hedónica sólo debe decir agradable o desagradable, gusto o disgusto. No se refiere a calidad ni a intensidad.



## 11. Marco Teórico

---

### c) Pruebas descriptivas

Estas pruebas permiten conocer las características del producto alimenticio y las exigencias del consumidor. A través de las pruebas descriptivas se realizan los cambios necesarios en las formulaciones hasta que el producto contenga los atributos que presentan mayor aceptación por parte del consumidor.

Entre las pruebas descriptivas se encuentran las pruebas de perfiles que a su vez se dividen en tres grupos:

- Prueba de perfil de textura

El catador hace un análisis completo de los diferentes componentes de la textura, destacando con más intensidad los dominantes, los cuales son inmediatamente detectados. Le siguen aquellos componentes que por su menor intensidad son percibidos finalmente en el proceso de degustación.

- Prueba de perfil de sabor

Provee un procedimiento descriptivo analítico para la evaluación de sabor, dando al detalle el efecto de pequeños cambios en la composición de un sabor.

- Prueba de consumidores

En este caso la técnica empleada es la de aceptabilidad global. Esta prueba permite tener una visión más amplia del rechazo o no de un producto.

Al llevar a cabo pruebas sensoriales de textura, lo más importante es que quede bien claro para los jueces qué es lo que ellos deben medir. Es difícil describir cosas tan subjetivas como son los atributos sensoriales y hacer que todos los jueces entiendan lo mismo. Para ello es necesario realizar un entrenamiento adecuado de los jueces (Anzaldúa, 1994).



## II. Marco Teórico

---

Todos los integrantes del panel deberían coincidir en la apreciación. A esto se llega después de tres sesiones de entrenamiento donde se aprecian las características de los productos (Mackey y Col., 1984).

### 2.2.3 Relaciones Psicofísicas

Una relación psicofísica es una ecuación (u otro tipo de mecanismo de relación, tal como un nomograma, etc.) que establece una interdependencia entre evaluaciones sensoriales y mediciones físicas para un alimento (Anzaldúa, 1994).

La correlación entre una escala de intensidad y una medición física suele seguir uno de los tres modelos psicofísicos (Bourne, 1982).

1) Modelo lineal: Existe una relación lineal directa entre el estímulo (medido por algún método objetivo) y la respuesta que es la medición sensorial. Puede ser descrito por la ecuación

$$R = AS + B \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde R es la respuesta al estímulo S. A y B son constantes.

2) Relación de Weber-Fechner (semilogarítmica): La respuesta sensorial hace una relación lineal cuando se representa frente al logaritmo del estímulo. Se ha descrito por la ecuación

$$R = A \log S + B \qquad \text{Ecuación 2}$$

Donde R es la respuesta al estímulo S. A y B son constantes.

3) Modelo de Potencia (relación log-log): Este modelo se describe mediante la ecuación



## 11. Marco Teórico

---

$$R = C S^n \quad \text{Ecuación 3}$$

Esta ecuación puede ser reordenada en la forma

$$\log S = \frac{1}{n} \log R - \frac{\log C}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde R es la respuesta al estímulo S, n y C son constantes.

Cada uno de los modelos psicofísicos para correlaciones entre una escala de intensidad y una medición física, han sido aplicados con éxito a determinados sistemas. Existe un debate por parte de los psicólogos en cuanto a cuál es el modelo más adecuado. El consenso actual parece indicar que el modelo logarítmico es el correcto, ya que describe satisfactoriamente la mayoría de las situaciones que se presentan. En otras palabras, una gráfica de logaritmo de la medición objetiva frente al logaritmo de la medición subjetiva será lineal en la mayoría de las circunstancias (Bourne, 1982).

### **2.2.4 Vida Útil**

Los estudios de vida útil para definir la duración de los alimentos son necesarios para no sub o sobre dimensionar el tiempo que realmente dura el producto. La vida útil de un alimento comprende el tiempo transcurrido entre la fabricación y el momento en que se presentan cambios significativos en él, que puedan generar rechazo en el consumidor final. Puede variar según el proceso de producción, la naturaleza del producto y el tiempo de almacenamiento, obteniéndose cambios a niveles microbiológicos, sensoriales y/o físico-químicos (Valencia y Col., 2008).

El tiempo de vida útil se puede estimar mediante varios métodos: pueden tomarse valores reportados en la literatura especializada de alimentos similares y bajo condiciones similares al producto de nuestro interés; se



## 11. Marco Teórico

---

pueden monitorear las quejas de los consumidores para orientar los posibles valores de vida útil; se pueden evaluar atributos de calidad del alimento que varían durante la vida útil en anaquel o mediante pruebas aceleradas (García y Molina, 2008).

Los alimentos son sistemas físico-químicos y biológicamente activos, por lo tanto la calidad de los alimentos es un estado dinámico que se mueve continuamente hacia niveles más bajos. Así pues, para cada alimento particular, hay un periodo de tiempo determinado, después de su producción, durante el cual mantiene el nivel requerido de sus cualidades organolépticas y de seguridad, bajo determinadas condiciones de conservación. Este periodo se define como vida útil (Muzo, 2011).

Los ensayos en anaquel ofrecen excelentes datos, pero presentan, en algunos casos, el inconveniente del tiempo prolongado para su adquisición. Entre las consecuencias están que el dato obtenido es puntual y se obtiene en un lapso que puede no ser práctico para la empresa, como en el caso del lanzamiento de nuevos productos (Valencia y Col.,2008).

### ***2.2.4.1 Importancia de la vida útil***

El conocer la vida de anaquel o vida útil de un alimento o producto alimenticio es de suma importancia tanto para el fabricante como para el consumidor. Al fabricante le permite garantizar la satisfacción del consumidor respecto a su producto, si el mismo es consumido antes de la fecha que indica el final de su vida de anaquel; de este modo pueden disminuirse el número de reclamos. Al consumidor la vida de anaquel le garantiza un nivel aceptable en la calidad del producto ya sea en el momento de su compra o de su consumo. Además, le indica el momento a partir del cual el producto puede presentar un deterioro de su calidad (Menchú, 2005).



## 11. Marco Teórico

---

### 2.2.4.2 Pruebas de aceleración de vida útil (ASLT)

Los estudios de vida útil acelerados, consisten en incubar el alimento bajo condiciones controladas y a diferentes temperaturas. Estas temperaturas deben ser mayores a las de almacenamiento y las de comercialización para permitir que las reacciones de deterioro se aceleren y se obtengan valores en períodos más cortos (García y Molina, 2008).

Las pruebas de aceleración de la vida útil es quizá la metodología más empleada hoy día para calcular la vida útil de un alimento no perecedero o estable. Los resultados obtenidos se usan para proyectar la vida útil del producto bajo las verdaderas condiciones de almacenamiento. Esta técnica se basa en la aplicación de la cinética de la velocidad de Arrhenius, el cual establece que la velocidad de las reacciones químicas se duplica aproximadamente por cada 10°C de aumento de la temperatura. Sin embargo, antes de establecer una sentencia final sobre la validez o exactitud de predicción para una aplicación particular, es necesario examinar una serie general de factores que influyen sobre la vida útil del producto. Estos incluyen: (Restrepo y Montoya, 2010).

- Propiedades estructurales / mecánicas de los alimentos
- Propiedades extrínsecas tales como la temperatura, humedad relativa, atmósfera gaseosa, etc.
- Características intrínsecas como el pH, actividad de agua, disponibilidad de nutrientes, potencial redox (Eh), presencia de antimicrobianos, etc.
- Las interacciones microbianas
- Factores relativos al proceso de elaboración, mantenimiento y manipulación final.

Este método no está exento de problemas. Debe tenerse cautela en la interpretación de los resultados obtenidos y su extrapolación a otras



## 11. Marco Teórico

---

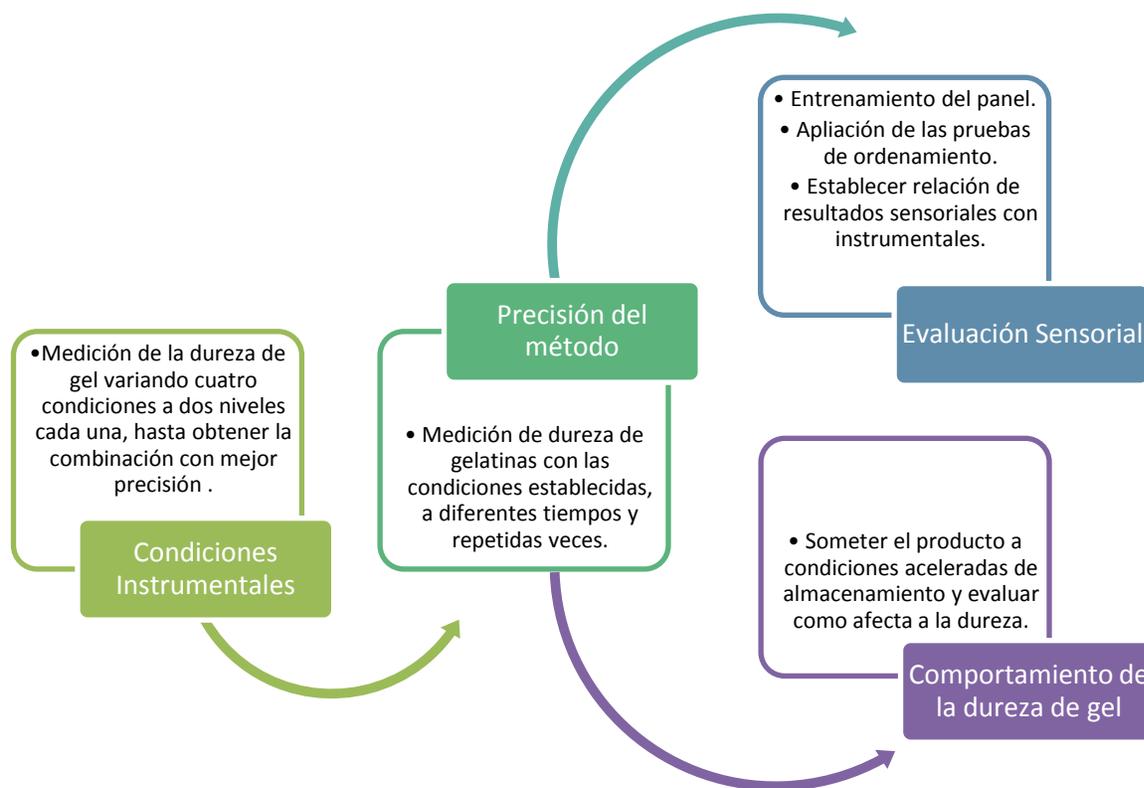
condiciones. Si las condiciones de ASLT son escogidas de forma apropiada, y se usan los algoritmos adecuados para la extrapolación, entonces la vida útil bajo cualquier distribución conocida puede ser predecible (Restrepo y Montoya, 2010).

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

*En esta sección se presentan de forma ordenada y detallada cada una de las actividades que van orientadas al cumplimiento de los objetivos planteados en el trabajo de investigación.*

#### 3.1 Esquema General



**Figura 3.1** Esquema representativo del resumen de actividades a realizar para cumplir con los objetivos establecidos.



### III. Marco Metodológico

#### 3.2 Formulación y preparación de las muestras

Se formuló la mezcla de gelatina en polvo sabor a manzana, utilizando las siguientes materias primas, en las proporciones indicadas en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Cantidades de materia prima empleada según el tipo de gelatina en cuanto a su dureza para la formulación de la mezcla en polvo sabor a manzana.

<b>Ingrediente</b>	<b>Blanda (%)</b>	<b>Firme (%)</b>	<b>Dura (%)</b>
<b>Azúcar</b>	75,9	72,9	66,9
<b>Acidulante</b>	3	3	3
<b>Gelatina 250 Bloom</b>	19	22	28
<b>Neutralizante</b>	0,4	0,4	0,4
<b>Edulcorante Nutritivo</b>	0,4	0,4	0,4
<b>Edulcorante no Nutritivo</b>	0,1	0,1	0,1
<b>Colorantes</b>	0,2	0,2	0,2
<b>Saborizantes</b>	1	1	1

Para la preparación del producto final, al cual le fueron realizadas las mediciones, se agregaron 500 mL de agua a una temperatura de 60 °C y se mezclaron con 80g de la mezcla en polvo, para obtener un litro de solución. Se agitó en una plancha durante 3 minutos a una velocidad de aproximadamente 340rpm, terminado el tiempo de agitación se dejó reposar por 2 minutos, y se agregaron 500 mL de agua a una temperatura de 15°C, se agitó la mezcla durante 2 minutos a una velocidad de 80rpm aproximadamente. Finalmente se dejó reposar durante 4 minutos, verificando que se disolvió toda la gelatina en polvo. Con un cilindro graduado se transfirieron 110 mL de la solución evitando la formación de burbujas en los envases contenedores de vidrio, los cuales se taparon y almacenaron en la nevera a una temperatura entre 6-8 °C durante 6 horas.

## III. Marco Metodológico

### 3.3 Equipo

El equipo a utilizado para el desarrollo del método que permitió medir la dureza en postres de gel, fue un texturómetro modelo TA-XT2, Marca Stable Micro Systems, el cual se muestra en la Figura 3.2. Es aplicable a pruebas fundamentales, empíricas e imitativas, fue diseñado especialmente para alimentos, tiene controles electrónicos muy precisos, su sensibilidad es muy alta, y es muy versátil. Utiliza un programa de computadora para recoger los datos y gráficas guardándolos automáticamente, eliminando la necesidad de un graficador.



**Figura 3.2** Texturómetro modelo TA-XT2 Marca Stable Micro System.

Una de las principales fortalezas del texturómetro es su versatilidad. Se compone de dos módulos separados: el banco de pruebas y la consola de control (teclado). Sus mediciones se basan en fuerza, distancia y tiempo, lo que proporciona tres dimensiones de análisis del producto. Los resultados



### III. Marco Metodológico

pueden ser leídos directamente desde el teclado o transmitido a una impresora o computadora.

El portador de sonda contiene una celda de carga muy sensible, puede ser de 5kg o 25kg de capacidad, con sensibilidades asociadas con cada una de las capacidades de carga de celdas.

La celda de carga tiene sobrecarga mecánica y protección de baja carga y un sistema de control electrónico que detiene el motor de accionamiento cuando una condición de sobrecarga se detecta. La distancia y control de velocidad se consigue utilizando un motor conectado a un tornillo que enrolla el portador de sonda hacia arriba y hacia abajo. Cuando una distancia deseada se alcanza, una señal de interrupción es enviada al microprocesador de modo que responde inmediatamente a realizar la operación siguiente, lo que significa una medición de distancia y control muy precisa.

El equipo consta de los siguientes accesorios correspondientes para el análisis de geles alimenticios mostrados en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Componentes del texturómetro necesario para el análisis de geles alimenticios.

Accesorio	Descripción
<b>Celda de 5Kg</b>	Elemento de aplicación de fuerza
<b>Probeta de 0,5" de radio</b>	Es la fuente de movimiento, que realiza la penetración en la muestra
<b>Base de plástico</b>	Permite la ubicación fija del contenedor
<b>Contenedores</b>	Recipiente de vidrio donde se encuentra la muestra al realizar la medición.

#### 3.4 Medición de la dureza de la gelatina

La medición de la dureza del gel a cada una de las muestras preparadas, se realizaron con el programa Texture Expert, el cual además de realizar el



### III. Marco Metodológico

---

ensayo, permite previamente a la medición, calibrar el equipo en términos de fuerza, usando una pesa calibrada de 2 kg, ésta se coloca en la plataforma del contenedor de la celda de 25 kg, y el programa proporciona los pasos para continuar con la calibración. También se realizó una calibración de sonda, situando la misma lo más próxima a la base sin muestra y con una distancia de retorno de 60 mm, distancia que corresponde a la posición inicial de la probeta, que permite situar la muestra cómodamente de acuerdo a las dimensiones del envase. Una vez realizada la calibración de fuerza y sonda, el equipo se encuentra listo para realizar el análisis a través de un proyecto previamente creado, el cual contiene las acciones que debe realizar el programa para obtener los resultados de la dureza del gel a través de la gráfica fuerza (g) versus tiempo (s). Se cargaron las condiciones de ensayo, las cuales varían para cada uno de los objetivos a alcanzar. La temperatura de ensayo de las muestra se encontraba en el intervalo de 10 a 12 °C. El envase que contenía la muestra se colocó en la base del equipo, verificando que la probeta se encontrara lo más centrada posible con respecto a la muestra. Se comenzó el ensayo, el cual consiste en que la probeta desciende a una velocidad de pre test determinada hasta tener contacto con la muestra, donde al penetrar la misma adquiere una velocidad de test hasta alcanzar la distancia de penetración establecida, retornando a su posición inicial a una velocidad de post test. Una vez terminado el ensayo el programa muestra la gráfica resultante, la cual es la representación de la fuerza aplicada por la celda con las condiciones de velocidad y distancia establecidas.

#### **3.5 Establecimiento de las condiciones instrumentales que permitan la medición de la dureza de gel en postres**

Se realizaron mediciones de dureza de gel a una gelatina preferida por los consumidores, de acuerdo a un diseño de experimentos de tipo factorial con



### III. Marco Metodológico

---

factores a dos niveles, lo que permitió obtener información preliminar, sobre la reacción del fenómeno de ruptura del gel, al variar las intensidades de diferentes factores y comprobar si existe o no interacción entre ellos. Posteriormente se determinó la combinación de éstos factores que permiten obtener la mejor precisión, realizando otro diseño de experimentos factorial.

Con base a estudios anteriores (Lesa y col., 2005) donde se determinó la fuerza de gel, se pudo establecer como modo de ensayo: medida en fuerza de compresión con la opción de regresar al inicio, esto significa que la probeta una vez activada, avanza a la velocidad seleccionada, realiza la compresión en la muestra, hasta que la distancia de compresión ha sido alcanzada, volviendo posteriormente a su posición inicial.

Los factores que se variaron son los siguientes:

1) Velocidad de Pre test: Es la velocidad a la cual la sonda se desplaza, desde el momento de ejecución hasta que tiene el primer contacto con la muestra.

2) Velocidad de test: Corresponde a la velocidad a la cual la sonda penetrara la muestra durante la distancia correspondiente.

3) Velocidad de post test: es la velocidad a la cual la sonda se devuelve al punto de inicio cuando la prueba ha terminado.

4) Distancia: Se refiere a la distancia que penetrara la sonda en la muestra.

Se establecieron los niveles altos y bajo que deberán tomar estas cuatro variables seleccionadas como factores, los cuales se muestran en la Tabla 3.3.

### III. Marco Metodológico

**Tabla 3.3** Niveles establecidos para cada uno de los factores a estudiar.

Factor	Valor bajo	Valor alto
<b>Velocidad de pre-test (mm/s)</b>	0,5	2,0
<b>Velocidad de test (mm/s)</b>	0,5	2,0
<b>Velocidad de post-test (mm/s)</b>	0,5	2,0
<b>Distancia (mm)</b>	4	10

Las corridas ejecutadas según el diseño de experimentos descrito se muestran en la Tabla 3.4, donde aleatoriamente se designaron combinaciones de los cuatro factores con cada uno de los niveles, con un total de 16 corridas por experimento. Se realizaron en dos bloques con un punto central por bloque y dos réplicas del diseño, obteniendo un total de 54 ejecuciones.

**Tabla 3.4** Valores establecidos en las corridas, determinadas en el diseño de experimentos para cada uno de los factores a estudiar en la respuesta de dureza.

Corrida	A	B	C	D
1	0,5	0,5	0,5	4
2	0,5	0,5	2	4
3	2	0,5	0,5	4
4	2	2	2	4
5	0,5	0,5	2	10
6	0,5	2	2	4
7	2	0,5	2	10
8	0,5	2	0,5	4
9	0,5	0,5	0,5	10
10	2	2	0,5	4
11	2	2	2	10
12	0,5	2	0,5	10
13	0,5	2	2	10
14	2	2	0,5	10
15	2	0,5	2	4
16	2	0,5	0,5	10
17	1,25	1,25	1,25	7

A: Velocidad de pre-test (mm/s)      B: Velocidad de test (mm/s)  
 C: Velocidad de post-test (mm/s)      D: Distancia (mm)



### III. Marco Metodológico

En la Tabla 3.5 se muestran las corridas realizadas para determinar los niveles de las condiciones instrumentales que presentan mayor precisión en la medición. De igual forma se trata de un diseño factorial a dos niveles, con los factores que presentaron mayor influencia en el primer diseño. Se realizó una réplica del diseño de forma aleatorizada.

**Tabla 3.5** Valores establecidos en las corridas, determinadas en el diseño de experimentos para cada uno de los factores a estudiar en la respuesta de coeficiente de variación.

Corrida	A	D
1	0,5	4
2	2	4
3	0,5	10
4	2	10

A: Velocidad de pre-test (mm/s)

D: Distancia (mm)

#### 3.6 Determinación de la precisión del método de acuerdo a las condiciones de análisis establecidas.

La evaluación de este parámetro se realizó a través de la repetibilidad y reproducibilidad.

##### 3.6.1 Repetibilidad

Se prepararon muestras idénticas de una gelatina, preferida por los consumidores, con tres niveles distintos de dureza: blando, firme y duro. Para cada nivel se realizaron mediciones de 5 muestras idénticas. Se midió la dureza de gel de cada una de las muestras y se calculó una dureza media, desviación estándar y coeficiente de variación.



## III. Marco Metodológico

### 3.6.2 Reproducibilidad

En esta investigación se aplicó una reproducibilidad dentro del mismo laboratorio, es decir, de manera interna. La condición a variar fueron los días de estudio. En cada uno de los días se prepararon 5 muestras de gelatina para los niveles de dureza blando, firme y duro respectivamente, a las cuales se les midió la dureza de gel diariamente durante 5 días. De igual forma que en la repetibilidad, para cada nivel se hicieron mediciones de 5 muestras iguales. Se midió la dureza de gel de cada una de las muestras y se calculó una dureza media, desviación estándar y coeficiente de variación.

### 3.7 Evaluación de la correlación entre los resultados instrumentales y sensoriales

Primeramente se entrenó un panel sensorial de 8 personas, con experiencia en evaluaciones sensoriales en diversos tipos de alimentos, seleccionadas de acuerdo a su disposición y colaboración. Se proporcionaron diferentes tipos de alimentos que varían en su nivel de dureza, los cuales se encuentran en la Tabla 3.6

**Tabla 3.6** Patrones a utilizados en la evaluación sensorial de dureza para entrenar a los catadores.

Escala	Producto	Código
1	Queso Crema	A
2	Huevo cocido	B
3	Salchicha cruda	C
4	Queso Amarillo	D
5	Maní	E
6	Turrón	F



### III. Marco Metodológico

---

Esto con la finalidad de que los integrantes lograran diferenciarlos, y definir criterio en cuanto a que tan blando o duro se encuentra un alimento. Se pidió a los catadores que asignaran diferentes posiciones en una escala del 1 al 6.

El entrenamiento consto de 3 sesiones, en la primera de ellas, se dio a conocer la importancia de la evaluación sensorial en la industria de alimentos, conceptos de textura, dureza y la terminología asociada a cada tipo de alimento. En las dos sesiones posteriores se aplicó la prueba de ordenamiento que se muestra en el Apéndice C.

Para la interpretación de los datos se recurrió al método de análisis de varianza de datos transformados. En este método se aplica el análisis de varianza pero transformando previamente los datos con escalas sensoriales a valores numéricos según la Tabla 1 que se presenta en el Anexo A (Anzaldúa, 1994).

En dicha Tabla se consultó con el número de tratamiento obteniéndose dos números, los cuales se asignaron a los rangos dados por los jueces, de manera que el total para los jueces sea cero.

En cada sesión de entrenamiento, se entregaron 6 tipos de alimentos con durezas diferentes, para 6 tratamientos, los números correspondientes ubicados en la Tabla de valores numéricos para transformación de datos son: 1,27; 0,64 y 0,20; por lo tanto, a las muestras se les asignaron los valores numéricos como se muestra en la Tabla 3.7.

### III. Marco Metodológico

**Tabla 3.7** Escalas sensoriales transformadas en valores numéricos para los datos del entrenamiento del panel sensorial.

Escala	Valor numérico
<b>1 (menor dureza)</b>	-1,27
<b>2</b>	-0,64
<b>3</b>	-0,20
<b>4</b>	0,20
<b>5</b>	0,64
<b>6 (mayor dureza)</b>	1,27

Luego de tres sesiones, se entregaron 5 muestras distintas de gelatinas, variando la cantidad de gel agregado (Tabla 3.8), lo que generó gelatinas con diferentes grados de dureza. A través de una prueba de ordenamiento, el panelista indicó el nivel al que se encuentra la muestra, desde muy blanda a muy dura. Paralelamente se midió con el texturómetro, con las condiciones ya establecidas, la dureza a muestras preparadas bajo las mismas condiciones. Con los datos recogidos se estableció una correlación matemática entre ambas formas de evaluación de la dureza de gel.

**Tabla 3.8** Cantidad de gelatina agregada para formular las muestras a evaluar sensorialmente con diferentes niveles de dureza.

Cantidad de gelatina agregada	Escala		Código
<b>16%</b>	Muy blando	1	A
<b>19%</b>	Blando	2	B
<b>22%</b>	Firme	3	C
<b>25%</b>	Duro	4	D
<b>28%</b>	Muy duro	5	E



### III. Marco Metodológico

---

#### **3.8 Evaluación de la variación de la dureza de gel con muestras almacenadas a condiciones aceleradas**

Luego de establecer las condiciones de análisis, se sometieron muestras de gelatina en polvo a condiciones de almacenamiento aceleradas, a una temperatura de 37°C.

Se retiraron las muestras de la cámara de estabilidad cada semana, durante un mes, se preparó la gelatina de la forma indicada en la Sección 3.2 y se midió la dureza del gel a través del texturómetro como se describió en la metodología. Esto se realizó con la finalidad de evaluar algún posible cambio del producto en polvo a diferentes temperaturas con respecto al tiempo.

El cambio de la dureza de la gelatina a través del tiempo en diferentes condiciones de almacenamiento se estudió mediante pruebas aceleradas, a través del manual interno de procedimientos para estudios de estabilidad de la empresa.



### CAPITULO IV

#### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

*A continuación se presentan y se analizan los resultados experimentales obtenidos en la realización de las fases metodológicas de la investigación.*

##### 4.1 Establecimiento de las condiciones instrumentales

Para establecer las condiciones instrumentales de operación del texturómetro, que permitiesen obtener resultados válidos y confiables al momento de realizar las mediciones de dureza de una gelatina, se evaluaron aquellas que más influían en el valor resultante, y la combinación que presentaba menor coeficiente de variación. Para ello, se aplicaron diseños de experimentos factoriales  $2^k$ . En un primer diseño se realizaron variaciones en la velocidad de pre test, test, post test y distancia de ensayo, a partir del cual se determinó cuales variables influían significativamente. En un segundo diseño se estudiaron las variables que resultaron significativas en el primer diseño, evaluando la respuesta de la precisión de los resultados obtenidos en términos de coeficiente de variación.

El análisis de varianza, a un nivel de significancia del 95 %, se muestra en la Tabla 4.1. Los resultados reflejan que, con un ajuste de los datos del 94%, los factores distancia y velocidad de pre test tienen un efecto significativo sobre la variable respuesta dureza en términos de fuerza ( $P < 0,05$ ) (Montgomery, 1996).

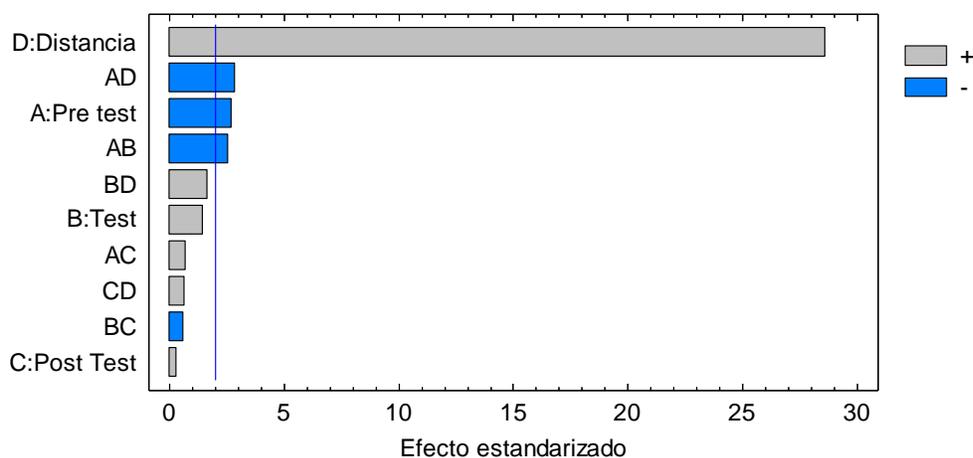
## IV. Análisis y Discusión de Resultados

**Tabla 4.1** Análisis de varianza para la variabilidad de la dureza del gel con cada uno de los efectos, de acuerdo al diseño aplicado.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>A:Pre test</b>	780,321	1	780,321	7,49	0,0091
<b>B:Test</b>	230,09	1	230,09	2,21	0,1448
<b>C:Post Test</b>	10,8852	1	10,8852	0,10	0,7481
<b>D:Distancia</b>	85167,0	1	85167,0	817,34	0,0000
<b>AB</b>	697,489	1	697,489	6,69	0,0132
<b>AC</b>	50,1025	1	50,1025	0,48	0,4919
<b>AD</b>	856,374	1	856,374	8,22	0,0065
<b>BC</b>	38,0956	1	38,0956	0,37	0,5487
<b>BD</b>	288,905	1	288,905	2,77	0,1033
<b>CD</b>	44,5946	1	44,5946	0,43	0,5166
<b>bloques</b>	431,016	1	431,016	4,14	0,0483
<b>Error total</b>	4376,41	42	104,2		
<b>Total</b>	92971,3	53			

Como puede apreciarse los factores principales que influyen significativamente son la velocidad de pre test y la distancia, con valores de p menores a 0,05. Gráficamente este hecho puede evidenciarse con el diagrama de Pareto y el grafico de efectos principales (Figura 4.1 y 4.2)

Diagrama de Pareto Estandarizada para Dureza



**Figura 4.1** Diagrama de Pareto estandarizado para la dureza de la gelatina.

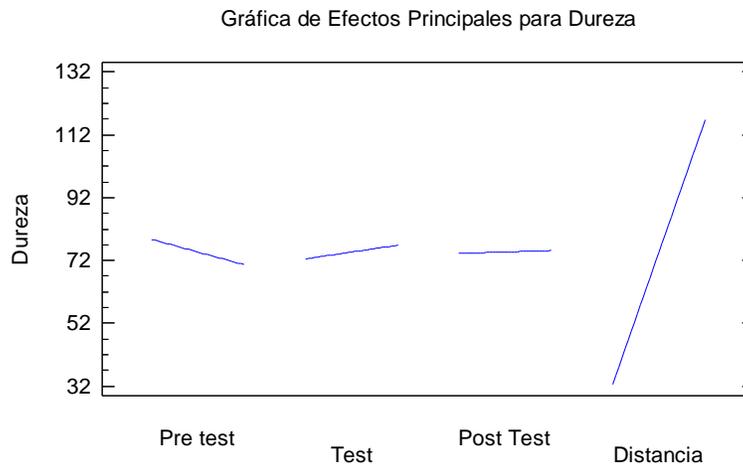


## IV. Análisis y Discusión de Resultados

---

En el diagrama de Pareto (Figura 4.1) se muestra cada efecto transformado a un estadístico-t dividiéndolo entre su error estándar. Esta estandarización de efectos son graficados en orden decreciente de la magnitud absoluta. Debido a que el factor distancia y velocidad de pre test sobrepasan la línea dibujada sobre el grafico, estos efectos son estadísticamente significativos en un nivel de significancia del 95% como se mostró en la Tabla ANOVA. En contraste se observó que las variables restantes velocidad de test y post test no son significativas sobre la variable respuesta, es por ello que los niveles que tomen no tiene relevancia, para fijar estos valores se tomó el criterio del factor tiempo, como se habla de velocidades, cuando estas variables se encuentran en el nivel más bajo el ensayo se ejecuta de una manera más rápida, es por ello que para las variables de velocidad de test y post test se fijaron los valores en 0,5 mm/s cada una (niveles bajos), agilizando así el proceso de medición de todas las muestras.

En el gráfico de efectos principales (Figura 4.2), se observó que la distancia de penetración tiene un efecto positivo sobre la dureza, a medida que aumenta la distancia la dureza también aumenta. Por su parte la velocidad de pre test tiene un ligero efecto negativo, es decir, mientras más rápido desciende la sonda del equipo antes de comprimir la muestra, los valores de dureza que se obtienen son menores.



**Figura 4.2** Tendencia de los efectos principales de la dureza de la gelatina.

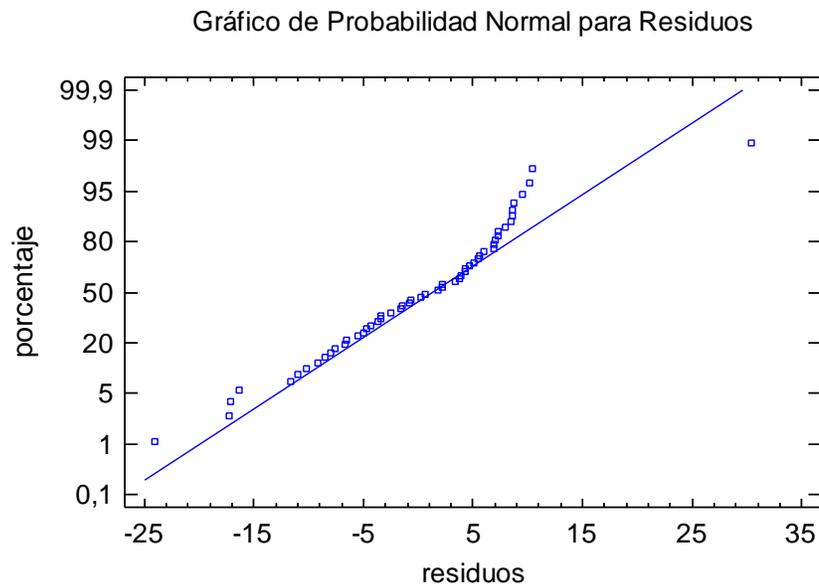
Estos resultados obtenidos en cuanto al comportamiento de la dureza del gel en función del nivel que tomen las variables de estudio, coinciden con investigaciones previas. En su trabajo, Muñoz y Colaboradores, (1986) encontraron que cuando el grado de deformación aumenta, la fuerza requerida para comprimir los geles va aumentando, observándose una dependencia lineal ascendente en el gráfico de fuerza en función del porcentaje de compresión. En una investigación semejante, Boyd y Sherman (1975) al someter las muestras de gelatina en tableta a medianos porcentajes de compresión, obtuvieron que su fuerza de gel aumenta a medida que aumenta el porcentaje de compresión.

De igual forma Cui y Colaboradores, (2011) determinaron en su trabajo que la fuerza de resistencia contra la sonda aumenta con el incremento de la deformación antes de su fractura, lo que conduce a valores de dureza más altos para muestras de gel a base de hierbas con la misma concentración.

La descomposición de la variabilidad presente en las observaciones mediante la identidad del análisis de varianza es una relación puramente

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

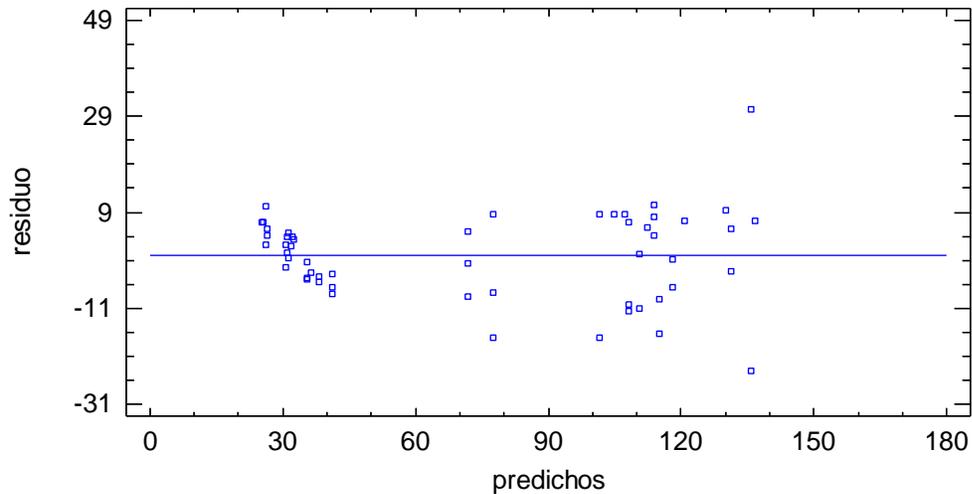
algebraica. Sin embargo, el uso de la partición para probar formalmente diferencias en las medias de los tratamientos requiere que se satisfagan ciertos supuestos. Específicamente, estos supuestos son que el modelo describe de manera adecuada las observaciones, y que los errores siguen una distribución normal e independiente con media cero y varianza constante pero desconocida (Montgomery, 1996). La verificación del supuesto de normalidad se realizó a través del gráfico de probabilidad normal de residuos (Figura 4.3). Dicha grafica arrojo una distribución normal adecuada, pues los puntos siguen la tendencia de una línea recta, prestándose mayor atención en los valores centrales que en los extremos (Montgomery, 1996).



**Figura 4.3** Probabilidad normal de los residuos sobre la dureza del gel.

Para comprobar la suposición de la igualdad de la varianza de los datos se empleó el grafico de residuos mostrado en la Figura 4.4

Gráfica de Residuos para Dureza



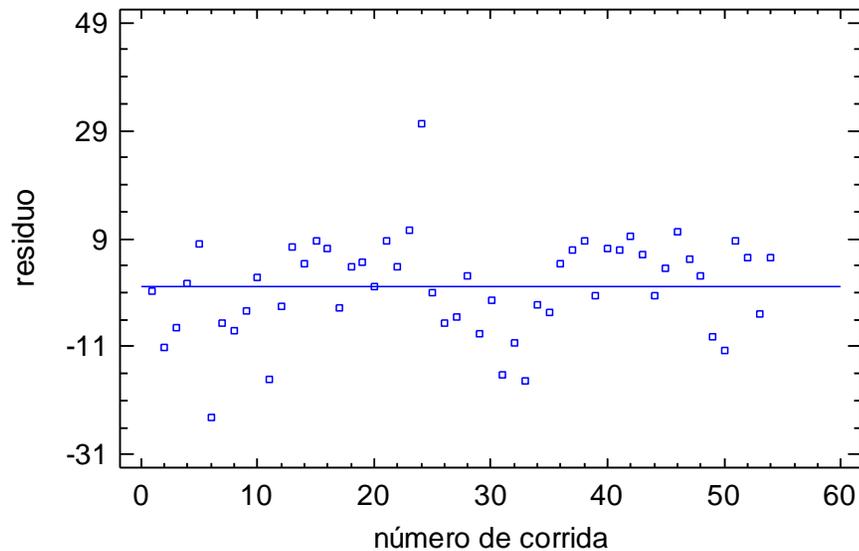
**Figura 4.4** Gráfico de residuos en función de los predichos para la dureza del gel.

Se observó la variación aleatoria de los residuales alrededor de la línea sin cambios definidos en la magnitud de los residuales de izquierda a derecha, señal de que la varianza del error experimental no varía en el nivel promedio de la respuesta.

La aleatorización adecuada del experimento es un paso importante para conseguir independencia (Montgomery, 1996). Se examinó el supuesto de independencia al graficar los residuos versus el orden de corrida en que estos han sido recopilados, lo cual se muestra en la Figura 4.5. Se observó la distribución al azar de los datos, atribuidos al error aleatorio solamente, sin la presencia de un patrón que pudiese indicar una tendencia en el tiempo u otro efecto.

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

Gráfica de Residuos para Dureza



**Figura 4.5** Gráfico de los residuales en función del número de corrida de los experimentos en la determinación de la dureza de la gelatina.

Una vez determinado que las variables influyentes en la respuesta, son la distancia y la velocidad de pre test, se procedió a realizar un nuevo diseño de experimentos tomando en cuenta solo estas dos variables, formando un diseño factorial  $2^2$ . Debido a la ausencia de una gelatina patrón, con dureza conocida, que permita establecer la mejor combinación de estos factores para acercarse al valor deseado, se tomó como variable respuesta el coeficiente de variación de las medias de las mediciones de la dureza de las muestras de gelatina.

A partir de este diseño se determinó que niveles son los más adecuados para la distancia y velocidad de pre test, según el nivel que presentó menor coeficiente de variación. Se observó que ninguno de los factores afecta significativamente el coeficiente de variación, debido a que todos los valores de p son superiores a 0,05 (Tabla 4.2).

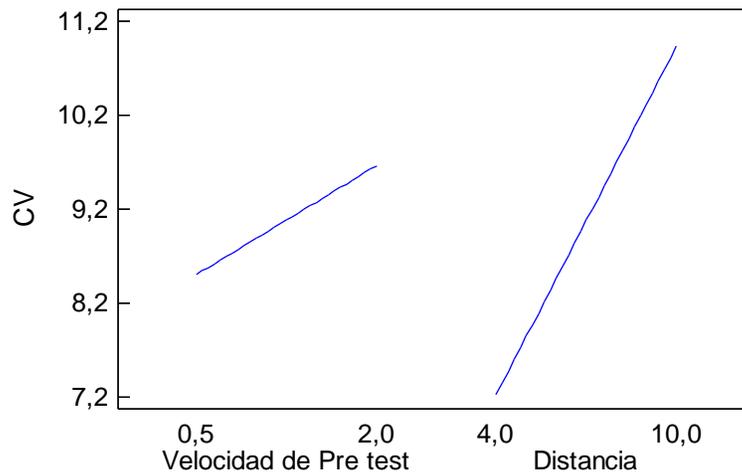
## IV. Análisis y Discusión de Resultados

**Tabla 4.2** Análisis de varianza para el coeficiente de variación de las mediciones de la dureza de la gelatina de acuerdo al diseño aplicado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>A:Velocidad de Pre test</b>	2,70017	1	2,70017	0,29	0,6254
<b>B:Distancia</b>	27,5133	1	27,5133	2,99	0,1820
<b>AB</b>	4,38788	1	4,38788	0,48	0,5392
<b>bloques</b>	9,28955	1	9,28955	1,01	0,3887
<b>Error total</b>	27,5638	3	9,18793		
<b>Total</b>	71,4547	7			

Se pudo observar que se obtiene menor coeficiente de variación cuando los niveles de distancia y velocidad de pre test se encuentran en el nivel más bajo (Figura 4.6). Debido a que cuando se obtienen coeficientes de variación bajos, la media posee una mayor representatividad, estos niveles que arrojan menores coeficientes de variación fueron los seleccionados para desarrollar el método.

Gráfica de Efectos Principales para CV



**Figura 4.6** Tendencia de los efectos principales del coeficiente de variación de la dureza de la gelatina.



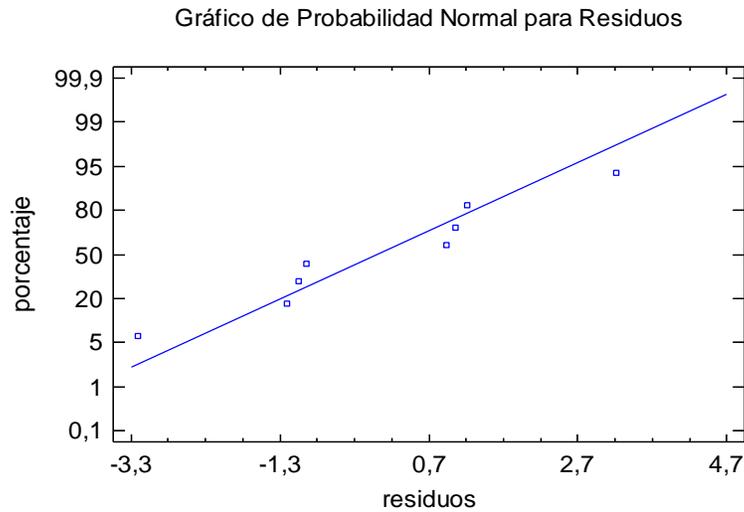
## IV. Análisis y Discusión de Resultados

---

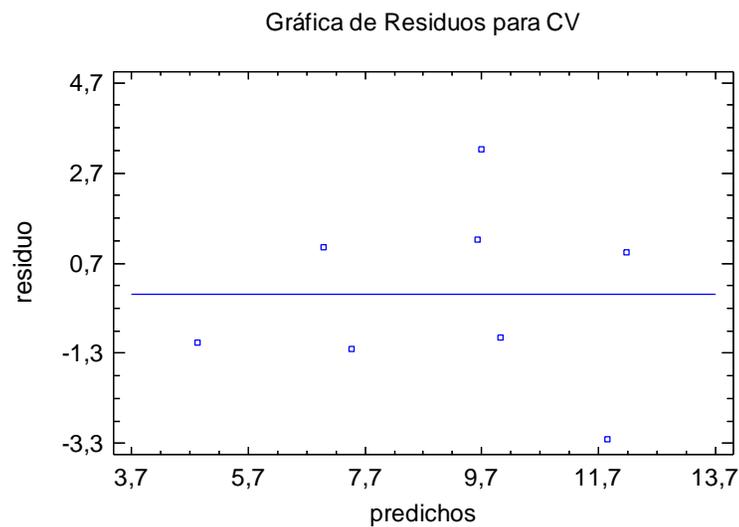
En una revisión de TPA en sistemas gelificados por Pons y Fiszman (1996), observaron que existe un acuerdo general de que el aumento de la velocidad de la compresión conduce a un aumento en la dureza, y concluyó que a menor velocidad de compresión, la muestra tiene más tiempo para relajarse y disipar la fuerza aplicada. Además, Rosenthal (2010) realizó un estudio utilizando un gel de almidón-glicerol con las velocidades de compresión de 0,1 a 10 mm/s, y los resultados indican una relación logarítmica entre las velocidades de compresión y la dureza. Por lo tanto los niveles de las condiciones instrumentales que presentan menor variabilidad en los resultados y por ende son los más adecuados para realizar las mediciones de la dureza en la gelatina, son aquellos que poseen los valores bajos, para las velocidades el nivel bajo corresponde a 0,5 mm/s y para la distancia 4mm.

La verificación de la adecuación del modelo fue exitosa, la cual se realizó con la revisión de los supuestos de normalidad y homocedasticidad (igualdad de varianzas) a través de los gráficos de probabilidad normal y residuos versus predichos como se muestra en las Figuras 4.7 y 4.8. El análisis correspondiente se desarrolló de igual forma que en el diseño anterior. Cabe destacar que el supuesto de independencia no se verificó, ya que la variable respuesta no se obtuvo directamente de una medición instrumental sino de un cálculo matemático a partir de varias lecturas, por lo que no tiene sentido graficar los residuales en función del orden temporal de la recolección de los datos, cuando no hubo una corrida experimental sino un tratamiento matemático para obtener la respuesta.

## IV. Análisis y Discusión de Resultados



**Figura 4.7** Probabilidad normal de los residuos sobre el coeficiente de variación de la dureza de la gelatina.



**Figura 4.8** Gráfico de residuos en función de los predichos para el coeficiente de variación de la dureza del gel.

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

### 4.2 Determinación de la precisión del método de acuerdo a las condiciones de ensayo establecidas

Los resultados obtenidos de cinco mediciones diferentes para cada una de las muestras con niveles distintos de dureza durante cinco días se muestran en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Coeficientes de variación obtenidos para la repetibilidad y precisión intermedia junto con las medias experimentales obtenidas en la determinación de dureza en muestras de gelatina.

Dureza cualitativa	Repetibilidad (CV)%	Precisión intermedia (CV)%	Dureza ( $\bar{x} \pm s$ ) (g)
Blanda	3,968	3,275	15,9±0,6
Firme	2,998	2,440	20,8±0,6
Dura	3,939	2,476	28±1

Tal y como señala Castro (2007), los parámetros texturales pueden tener mucha variabilidad, considerándose precisos los valores de coeficiente de variación menores al 10%.

Para los tres niveles de gelatina, blando, firme y duro los coeficientes de variación se encuentran por debajo del 10% indicando que el método es preciso en cuanto a la cercanía entre los resultados de las mediciones sucesivas de la dureza del gel, efectuadas bajo las mismas condiciones de medición, es decir en cuanto a la repetibilidad.

De igual forma, para el análisis de reproducibilidad, los coeficientes de variación no superan el límite de 10% establecido por Castro (2007), lo que significa que los resultados de las mediciones de la dureza del gel se mantienen a través de los diferentes días de análisis, es decir que el método es preciso con respecto a la reproducibilidad de sus datos.



## IV. Análisis y Discusión de Resultados

Por otra parte, se evaluó si los resultados arrojados para el estudio de repetibilidad y reproducibilidad difieren entre sí a través de un contraste F de dos colas. Los valores de los F calculados para cada una de las varianzas muestrales para las gelatinas blandas, firmes y duras, resultaron ser 1,56; 1,50 y 2,55 respectivamente. Comparando estos valores con el F crítico de la Tabla 2 del Anexo A, se obtuvo que los F calculados no superan al F crítico ( $F_{4,4} = 9,605$ ), por tanto no hay diferencias significativas en cuanto a la precisión determinada por repetibilidad y reproducibilidad, lo cual significa que el método es robusto.

El método de análisis empleado en esta investigación para la medición de dureza en muestras de gelatinas, bajo las condiciones establecidas en cuanto a velocidades y grado de compresión, es preciso, aportando datos reproducibles y con buena repetibilidad.

### 4.3 Evaluación de la dureza del gel a través de pruebas sensoriales

#### 4.3.1 Entrenamiento del panel

Se llevó a cabo el entrenamiento del panel sensorial según la metodología descrita en la Sección 3.6. La prueba de ordenamiento, permitió la evaluación de un número elevado de muestras de manera rápida y sencilla. Los integrantes del panel coincidieron en la apreciación después de las tres sesiones de entrenamiento.

Se modificaron los datos de la evaluación sensorial de acuerdo a lo descrito en la Sección 3.6 y se aplicó el análisis de varianza junto con el cálculo de la diferencia mínima significativa por medio de la prueba de Tukey, permitiendo comparaciones múltiples entre todos los pares de medias usando la t de Tukey. Los resultados se muestran en la Tabla 4.4 y 4.5.

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

**Tabla 4.4** Análisis de varianza para las calificaciones de dureza de los diferentes alimentos empleados en el entrenamiento del panel.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>Efectos principales</b>					
<b>A:Muestras</b>	38,815	5	7,763	143,47	0,0000
<b>B:Jueces</b>	0,0	9	0,0	0,00	1,0000
<b>Residuos</b>	2,43498	45	0,0541107		
<b>Total</b>	41,25	59			

**Tabla 4.5** Prueba de múltiples rangos para las calificaciones de dureza de los diferentes alimentos en el entrenamiento del panel.

Contraste	Diferencia	+/- Límites
<b>A - B</b>	-0,63	0,309606
<b>A - C</b>	-1,23	0,309606
<b>A - D</b>	-1,31	0,309606
<b>A - E</b>	-2,099	0,309606
<b>A - F</b>	-2,351	0,309606
<b>B - C</b>	-0,6	0,309606
<b>B - D</b>	-0,68	0,309606
<b>B - E</b>	-1,469	0,309606
<b>B - F</b>	-1,721	0,309606
<b>C - D</b>	-0,08	0,309606
<b>C - E</b>	-0,869	0,309606
<b>C - F</b>	-1,121	0,309606
<b>D - E</b>	-0,789	0,309606
<b>D - F</b>	-1,041	0,309606
<b>E - F</b>	-0,252	0,309606

Los pares donde el valor absoluto de la diferencia entre las medias es mayor al límite de diferencia mínima significativa, se consideran significativos estadísticamente al 95% de confianza. Lo que quiere decir que entre estos pares de muestras los panelistas logran detectar las diferencias en cuanto al nivel de dureza.

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

Según los resultados los jueces agrupan las muestras en 4 grupos como se muestra en la Tabla 4.6.

**Tabla 4.6** Grupos homogéneos para las calificaciones de dureza de los diferentes alimentos en el entrenamiento del panel.

Muestras	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
A	-1,27	0,07356	X
B	-0,64	0,07356	X
C	-0,04	0,07356	X
D	0,04	0,07356	X
E	0,829	0,07356	X
F	1,081	0,07356	X

Se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. Entre las muestras C y D, salchicha y queso amarillo respectivamente, el panel no logro detectar diferencias significativas, estas muestras se encuentran en los niveles de firmes. Sin embargo el panel detecto diferencias entre este grupo y el siguiente grupo E y F, maní y turrón respectivamente, los cuales se encuentran en los niveles duros. Entre los niveles blandos, el panel si noto diferencias significativas, A y B, queso crema y huevo cocido, formándose así los cuatro grupos homogéneos que se presentaron en la Tabla 4.6. Los jueces se encuentran muy bien entrenados para detectar diferencias entre muestras blandas muy cercanas entre sí, pero no para muestras firmes y duras que presentan una sola diferencia en cuanto a la escala sensorial. Sin embargo puede diferenciar satisfactoriamente entre los tres niveles más importantes para la evaluación de dureza: blando, firme y duro.

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

### 4.3.1 Evaluación sensorial de la dureza de la gelatina

La prueba de ordenamiento para la evaluación sensorial de muestras de gelatina con diferentes niveles de dureza, permitió obtener resultados muy satisfactorios con respecto a la ubicación en orden creciente de acuerdo a la dureza de las muestras de gelatina.

De igual forma que en el entrenamiento, se aplicó el análisis de varianza de datos transformados para el tratamiento de los datos. Los resultados del ANOVA y de la prueba de múltiples rangos de Tukey se muestran en la Tabla 4.7 y 4.8 respectivamente.

**Tabla 4.7** Análisis de varianza para las calificaciones de dureza de las diferentes muestras de gelatina evaluadas sensorialmente.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>Efectos principales</b>					
<b>A:Muestras</b>	24,7673	4	6,19183	227,43	0,0000
<b>B:Jueces</b>	0,0	7	0,0	0,00	1,0000
<b>Residuos</b>	0,7623	28	0,027225		
<b>Total</b>	25,5296	39			

**Tabla 4.8** Resultados de la prueba de múltiples rangos de Tukey para las calificaciones de dureza de las diferentes muestras de gelatina.

Contraste	Diferencia	+/- Límites
A - B	-0,66	0,240406
A - C	-1,16	0,240406
A - D	-1,7425	0,240406
A - E	-2,2375	0,240406
B - C	-0,5	0,240406
B - D	-1,0825	0,240406
B - E	-1,5775	0,240406
C - D	-0,5825	0,240406
C - E	-1,0775	0,240406
D - E	-0,495	0,240406

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

Entre todas las muestras existe diferencia significativa, ya que, para todas las diferencias entre las muestras los valores son superiores a los límites, lo cual significa que para los evaluadores sensoriales todas las muestras son diferentes y fueron ordenadas de la manera adecuada de acuerdo a su dureza. Se han identificado 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que no comparten una misma columna de X's como se puede observar en la Tabla 4.9.

**Tabla 4.9** Grupos homogéneos para las calificaciones de dureza de las diferentes muestras de gelatina.

Muestras	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
A	8	-1,16	0,0583363	X
B	8	-0,5	0,0583363	X
C	8	0,0	0,0583363	X
D	8	0,5825	0,0583363	X
E	8	1,0775	0,0583363	X

El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

Los panelistas lograron identificar las diferencias en las muestras de gelatina con respecto al grado de dureza según la cantidad de gel agregado, lo que indica que el entrenamiento del panel fue satisfactorio y los resultados aquí obtenidos son válidos para establecer una correlación con los resultados de las mediciones instrumentales de las mismas muestras de gelatina.

La percepción por parte de los consumidores del estímulo físico, como lo es la fuerza necesaria para comprimir entre la lengua y el paladar la muestra de gelatina se debe principalmente a la relación de la información recibida

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

por los sentidos, denominados también como órganos receptores periféricos, los cuales codifican la información y dan respuesta, de acuerdo a la intensidad, duración y calidad del estímulo.

### 4.4 Relación entre la evaluación sensorial e instrumental

La evaluación instrumental de la textura fue propuesta como una alternativa a la evaluación sensorial con el fin de superar los principales inconvenientes y limitaciones de ésta última: la gran variabilidad que puede existir en los resultados, la dificultad en la ejecución de las pruebas y las peculiaridades de la interpretación de los resultados. Sin embargo, la evaluación sensorial sigue siendo la mejor forma de apreciar esta propiedad. Además, es necesario que las medidas obtenidas con métodos instrumentales puedan correlacionarse con respuestas de jueces de análisis sensorial para que el uso de una técnica instrumental sea válido y confiable (Anzaldúa, 1994).

Los valores presentados en la Tabla 4.10, corresponden a la correlación de las mediciones instrumentales con las escalas sensoriales/

**Tabla 4.10** Valores obtenidos a través de mediciones instrumentales correspondientes al promedio de escala sensorial calificada por un panel entrenado para diferentes formulaciones de gelatina.

Cantidad de gel (%)	Medición Instrumental	Evaluación Sensorial
16	12,977	1
19	19,378	2
22	23,138	3
25	26,546	4,1
28	34,072	4,9



## IV. Análisis y Discusión de Resultados

A partir de las calificaciones obtenidas de la evaluación sensorial y la correlación de las mismas con las medidas instrumentales de muestras de gelatina con diferentes grados de dureza, se observó que entre todos los valores la mínima diferencia instrumental que logra detectar el panel es de 3,4 unidades de dureza, encontrándose dicha diferencia en la resta de los valores instrumentales que corresponden a las calificaciones sensoriales 4,1 y 3. Para medidas cuyas diferencias sean inferiores a estas el panel considera que las muestras son iguales en cuanto a su dureza.

Al sospechar que pudiera existir una relación entre el atributo sensorial y el parámetro físico, lo primero que se hizo fue graficar los pares de datos obteniendo un diagrama de dispersión. Se probó la gráfica tanto en ejes aritméticos como semilogarítmicos y logarítmicos, observando que esta última fue la que presentó mejor correlación, la cual está representada por la ecuación 4 de la Sección 2.2.3.

La Figura 4.9 muestra la mejor relación lineal con ejes logarítmicos de los resultados de la dureza de la gelatina obtenidos instrumentalmente mediante el texturómetro y los resultados obtenidos sensorialmente por el panel entrenado para cinco muestras con diferentes niveles de dureza. Se observó una pendiente pronunciada en el rango de interés y un pequeño grado de dispersión.

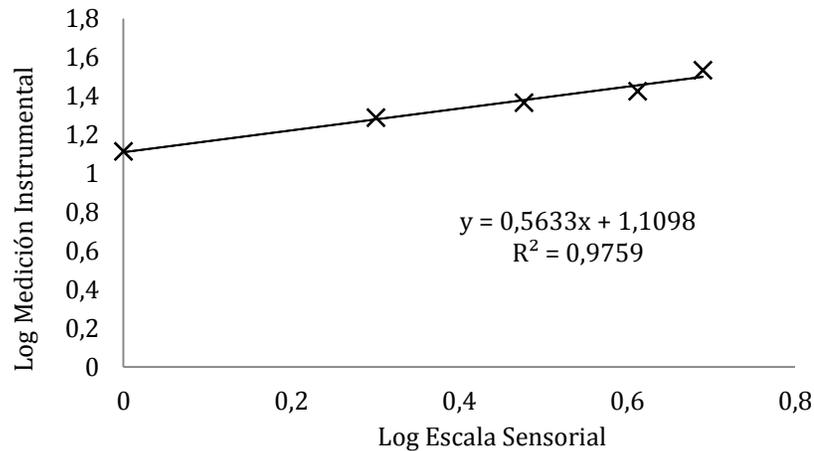
Mediante el análisis de regresión lineal, se obtuvo una relación satisfactoria, con un coeficiente de determinación de 0,9759, indicando un alto porcentaje de ajuste con el modelo lineal. Existe una alta proporción (del 98%) de variación en común entre las dos formas de evaluación de la dureza lo cual da fortaleza a la correlación. Esta relación estadísticamente significativa se corrobora con el valor de P que se muestra en la Tabla 4.10, el cual es menor que 0,05 con un nivel de confianza del 95%.

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

**Tabla 4.11** Análisis de varianza para la correlación entre la evaluación instrumental y sensorial de la dureza de la gelatina.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>Modelo</b>	0,0964206	1	0,0964206	121,53	0,0016
<b>Residuo</b>	0,0023801	3	0,000793368		
<b>Total</b>	0,0988007	4			

Cuando el coeficiente de correlación de determinación entre la prueba del instrumento y la puntuación sensorial se encuentra entre 0,81-1,00 la prueba instrumental es buena y se puede utilizar con confianza como un factor predictivo de la puntuación sensorial (Bourne, 1982).



**Figura 4.9** Gráfico del logaritmo de dureza instrumental versus el logaritmo de los niveles de dureza evaluados sensorialmente.

El valor numérico del exponente  $n$  presente en la ecuación del modelo de potencia es un índice del grado de compresión o expansión de la escala física por los sentidos. Cuando  $n > 1,0$  hay una expansión de la escala, es decir, un aumento de diez veces en el estímulo (medido por algún método

## IV. Análisis y Discusión de Resultados

objetivo) dará más de un aumento de diez veces en la respuesta sensorial (Bourne 1982).

Para la correlación entre la dureza medida instrumentalmente y sensorialmente, se obtuvo a partir de la pendiente de la recta de la Figura 4.10 un valor de  $n = 1,7326 > 1,0$  se tiene entonces una expansión de la escala física, lo cual permite una amplia gama de estímulo para ser expandido en uno más grande y más manejable para los sentidos, ya que se presenta dificultad ante los panelistas al intentar diferenciar niveles de dureza que se encuentran muy cercanos entre sí.

De esta manera se puede afirmar que el panel sensorial es sensible a los cambios en la dureza de muestras de gelatinas y la medida instrumental de la dureza del gel mediante el texturómetro reproduce de manera eficiente las sensaciones en el paladar referidas a la firmeza de este producto.

### 4.5 Estudio del comportamiento de la dureza de gel a condiciones aceleradas de almacenamiento del producto en polvo

El análisis de varianza de los valores de la dureza de muestras de gelatina como resultado de la exposición del producto en polvo a condiciones de abuso como lo fue una temperatura de 37°C durante 4 semanas se muestra en la Tabla 4.11.

**Tabla 4.12** Análisis de varianza para los valores de dureza de muestras de gelatina almacenadas durante 4 semanas a una temperatura de 37°C.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	28,4375	4	7,10936	15,52	0,0003
Intra grupos	4,58068	10	0,458068		
Total	33,0181	14			



## IV. Análisis y Discusión de Resultados

---

El valor-P de la prueba-F indica que existe una diferencia significativa de la dureza de la gelatina en cada semana, lo que quiere decir que se rechaza la hipótesis nula de que la dureza de la gelatina es igual para todas las semanas en las cuales el producto se mantuvo almacenado a 37°C. A medida que pasa el tiempo la fuerza necesaria para comprimir el postre de gelatina a 4 mm con las condiciones instrumentales establecida se hace más grande, lo que se interpreta como un aumento de su dureza a condiciones aceleradas.

A pesar de que se aplicó una metodología propia de un análisis de vida útil, el objetivo de este trabajo no fue determinar esta última, sino evaluar si existía un cambio en la dureza a través del tiempo que es la propiedad de la gelatina de interés en el presente estudio. Debido al factor tiempo, surgió la necesidad de acelerar el periodo de almacenamiento del producto a través del aumento de la condición de temperatura, basándonos en el manual interno de procedimientos para estudios de estabilidad, para una temperatura de 37° C se estima que el tiempo equivalente al real es de 12 meses.

No se determinó la vida útil por varios factores, en principio, la dureza de la gelatina no es necesariamente el indicador de deterioro del producto, el cual se determina a través de un largo estudio de diferentes factores, donde el primero en causar un deterioro es el que indicara cual es el tiempo de vida útil del producto. Es decir, para un producto como la gelatina, la dureza no es la variable cuyo cambio es el primero que identifica el consumidor o una norma como una disminución en la calidad del alimento, por su parte, esta variable puede ser, cambios en el color y sabor principalmente o cambios fisicoquímicos y microbiológicos. Posteriormente es necesario analizar el enfoque cinético y decimal de la prueba acelerada de estabilidad, para ello el producto debe alcanzar su punto crítico de acuerdo al indicador de deterioro seleccionado, lo cual requiere igualmente de un periodo de tiempo más prolongado.



## IV. Análisis y Discusión de Resultados

A pesar de que el estudio de estabilidad indica que instrumentalmente las mediciones de dureza cambian a través del tiempo, sensorialmente no ocurre lo mismo. En la Tabla 4.13 se muestran los promedios de estas mediciones de dureza para cada semana.

**Tabla 4.13** Promedio de los valores de dureza medidos instrumentalmente durante 4 semanas para muestras almacenadas a 37°C.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Dureza ( $\bar{x} \pm s$ ) (g)	17,6±0,9	18,6±0,3	17,8±0,7	20,4±0,6

La máxima diferencia entre las medidas de dureza instrumental realizadas semanalmente corresponde a la resta de los valores obtenidos en la primera semana y la última semana, la cual resulta ser de 2,8. Como se explicó anteriormente en la Sección 4.4 esta discrepancia no puede ser detectada por el panel de acuerdo al entrenamiento recibido. Es decir, para el panel sensorial una muestra en polvo de gelatina almacenada en condiciones aceleradas de 37°C no presenta diferencias en la dureza del producto final en forma de postre durante un tiempo de almacenamiento equivalente a 12 meses aproximadamente.



### CAPITULO V

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

*A continuación se exponen las conclusiones más importantes procedentes de los resultados obtenidos en la presente investigación, así como las recomendaciones para posteriores investigaciones con respecto al tema.*

##### 5.1 Conclusiones

1. Las condiciones instrumentales que afectan significativamente la variación de la dureza de la gelatina son la velocidad de pre test y la distancia de compresión de la muestra.
2. Los niveles más bajos de las condiciones instrumentales son los que presentan los coeficientes de variación más bajos en la medición de la dureza del gel. Para la velocidad de pre test, velocidad de test, velocidad de post test y distancia, los valores que deben tomar para una menor variación en las mediciones son: 0,5 mm/s; 0,5 mm/s; 0,5 mm/s y 4mm respectivamente.
3. El método de ensayo para medir la dureza en gelatinas, con las condiciones instrumentales que presentan menor variación, se trata de un método preciso en cuanto a repetibilidad y reproducibilidad se refiere, con variaciones menores al 10 %.



## V. Conclusiones y Recomendaciones

---

4. El panel entrenado para la evaluación de la dureza de los alimentos, es adecuado para diferenciar entre alimentos blandos firmes y duros con más de una escala de diferencia.

5. La evaluación sensorial de los alimentos presenta una alta correlación (98%) con las mediciones instrumentales de la dureza de la gelatina.

6. La dureza de la gelatina determinada a través de un texturómetro cambia con el tiempo de almacenamiento.

### 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda un entrenamiento del panel más exhaustivo, donde se afinen los rangos de dureza en el cual se encuentra el producto en estudio.
- En cuanto a los estándares de alimentos usados en el entrenamiento sensorial de la dureza, es recomendable usar patrones más definidos con respecto a su textura.
- Es importante que se realice un estudio más profundo de los cambios de la dureza de la gelatina con el tiempo de almacenamiento del producto. Determinando cual es el indicador de deterioro de la gelatina, que permita evaluar su vida útil, y realizando los estudios en tiempo real y no acelerados.



### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anzaldúa, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y práctica*. Zaragoza: Acribia, S.A.

Belitz, H; Grosch (1997). *Química de los Alimentos*. (2da edición). Zaragoza: Acribia, S.A.

Bourne, M. (1982). *Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Food Science Technology*. (2da edición) New York: Academic Press.

Boyd, J; Sherman, P. (1975). A study of force compression conditions associated with hardness evaluation in several foods. *Journal of Texture Studies*, 6 (4), 507-522.

Castro, E. (2007). *Parámetros mecánicos y textura de los alimentos*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Charley, H. (1997). *Tecnología de Alimentos*. Mexico: Limusa

Cubero, N; Monferrer, A., Villalta, J. (2002). *Tecnología de Alimentos. Aditivos alimentarios*. Madrid: Mundi-Prensa.

Cui, S; Yu, K; Hu, Z; Wei, G. (2011). Texture profile of Herbal gel affected by instrumental parameters and correlations of instrumental and sensory evaluation. *Journal of Texture Studies*, 42(5), 349-358.

De Hombre, R.; Rodríguez, I Y Jorge. C. (1998). *Estudio de correlación instrumento-sensorial de la textura de barras de chocolate*. 1º Coloquio Internacional de Propiedades Físicas de alimentos y Calidad, La Habana, Cuba.

Fellers, C; Griffeths, F. (1928). Jelly- Strength Measurements of Fruit Jellies by the Bloom Gelometer. *Industrial and Engineering Chemistry*, 20 (8), 857-859.

García, C; Molina, M. (2008). *Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas*. Tesis de Grado. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.



## Referencias Bibliográficas

---

Gutiérrez, J. (2000). *Ciencia Bromatológica, Principios generales de los Alimentos*. Madrid: Díaz de Santos, S.A

Hernández, E. (2005). *Evaluación Sensorial*. Curso Tecnología de Cereales y Oleaginosas. (1era edición). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogota.

Lesá, C; Tissoco, O; Markiewicz, G; Williman, C; Silva, G; Valverde, L. (2005) *Ensayos texturales en diferentes tipos de geles*. Universidad Nacional de Entre Ríos. Concordia.

Mackey, A; Flores, I; Sosa, M. (1984). *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. (2da edición). CIEPE San Felipe:

Menchú, C. (2005). *Determinación de vida de anaquel aceleradas de carne fresca de cerdo empacada en atmosfera modificada*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Montgomery, D. (1996). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Mexico: Limusa.

Muñoz, A; Pangborn, R; Noble, A. (1986). Sensory and Mechanical Attributes of Gel Texture. *Journal of Texture Studies*, 17(1), 1-16.

Muzo, R. (2011). *Desarrollo y evaluación de la tecnología de elaboración de una sopa instantánea de Chichuca*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, México.

Norma COVENIN 2946-92. Mezcla para hacer gelatina y gelatina preparada. Definiciones.

Pons, M., Fiszman, S. (1996). Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal Texture Studies* 27(6), 597–624.

Restrepo, A; Montoya, C. (2010). *Implementación y diseño de procedimiento para determinación de vida útil de quesos frescos y aguas en bolsas*. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira.

Rosenthal, A. (2010). Texture profile analysis. *Journal Texture Studies* 41(5), 672–684.



## Referencias Bibliográficas

---

Schreiber, R; Gareis, H. (2007) *Gelatine Handbook*. Weinheim: Wiley-VCH.

Valencia, F; Millán, J; Jaramillo, Y. (2008). *Estimación de la vida útil fisicoquímica, sensorial e instrumental de queso crema bajo en calorías*. Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia, Colombia.



## ANEXO A. TABLAS BIBLIOGRÁFICAS

**Tabla 1** Valores numéricos para transformación de datos ordenados a través de evaluaciones sensoriales (Anzaldúa, 1984).

### APENDICE VIII

#### VALORES NUMERICOS PARA TRANSFORMACION DE DATOS ORDENADOS

Se omiten las desviaciones medias de los números más grandes 1.<sup>o</sup>, 2.<sup>o</sup>, 3.<sup>o</sup>,... de muestras de diferentes tamaños. El cero y los valores negativos se omiten.

Tabla 1. De 2 a 10 tratamientos.

NUMERO ORDINAL	TAMAÑO DE LA MUESTRA								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,56	0,85	1,03	1,16	1,27	1,35	1,42	1,49	1,54
2	--	--	0,30	0,50	0,64	0,76	0,85	0,93	1,00
3	--	--	--	--	0,20	0,35	0,47	0,57	0,66
4	--	--	--	--	--	--	0,15	0,27	0,38
5	--	--	--	--	--	--	--	--	0,12

Tabla 2. De 11 a 20 tratamientos.

NUMERO ORDINAL	TAMAÑO DE LA MUESTRA									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,59	1,63	1,67	1,70	1,74	1,76	1,79	1,82	1,84	1,87
2	1,00	1,12	1,16	1,21	1,25	1,26	1,32	1,35	1,38	1,41
3	0,73	0,79	0,85	0,90	0,95	0,99	1,03	1,07	1,10	1,13
4	0,46	0,54	0,60	0,66	0,71	0,76	0,81	0,85	0,89	0,92
5	0,22	0,31	0,39	0,46	0,52	0,57	0,62	0,67	0,71	0,75
6	--	0,10	0,19	0,27	0,34	0,39	0,45	0,50	0,55	0,59
7	--	--	--	0,09	0,17	0,23	0,30	0,35	0,40	0,45
8	--	--	--	--	--	0,08	0,15	0,21	0,26	0,31
9	--	--	--	--	--	--	--	0,07	0,13	0,19
10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,06

## Anexo A. Tablas Bibliográficas

**Tabla 2** Valores críticos de  $F$  para un contraste de dos colas ( $P=0.05$ ) (Miller y Miller, 2002).

**Tabla A.4.** Valores críticos de  $F$  para un contraste de dos colas ( $P = 0.05$ ).

$v_2$	$v_1$												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17
4	12.22	10.65	9.979	9.605	9.364	9.197	9.074	8.980	8.905	8.844	8.751	8.657	8.560
5	10.01	8.434	7.764	7.388	7.146	6.978	6.853	6.757	6.681	6.619	6.525	6.428	6.329
6	8.813	7.260	6.599	6.227	5.988	5.820	5.695	5.600	5.523	5.461	5.366	5.269	5.168
7	8.073	6.542	5.890	5.523	5.285	5.119	4.995	4.899	4.823	4.761	4.666	4.568	4.467
8	7.571	6.059	5.416	5.053	4.817	4.652	4.529	4.433	4.357	4.295	4.200	4.101	3.999
9	7.209	5.715	5.078	4.718	4.484	4.320	4.197	4.102	4.026	3.964	3.868	3.769	3.667
10	6.937	5.456	4.826	4.468	4.236	4.072	3.950	3.855	3.779	3.717	3.621	3.522	3.419
11	6.724	5.256	4.630	4.275	4.044	3.881	3.759	3.664	3.588	3.526	3.430	3.330	3.226
12	6.554	5.096	4.474	4.121	3.891	3.728	3.607	3.512	3.436	3.374	3.277	3.177	3.073
13	6.414	4.965	4.347	3.996	3.767	3.604	3.483	3.388	3.312	3.250	3.153	3.053	2.948
14	6.298	4.857	4.242	3.892	3.663	3.501	3.380	3.285	3.209	3.147	3.050	2.949	2.844
15	6.200	4.765	4.153	3.804	3.576	3.415	3.293	3.199	3.123	3.060	2.963	2.862	2.756
16	6.115	4.687	4.077	3.729	3.502	3.341	3.219	3.125	3.049	2.986	2.889	2.788	2.681
17	6.042	4.619	4.011	3.665	3.438	3.277	3.156	3.061	2.985	2.922	2.825	2.723	2.616
18	5.978	4.560	3.954	3.608	3.382	3.221	3.100	3.005	2.929	2.866	2.769	2.667	2.559
19	5.922	4.508	3.903	3.559	3.333	3.172	3.051	2.956	2.880	2.817	2.720	2.617	2.509
20	5.871	4.461	3.859	3.515	3.289	3.128	3.007	2.913	2.837	2.774	2.676	2.573	2.464

$v_1$  = número de grados de libertad del numerador y  $v_2$  = número de grados de libertad del denominador.

## APÉNDICE A. DATOS EXPERIMENTALES

**Tabla A.1** Corridas experimentales para el diseño de experimentos factorial evaluando la dureza de la gelatina como variable respuesta

Corrida	Velocidad de pre test (mm/s)	Velocidad de test (mm/s)	Velocidad de post test (mm/s)	Distancia (mm)	Dureza (g)
1	2	2	2	4	30,525
2	2	2	0,5	10	99,628
3	1,25	1,25	1,25	7	69,917
4	0,5	0,5	2	4	31,663
5	2	0,5	2	10	121,848
6	0,5	2	2	10	111,777
7	0,5	0,5	0,5	10	111,437
8	0,5	2	0,5	4	33,141
9	2	0,5	0,5	4	33,909
10	2	2	0,5	4	33,685
11	1,25	1,25	1,25	7	60,347
12	0,5	2	2	4	32,879
13	0,5	0,5	2	10	128,057
14	2	2	2	10	118,008
15	2	0,5	0,5	10	115,668
16	0,5	2	0,5	10	144,108
17	2	0,5	2	4	37,344
18	0,5	0,5	0,5	4	36,018
19	2	2	2	4	35,787
20	2	2	0,5	10	110,808
21	1,25	1,25	1,25	7	86,191
22	0,5	0,5	2	4	34,867
23	2	0,5	2	10	124,313
24	0,5	2	2	10	166,237
25	0,5	0,5	0,5	10	117,25
26	0,5	2	0,5	4	34,607
27	2	0,5	0,5	4	32,747
28	2	2	0,5	4	28,39

## Apéndice A. Datos Experimentales

**Tabla A.1 (continuación)** Corridas experimentales para el diseño de experimentos factorial evaluando la dureza de la gelatina como variable respuesta.

Corrida	Velocidad de pre test (mm/s)	Velocidad de test (mm/s)	Velocidad de post test (mm/s)	Distancia (mm)	Dureza (g)
29	1,25	1,25	1,25	7	63,33
30	0,5	2	2	4	28,188
31	0,5	0,5	2	10	98,749
32	2	2	2	10	97,961
33	2	0,5	0,5	10	84,293
34	0,5	2	0,5	10	127,776
35	2	0,5	2	4	30,739
36	0,5	0,5	0,5	4	30,837
37	2	2	2	4	32,403
38	2	2	0,5	10	113,583
39	1,25	1,25	1,25	7	70,252
40	0,5	0,5	2	4	32,443
41	2	0,5	2	10	115,201
42	0,5	2	2	10	139,668
43	0,5	0,5	0,5	10	118,406
44	0,5	2	0,5	4	34,012
45	2	0,5	0,5	4	35,96
46	2	2	0,5	4	36,374
47	1,25	1,25	1,25	7	76,938
48	0,5	2	2	4	32,87
49	0,5	0,5	2	10	105,939
50	2	2	2	10	96,493
51	2	0,5	0,5	10	110,096
52	0,5	2	0,5	10	136,636
53	2	0,5	2	4	30,468
54	0,5	0,5	0,5	4	32,2



**Tabla A.2** Mediciones instrumentales de dureza para 5 muestras con 3 niveles diferentes de dureza cada una de las muestras.

Día	Medición	Dureza		
		Blanda	Firme	Dura
1	1	15,278	21,122	27,298
	2	15,327	20,454	27,273
	3	16,497	21,137	27,676
	4	15,617	21,540	28,273
	5	16,564	19,971	29,933
2	1	14,161	20,117	26,983
	2	15,407	20,638	29,607
	3	14,48	20,046	27,854
	4	14,819	21,804	28,522
	5	13,907	20,378	26,039
3	1	15,413	17,89	27,92
	2	15,303	17,504	27,507
	3	16,203	17,477	27,727
	4	16,614	18,371	28,891
	5	14,965	16,942	30,179
4	1	15,337	23,097	28,832
	2	14,848	24,605	29,146
	3	15,245	21,486	28,837
	4	15,076	22,527	28,972
	5	15,548	21,266	29,129
5	1	11,847	20,166	26,987
	2	11,175	19,953	24,641
	3	11,981	20,622	26,893
	4	11,409	21,046	27,950
	5	10,537	19,766	26,781

## Apéndice A. Datos Experimentales

**Tabla A.3** Ordenamiento según el nivel de dureza para diferentes tipos de alimentos empleados en el entrenamiento del panel.

Panelista	Puntuación					
	Queso Crema	Huevo	Salchicha	Queso Amarillo	Maní	Turrón
1	1	2	3	4	5	6
2	1	2	3	4	6	5
3	1	2	4	3	6	5
4	1	2	3	4	5	6
5	1	2	4	3	5	6
6	1	2	4	3	6	5
7	1	2	3	4	5	6
8	1	2	3	4	5	6
9	1	2	4	3	5	6
10	1	2	3	4	5	6

**Tabla A.4** Ordenamiento según el nivel de dureza para diferentes muestras de gelatina evaluadas sensorialmente.

Panelista	Puntuación				
	A	B	C	D	E
1	1	2	3	4	5
2	1	2	3	4	5
3	1	2	3	5	4
4	1	2	3	4	5
5	1	2	3	4	5
6	1	2	3	4	5
7	1	2	3	4	5
8	1	2	3	4	5



## Apéndice A. Datos Experimentales

**Tabla A.5** Valores de dureza obtenidos mediante mediciones instrumentalmente para muestras de gelatina formuladas con diferentes niveles de dureza.

Código	% de gel agregado	Dureza (g)
<b>A</b>	16 %	12,977
<b>B</b>	19 %	19,378
<b>C</b>	22 %	23,138
<b>D</b>	25 %	26,546
<b>E</b>	28 %	34,072

**Tabla A.6** Valores de dureza para muestras de gelatinas almacenadas a 37 °C durante 4 semanas.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
<b>Dureza</b>	18,924	18,989	16,966	21,219
	16,943	18,513	17,834	19,946
	17,02	18,356	18,646	20,009

## APÉNDICE B. RESULTADOS EXPERIMENTALES

**Tabla B.1** Coeficientes de variación usados en el diseño factorial para establecer las condiciones instrumentales de ensayo que presentan mejor precisión.

Velocidad de pre test (mm/s)	Distancia (mm)	Dureza (g)	Promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación
2	4	30,525	34	2	6,25863915
		35,787			
		32,403			
		33,909			
		32,747			
		35,960			
	4	37,344	33	4	
		30,739			
		30,468			
		33,685			
		28,390			
		36,374			
2	10	121,848	112	14	12,9100307
		124,313			
		115,201			
		115,668			
		84,293			
		110,096			
	10	118,008	106	9	
		97,961			
		96,493			
		99,628			
		110,808			
		113,583			

## Apéndice B. Resultados Experimentales

**Tabla B.1 (continuación)** Coeficientes de variación usados en el diseño factorial para establecer las condiciones instrumentales de ensayo que presentan mejor precisión.

Velocidad de pre test (mm/s)	Distancia (mm)	Dureza (g)	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación
0,5	10	111,437	113	10	9,07650268
		117,25			
		118,406			
		128,057			
		98,749			
		105,939			
	10	111,777	138	18	13,1158293
		166,237			
		139,668			
		144,108			
		127,776			
		136,636			
0,5	4	31,663	33	1	3,77262011
		34,867			
		32,443			
		33,141			
		34,607			
		34,012			
	4	32,879	32	3	8,03932525
		28,188			
		32,87			
		36,018			
		30,837			
		32,2			

## Apéndice B. Resultados Experimentales

**Tabla B.2** Promedios de las mediciones instrumentales de dureza durante 5 días para 5 muestras de diferentes niveles para la evaluación de la precisión del método.

Días	Dureza (g)		
	Blanda	Firme	Dura
1	15,9	20,8	28
2	14,6	20,6	28
3	15,7	17,6	28
4	15,2	22,6	29,0
5	11,4	20,3	27
<b>Promedio</b>	15	20	28,0
<b>Desviación estándar</b>	2	2	0,7
<b>Coefficiente de variación</b>	11,338121	7,877775	2,214504

**Tabla B.3** Valores transformados para los resultados de la calificación de dureza de las muestras empleadas en el entrenamiento del panel.

Jueces	Muestras					
	Queso Crema	Huevo	Salchicha	Queso Amarillo	Maní	Turrón
1	-1,27	-0,64	-0,2	0,2	0,64	1,27
2	-1,27	-0,64	-0,2	0,2	1,27	0,64
3	-1,27	-0,64	0,2	-0,2	1,27	0,64
4	-1,27	-0,64	-0,2	0,2	0,64	1,27
5	-1,27	-0,64	0,2	-0,2	0,64	1,27
6	-1,27	-0,64	0,2	-0,2	1,27	0,64
7	-1,27	-0,64	-0,2	0,2	0,64	1,27
8	-1,27	-0,64	-0,2	0,2	0,64	1,27
9	-1,27	-0,64	0,2	-0,2	0,64	1,27
10	-1,27	-0,64	-0,2	0,2	0,64	1,27

## Apéndice B. Resultados Experimentales

**Tabla B.4** Valores transformados para los resultados de la calificación de las muestras de gelatinas empleadas en la evaluación sensorial de dureza.

Jueces	Muestras				
	A	B	C	D	E
1	-1,16	-0,50	0	0,5	1,16
2	-1,16	-0,50	0	0,5	1,16
3	-1,16	-0,50	0	1,16	0,5
4	-1,16	-0,50	0	0,5	1,16
5	-1,16	-0,50	0	0,5	1,16
6	-1,16	-0,50	0	0,5	1,16
7	-1,16	-0,50	0	0,5	1,16
8	-1,16	-0,50	0	0,5	1,16

**Tabla B.5** Valores de las mediciones instrumentales y sensoriales de la dureza de gelatina transformados a las diferentes escalas para establecer el modelo psicofísico que más se ajuste a los datos.

Modelo					
Lineal		Semilogarítmico		Logarítmico	
Instrumental	Sensorial	Log Instrumental	Sensorial	Log Instrumental	Log Sensorial
12,977	1	1,1131743	1	1,1131743	0
19,378	2	1,287309	2	1,28730895	0,30103
23,138	3	1,3643258	3	1,36432582	0,47712125
26,546	4,1	1,4239991	4,1	1,42399909	0,61278386
34,072	4,9	1,5323976	4,9	1,53239763	0,69019608



APÉNDICE C. PRUEBA DE ORDENAMIENTO



Laboratorio Desarrollo de Cereales y Derivados  
APC Planta Turmero

Prueba de Ordenamiento

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Ext: \_\_\_\_\_

Instrucciones:

1. Por favor, pruebe las muestras y evalúe su DUREZA
2. Ordene las muestras según su intensidad, de la menos dura a la más dura
3. Puede probar las muestras las veces que considere necesario.

Muestra N°				
<b>MENOS DURA</b>	→			<b>MÁS DURA</b>

¡Muchas Gracias!