

Estudio de la influencia de variables de proceso de fabricación en la dureza de pan comercial tipo
rollo

Jose Alberto Díaz Mogollón y Cesar Giuseppe Sánchez Cáceres

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Químico
Modalidad trabajo de investigación

Director

Profesor Carlos Jesús Muvdi Nova
Ingeniero químico, Msc, Ph.D.

Codirectora

Profesora Edna Magaly Gamboa Delgado
Nutricionista y Dietista, Msc, Ph.D.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2024

Tabla de contenido

Introducción.....	10
1. Objetivos.....	11
1.1 Objetivo general.....	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
2. Marco conceptual y estado del arte	12
3. Metodología	17
3.1 Fase I: Estimación del porcentaje de compresión, velocidad de cabezal y fuerza de activación requeridos por el texturómetro.	18
3.2 Fase II: Cuantificación de la dureza, elasticidad, cohesión y adhesividad del pan tipo rollo, por medio del análisis de perfil de textura y su evolución durante el almacenamiento.	18
3.3 Fase III: Relación de datos obtenidos de dureza con la evaluación sensorial de panelistas entrenados.	19
4. Resultados	20
4.1 Fase I: Estimación del porcentaje de compresión, velocidad de cabezal y fuerza de activación requeridos por el texturómetro.	20
4.2. Fase II: Análisis de características texturales del pan tipo rollo y su evolución en el tiempo con texturómetro.....	24
4.3 Fase III: Correlación de resultados de dureza instrumental y sensorial del pan comercial tipo rollo.	28
5. Conclusiones	33
6. Recomendaciones	34
Referencias bibliográficas	35
Apéndices	39

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros de análisis de perfiles de textura para la evaluación de la textura del pan. .	16
Tabla 2. Análisis ANOVA de los datos obtenidos en el texturómetro.	20
Tabla 3. Promedios de los datos por combinación.	23
Tabla 4. Desviaciones estándar por combinación.	24
Tabla 5. Análisis ANOVA del estudio de la referencia comercial de harina de trigo y el tiempo en pan con texturómetro.	25
Tabla 6. Correlación dureza sensorial e instrumental.	31

Lista de figuras

Figura 1. Analizador de textura o Texturómetro	14
Figura 2. Gráfica de perfil de textura por texturómetro.....	15
Figura 3. Diagrama metodológico del proyecto investigativo a realizar.	17
Figura 4. Diagramas de Pareto y gráficas de efectos principales de variables de respuesta.	21
Figura 5. Gráficas de Interacciones y Medias de las variables de respuesta.	26
Figura 6. Diagramas de caja y bigotes de la variable de respuesta Cohesividad.....	28
Figura 7. Resultados prueba 2AFC para dureza de las dos referencias comerciales.....	29
Figura 8. Resultados prueba 2AFC de dureza en el tiempo.....	30
Figura 9. Gráfico de caja y bigotes prueba descriptiva.....	30

Lista de apéndices

Apéndice A. Diseño experimental 3 ²	39
Apéndice B. Tabla de valores críticos para comparaciones pareadas de Kemp et al.	44

Dedicatoria

Queremos dedicar este trabajo de grado a las personas que han sido nuestro sustento y guía a lo largo de esta travesía. A nuestros padres, quienes con su amor, apoyo incondicional y sacrificio nos han enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis padres, Yamile, César y a mi hermana Melissa, por ser mi inspiración y por demostrarme que con dedicación todo es posible. A mi novia Alejandra, por ser mi compañera incondicional en este viaje y por motivarme a dar lo mejor de mí en cada paso.

César Giuseppe Sánchez Cáceres

A mis Padre Jose Donaldo, quien me enseñó el valor de luchar por lo que se quiere, a mi madre Mary quien siempre ha estado para mí incondicionalmente. A mis hermanos Cesar y Diego, quienes son ejemplos para seguir. A mi hermana menor Karoll, quien ya no se encuentra en este mundo terrenal, pero me enseñó que nunca hay que darse por vencido. A mi hijo Gael a quien deseo que crezca sabiendo que, con amor y dedicación, no hay sueños inalcanzables.

Jose Alberto Díaz Mogollón

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra profunda gratitud a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa al desarrollo y culminación de este proyecto de grado.

En primer lugar, agradecemos al Dr. Carlos Muvdi, nuestro director de proyecto. Su valiosa orientación, experiencia y dedicación han sido invaluableles en cada etapa de este trabajo. Su paciencia y entusiasmo por compartir su conocimiento nos motivaron a superar los desafíos y a aspirar a la excelencia.

Extendemos nuestro más sincero agradecimiento a la Dra. Edna Gamboa, nuestra codirectora. Su apoyo constante y su disposición para orientarnos en cada momento fueron fundamentales para que pudiéramos avanzar con confianza.

Asimismo, queremos reconocer la contribución de la Dra. Katherin Castro. Su asesoramiento técnico y su experiencia en el campo de las ciencias sensoriales fueron cruciales para abordar los aspectos de este proyecto.

Deseamos reconocer al Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología en Alimentos (CICTA) por facilitarnos el espacio y los equipos necesarios para llevar a cabo este proyecto.

Agradecemos al Semillero de Investigación Agroindustria, Ciencia y Tecnología (AICT) por su colaboración y trabajo conjunto con el panel sensorial de la Escuela de Nutrición.

A todos, nuestro más sincero agradecimiento por ser parte esencial de este logro.

Resumen

Título: Estudio de la influencia de variables de proceso de fabricación en la dureza de pan comercial tipo rollo*

Autor: Jose Alberto Díaz Mogollón y Cesar Giuseppe Sánchez Cáceres**

Palabras Clave: Textura, texturómetro, evaluación sensorial, almacenamiento, harina de trigo.

Descripción: La calidad del pan blanco tipo rollo se percibe a través de los sentidos y la experiencia de los consumidores, siendo la textura un atributo clave que puede variar según las materias primas, métodos de fabricación y distribución y que puede influir en la aceptación del producto. Para evaluar la textura, se requieren métodos como paneles de evaluación sensorial o equipos avanzados como el texturómetro, disponible en la Universidad Industrial de Santander. Con el objetivo de aportar a la industria alimentaria local, se estudió la influencia de dos harinas de trigo comerciales y su evolución durante el almacenamiento en la dureza del pan blanco tipo rollo, un producto emblemático de Panificadora Lebrija S.A. Se utilizó un enfoque dual, combinando análisis instrumental con un texturómetro y evaluaciones sensoriales por parte de un panel semi entrenado. Se determinaron parámetros operativos del texturómetro (dureza, elasticidad, cohesión y adhesividad) y se correlacionaron con percepciones sensoriales. Los resultados mostraron que el panel sensorial no detectó diferencias significativas en la dureza del pan relacionadas con las harinas o el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, el texturómetro reveló diferencias significativas en dureza, elasticidad y cohesión según la harina y el almacenamiento, y en adhesividad solo por el tiempo de almacenamiento. Se concluyó que no hay diferencias sensoriales significativas en la dureza del pan debido a la harina o al tiempo de almacenamiento. En contraste, el análisis instrumental mostró diferencias relevantes. Esto es beneficioso para la empresa, ya que las variaciones en materia prima y almacenamiento no afectan la percepción de calidad del consumidor final, garantizando una experiencia constante. En adicional, el potencial que ofrece el texturómetro gracias a su sensibilidad y precisión permiten establecer niveles que marcan el umbral de detección sensorial de consumidores no entrenados.

*Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Ingeniería Química. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova. Ph.D. en Ingeniería Química. Codirector: Edna Magaly Gamboa Delgado. Ph.D. Nutricionista y Dietista.

Abstract

Título: Study of the influence of manufacturing process variables on the hardness of commercial roll-type bread*

Autor: Jose Alberto Díaz Mogollón and Cesar Giuseppe Sánchez Cáceres**

Palabras Clave: Texture, texturometer, sensory evaluation, storage, wheat flour.

Descripción: The quality of white bread is perceived through the senses and the experience of consumers, with texture being a key attribute that can vary depending on the raw materials, manufacturing and distribution methods and can influence product acceptance. To evaluate texture, methods such as sensory evaluation panels or advanced equipment such as the texturometer, available at the Universidad Industrial de Santander (UIS), are required. With the aim of contributing to the local food industry, the influence of two commercial wheat flours and their evolution during storage on the hardness of white bread, a flagship product of Panificadora Lebrija S.A., was studied. A dual approach was used, combining instrumental analysis with a texturometer and sensory evaluations by a semi-trained panel. Operating parameters of the texturometer (hardness, elasticity, cohesion and adhesiveness) were determined and correlated with sensory perceptions. The results showed that the sensory panel did not detect significant differences in bread hardness related to flours or storage time. However, the texturometer revealed significant differences in hardness, elasticity and cohesion depending on the flour and storage, and in adhesiveness only due to storage time. It was concluded that there are no significant sensory differences in the hardness of the bread due to the flour or storage time. In contrast, the instrumental analysis showed relevant differences. This is beneficial for the company, since variations in raw materials and storage do not affect the final consumer's perception of quality, guaranteeing a constant experience. In addition, the potential offered by the texturometer thanks to its sensitivity and precision allows for establishing levels that mark the sensory detection threshold of untrained consumers.

*Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Ingeniería Química. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova. Ph.D. en Ingeniería Química. Codirector: Edna Magaly Gamboa Delgado. Ph.D. Nutricionista y Dietista.

Introducción

La textura es un factor crítico en la calidad sensorial de los alimentos y su influencia en la percepción del consumidor es indiscutible (Mondino & Ferratto, 2006). El pan, un alimento ampliamente consumido, presenta variaciones en su textura según la materia prima, y variables de proceso de horneado, tales como el tiempo de formado, la temperatura, y el tiempo de cocción. No obstante, hasta la fecha, empresas panificadoras carecen de información completa acerca de la textura de sus productos. Por tal razón, se considera que existe una necesidad de mejorar la comprensión de cómo las materias primas del proceso afectan la estructura y textura en el producto final. Con la presente propuesta se pretende aportar en el establecimiento de relaciones entre la variación en la referencia comercial de harina, el tiempo de almacenamiento y la textura resultante.

Abordar esta problemática no solo enriquece el conocimiento en el campo de la ciencia de alimentos, sino que también ofrece valiosas perspectivas para mejorar la calidad de un producto altamente popular en una dieta diaria. De igual manera, se busca abordar la problemática relacionada con el uso de un recurso valioso, como lo es el texturómetro con el que actualmente cuenta la universidad. Este equipo, capaz de realizar pruebas físicas, ha estado inactivo por varios años y su potencial ha permanecido sin explorar. Esto es porque existe un desconocimiento generalizado sobre su funcionamiento, lo que ha obstaculizado su aprovechamiento. Utilizar el equipo estimulará proyectos de investigación y extensión de aplicación en el sector alimenticio.

En este contexto, la pregunta central que se busca responder mediante este trabajo de grado es la siguiente: ¿De qué manera influye en la dureza, la referencia comercial de harina y el tiempo de almacenamiento en un pan comercial tipo rollo?

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Estudiar la influencia de referencias comerciales de harina de trigo panificable en la dureza del pan comercial tipo rollo (bocaditos) de Panificadora Lebrija por medio de un Texturómetro.

1.2 Objetivos específicos

- Estimar los parámetros de porcentaje de compresión y fuerza de activación requeridos por el texturómetro.
- Analizar la dureza, elasticidad, cohesión y adhesividad del pan tipo rollo mediante pruebas de perfil de textura con texturómetro, y su evolución durante el almacenamiento.
- Relacionar los datos obtenidos de dureza con la evaluación sensorial de panelistas semi entrenados para comprender las preferencias de los consumidores.

2. Marco conceptual y estado del arte

La medición de textura en el pan es un aspecto crítico en el control de calidad y desarrollo del producto. La textura abarca varias propiedades físicas, entre ellas, la dureza, la cohesión, la elasticidad y adhesividad, que en conjunto influyen en la experiencia general al comer el pan (Parmigiani, 2021). La textura del pan es el resultado de interacciones entre sus ingredientes, variables de procesamiento y métodos de almacenamiento. Comprender y cuantificar estas propiedades es esencial para el control de calidad del producto a un nivel de producción comercial y satisfacer las expectativas de los consumidores (Atudorei, 2022).

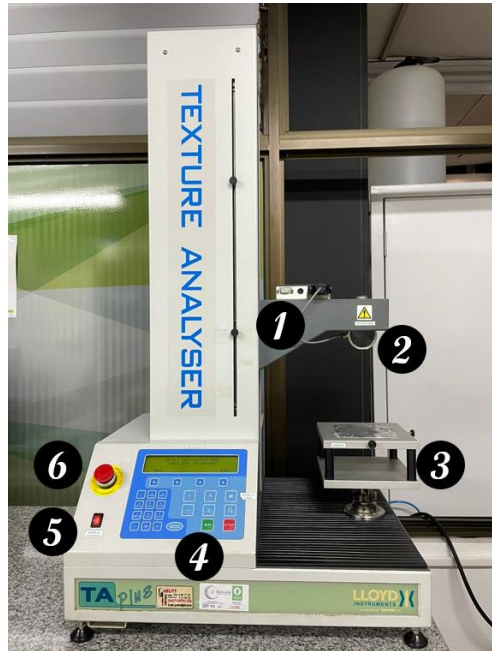
De acuerdo con González et al. (2015), la dureza simula la fuerza necesaria para comprimir un alimento entre los dientes molares imitando el primer mordisco. La cohesividad se refiere a la capacidad de un material para mantener su integridad y no desintegrarse al ser deformado o manipulado; es decir, indica la capacidad del pan para mantener su forma después de ser mordido o cortado (Puma & Núñez, 2018). Por su parte, la elasticidad es la propiedad que describe la capacidad de un material para recuperar su forma original después de haber sido deformado. En el caso del pan, como cuando se muerde o se corta (Gil, 2017).

Para Szczesniak (1986) los avances considerables en el campo de la textura pueden atribuirse al acuerdo general de que es una cualidad sensorial. En ese orden de ideas es necesario realizar pruebas de análisis sensorial para eliminar el riesgo de fallo del mercado si los productos se van a comercializar (Singh, 2012). El análisis sensorial de los alimentos u otros materiales hace referencia a una evaluación por medio de los sentidos (Picallo A., 2009). Por ejemplo, Mondino & Ferratto (2006) desarrollaron pruebas hedónicas para conocer el grado de aceptación de un producto en el consumidor indicando si le gusta o lo rechaza. Las pruebas hedónicas son evaluaciones realizadas por un panel sensorial en el cual expresan una reacción subjetiva a un estímulo (por ejemplo, la textura de la muestra).

De acuerdo con Ruiz et al. (2000) las personas que hacen parte de un panel entrenado de evaluación sensorial deben someterse a un proceso de formación que normalmente consiste en cuatro etapas: preselección, selección, entrenamiento y comprobación. La preparación del panel sensorial para el método de análisis de cada característica mencionada es extenso y complejo; esto es debido a que debe definirse la técnica sensorial, explicarse y normalizarse la forma de evaluar cada parámetro, lo que se traduce en un aumento del número de horas de entrenamiento para el panel sensorial (AENOR, 1996).

En consecuencia, la necesidad de un método estándar, simple de realizar, rápido y que permita una medición completa de textura llevó al desarrollo del texturómetro (Bourne, 2002). Este instrumento puede hacer una prueba de doble compresión del alimento para simular un mordisco y la acción de los dientes (Rodríguez et al., 2018). Estos instrumentos, a diferencia del análisis sensorial con panel entrenado, permiten mediciones objetivas y cuantitativas con más replicabilidad y precisión en la medición de atributos físicos como la dureza.

La **Figura 1** presenta el texturómetro de la marca LLOYD modelo TApplus, el cual fue utilizado en el presente proyecto. El texturómetro consiste en un brazo mecánico que ejerce una fuerza a la muestra analizada. Dicha fuerza es leída por la celda de carga donde es acoplado el bastón (punzón, sonda o plato) correspondiente al tipo de prueba. La computadora recibe la información donde, mediante el *software*, se pueden leer los datos con gráficas y tablas brindadas por este.

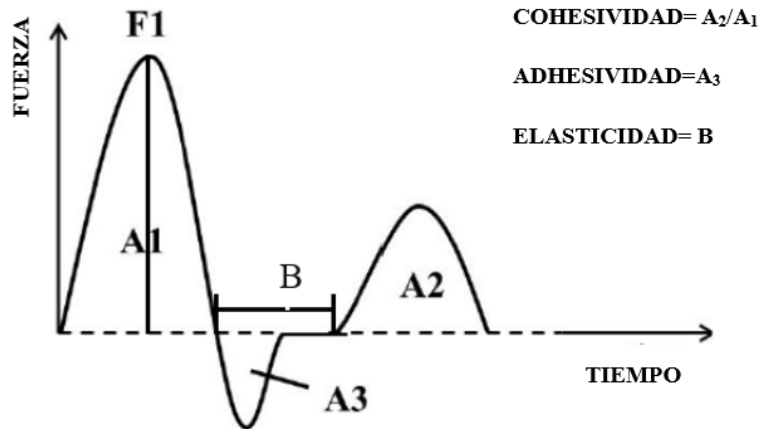
Figura 1.*Analizador de textura o Texturómetro*

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 | Brazo mecánico. |
| 2 | Celda de carga. |
| 3 | Base de la mordaza. |
| 4 | Tablero de control. |
| 5 | Botón de encendido. |
| 6 | Botón de parado de emergencia. |

A través de la **Figura 2**, Peleg (2019) se ilustra como el texturómetro traduce las propiedades texturales sensoriales. El pico de fuerza (F1) en el primer ciclo de compresión es definido como dureza, el cociente de las áreas de fuerza bajo la primera y segunda compresión ($A2/A1$) se definió como cohesión. El área de fuerza negativa de la primera mordida ($A3$) representa el trabajo necesario para separar la sonda de compresión de la muestra y se define como adhesividad. Finalmente, la altura que recupera el alimento durante el tiempo transcurrido (B) entre el final del primer ciclo y el inicio del segundo se denomina elasticidad.

Figura 2.

Gráfica de perfil de textura por texturómetro.



Fuente: Modificado de Siefarth C. et al (2014). Effect of Radio Frequency Heating on Yoghurt, II: Microstructure and Texture. Foods; 3(2):369-393.

Para ejecutar una prueba de perfil de textura en el instrumento, Friedman et al. (1963) explican la importancia de establecer las condiciones adecuadas para la prueba, como lo son la forma y tamaño de la muestra, tamaño de la sonda, porcentaje de deformación, la fuerza de disparo (*trigger force*) y velocidad del cabezal. Sin embargo, no es posible encontrar en la literatura una estandarización de estos parámetros. La inconsistencia reside en las diferencias obvias que existen entre los diferentes alimentos en cuanto a tamaño de la unidad, forma, homogeneidad de la estructura y composición (Breene, 1975).

A continuación, en la **Tabla 1** se ilustra información relacionada con los parámetros establecidos en análisis sensoriales con texturómetro en el área de la panificación reportados en trabajos científicos y revistas de investigación.

Tabla 1.

Parámetros de análisis de perfiles de textura para la evaluación de la textura del pan.

Tipo de muestra	Porcentaje de compresión (%)	Fuerza de disparo (qf)	Velocidad de cabezal (mm/s)	Análisis sensorial	Referencia
Pan de agua	50	100	2.5	NA	Hernández y Osorio (2012)
Pan de bono	50	100	2	Panel sensorial de 32 integrantes (NTC 2681).	López, Rodríguez y Sepúlveda (2012)
Pan de harina de trigo	40	5	2	Panel de catación por duplicado (60 integrantes)	Acosta (2013)
Pan	40	50	1.7	Panel sensorial	García y Merchán (2022)
Pan de harina de maíz	25	7	1	NA	Chavez (2023)

NA: No aplica.

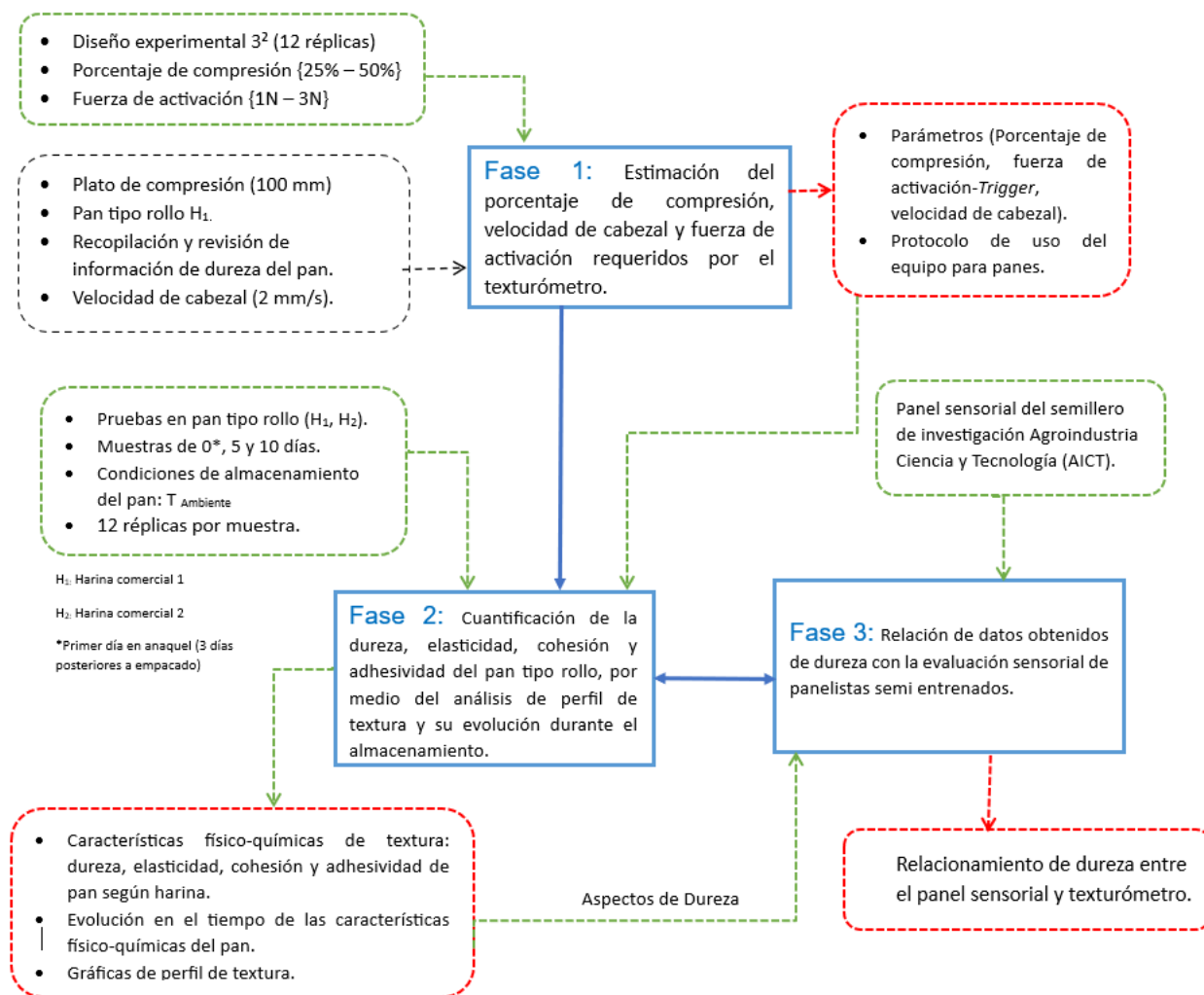
Estos estudios subrayan la relevancia de factores específicos en la dureza del pan; no obstante, Szczesniak y Bourne (1998) enfatizan que se debe utilizar el sentido común al momento de determinar qué parámetros son apropiados para medir y evaluar. Acosta (2013) aclara que, para obtener datos representativos, los resultados obtenidos de dureza en el análisis instrumental deben correlacionarse con la evaluación con panel sensorial. Ante lo expuesto anteriormente, la presente propuesta propone establecer la posible correlación que existe entre los datos procedentes del texturómetro y el panel sensorial enfocados en una sola propiedad, en este caso la dureza para pan comercial tipo rollo.

3. Metodología

A continuación, en la **Figura 3**, se adjunta el diagrama metodológico seguido en el presente proyecto. Los cuadros azules presentan cada una de las fases ejecutadas en el proyecto de investigación, los cuadros verdes y rojos indican las variables de entrada y las variables de salida, respectivamente de cada fase. Por último, el cuadro negro señala las condiciones y parámetros establecidos en la fase 1.

Figura 3.

Diagrama metodológico del proyecto de investigación a realizar.



3.1 Fase I: Estimación del porcentaje de compresión, velocidad de cabezal y fuerza de activación requeridos por el texturómetro.

A partir de una capacitación técnica y documentos asociados con pruebas de dureza en texturómetro se comprendió el funcionamiento del equipo. Se utilizó un diseño experimental factorial 3^2 para determinar la fuerza de activación y porcentaje de compresión, entre los rangos [1N – 3N] (Hernández, 2012) y [30% - 65%] (López, 2012), respectivamente, para emplear en los ensayos. Una compresión mayor al 75% para simular la masticación según Szczesniak (1963), es muy destructiva para permitir mediciones efectivas en otras propiedades texturales, por lo cual, en el presente estudio se limitó al 65%. De acuerdo con las pruebas realizadas por Acosta (2013), la velocidad de cabezal se fijó en 2 mm/s. Para el desarrollo del diseño experimental se utilizaron muestras de pan comercial de la empresa Panificadora Lebrija S.A.S, tipo rollo, de una sola referencia comercial de harina de trigo con 10 días en anaquel. En las pruebas de perfil de textura se empleó una sonda cilíndrica de diámetro 100 mm (SMS P/100). Se realizaron 12 réplicas para cada experimento. Finalmente, las condiciones de operación seleccionadas se incluyeron en un protocolo de funcionamiento del texturómetro para el análisis de pan tipo rollo.

3.2 Fase II: Cuantificación de la dureza, elasticidad, cohesión y adhesividad del pan tipo rollo, por medio del análisis de perfil de textura y su evolución durante el almacenamiento.

Con los parámetros definidos en la primera fase, se realizó la prueba de Análisis de Perfil de textura (TPA). Se utilizaron muestras de pan tipo rollo con dos referencias comerciales de harina de trigo (H1 y H2). Se estudió la harina como una de las variables en el efecto de las características físicas del pan. Las demás materias primas, así como las condiciones de operación durante la elaboración del pan permanecieron igual. Para determinar la evolución de la dureza del pan en el

tiempo se realizó análisis en los días 0, 5 y 10. El día cero hace referencia al momento en que el consumidor tiene el producto panificable a su disposición después de transportado, que lleva unos 3 días. Las pruebas y almacenamiento de muestras se realizaron a temperatura ambiente (condiciones habituales para el producto). Se ejecutaron 12 réplicas por referencia de harina de trigo.

Los perfiles de textura proporcionaron las variables texturales de respuesta (dureza, elasticidad, cohesión y adhesividad) generados por el *software* del equipo. Finalmente, se analizó la varianza de los datos recopilados, para descubrir el efecto de diferentes referencias comerciales de harina de trigo y el tiempo en la dureza del pan.

3.3 Fase III: Relación de datos obtenidos de dureza con la evaluación sensorial de panelistas entrenados.

De forma paralela a la Fase 2, se recolectaron los resultados de dureza de la evaluación sensorial del panel del semillero de Investigación Agroindustria Ciencia y Tecnología (AICT), adscrito al grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos, CICTA, para correlacionarlos con los datos obtenidos por análisis instrumental. Además, se brindó apoyo con el suministro de muestras de pan y la preparación del panel de evaluación sensorial del semillero AICT, que tuvo un mínimo de 40 h en formación en el atributo dureza.

El panel de evaluación sensorial evaluó la dureza de las muestras mediante una prueba comparativa de diferencias perceptibles entre dos productos (2AFC) y una prueba descriptiva en una escala de dureza. Finalmente, la caracterización del pan por parte del panel sensorial brindó un contexto a los valores arrojados por el texturómetro, correlacionando los cambios identificables de dureza y aceptación del producto por parte del consumidor potencial.

4. Resultados

4.1 Fase I: Estimación del porcentaje de compresión, velocidad de cabezal y fuerza de activación requeridos por el texturómetro.

Inicialmente, se obtuvieron 108 datos producto de las réplicas por cada una de las nueve combinaciones. Se establecieron 90 datos retirándose 18, por extracción de datos anómalos y homogenización del número de muestras por combinación. Para determinar el impacto de los parámetros en las variables de respuesta se llevaron a cabo pruebas ANOVA (mediante el *software STATGRAPHICS 19*). A continuación, la **Tabla 2** proporciona los resultados obtenidos.

Tabla 2.

Análisis ANOVA de los datos obtenidos en el texturómetro.

Parámetros	Análisis de Varianza (ANOVA)			
	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Adhesividad
	Valor-p			
A: Porcentaje de Compresión	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B: Fuerza de Activación	0,3371	0,0000	0,0000	0,0000
A*B	0,1675	0,0004	0,0330	0,0000

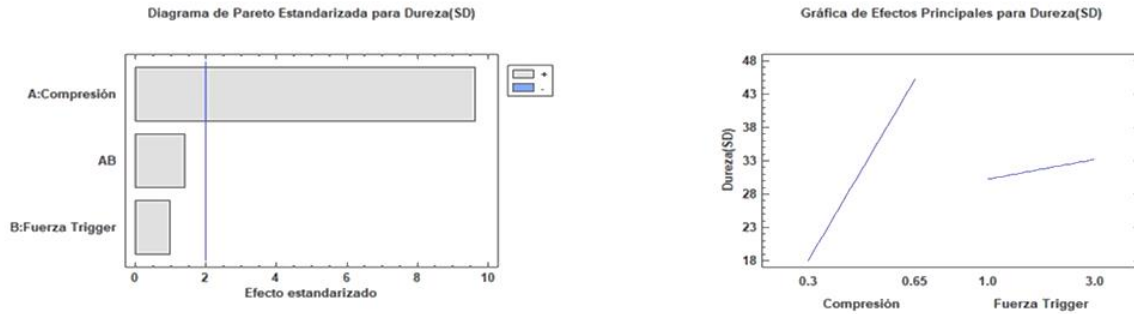
Según el valor-p de cada análisis ANOVA para un intervalo de confianza del 95% ($\text{Valor-p} \geq 0,05$), los dos parámetros bajo estudio ejercen una influencia estadísticamente significativa sobre los cuatro variables de respuesta analizadas. Los resultados indican que el porcentaje de compresión tiene un impacto en las 4 variables observadas. Sin embargo, la fuerza de activación y la combinatoria de los dos parámetros no tienen una influencia significativa en la variable dureza del pan.

A continuación, en la **Figura 4** se presentan los diagramas de Pareto al igual que el diagrama del efecto individual de los parámetros en cada una de las propiedades texturales.

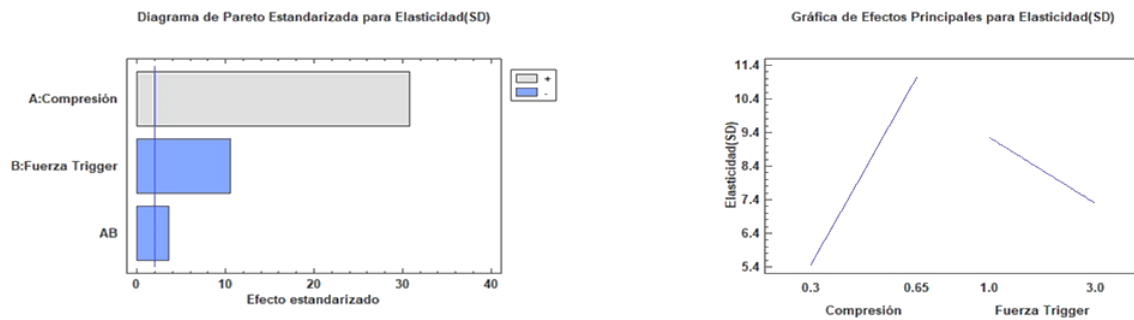
Figura 4.

Diagramas de Pareto y gráficas de efectos principales de variables de respuesta.

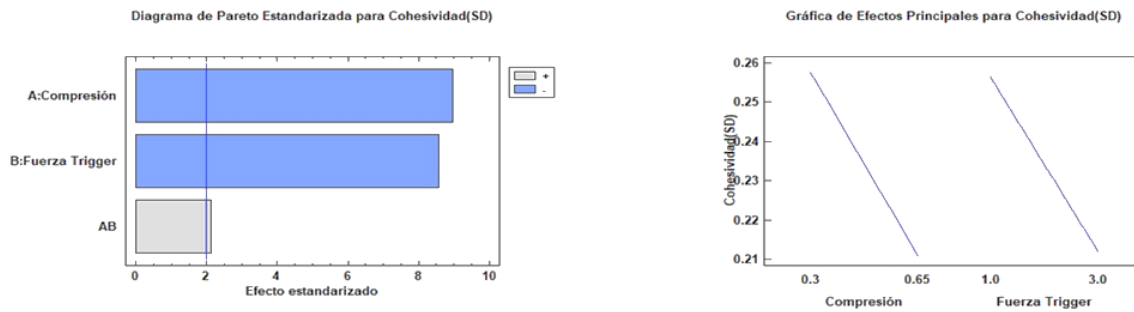
(a) Dureza



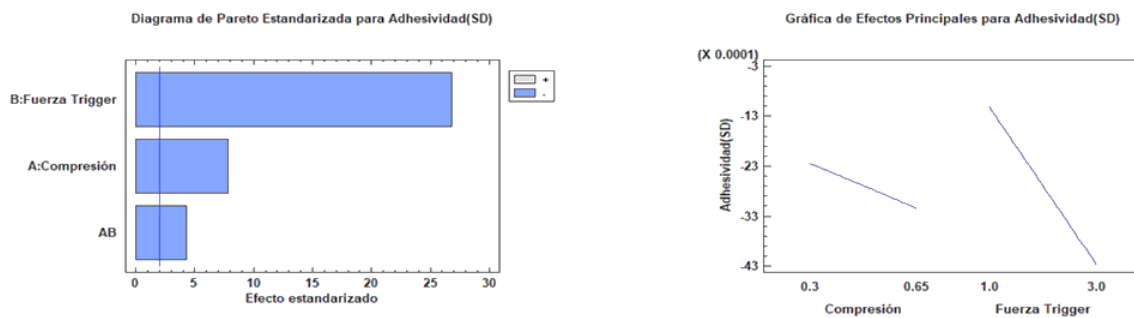
(b) Elasticidad



(c) Cohesividad



(d) Adhesividad



Se observa en la **Figura 4a.** que el factor principal con mayor efecto sobre la dureza es la compresión, coincidiendo con los resultados ANOVA de la **Tabla 2.** Un aumento del porcentaje de compresión entre 30% y 65% se relaciona con un aumento en el valor de dureza. Se observa una pendiente mayor para el efecto de deformación en comparación con la fuerza de activación.

Por otra parte, se ve en la **Figura 4b.** relacionada con la elasticidad, el efecto significativo por parte de los dos parámetros y su combinatoria. El porcentaje de compresión presenta una relación directamente proporcional con los resultados de elasticidad. De acuerdo con Peleg et al. (1989), el efecto de la compresión sobre la elasticidad puede explicarse como el resultado de daños en la estructura celular debido a considerables rupturas o colapsos de la pared celular.

Para cohesividad, en las **Figura 4c.** se lograron establecer diferencias estadísticamente significativas. Los resultados obtenidos se agrupan en un rango de 0,21 a 0,26, siendo el primero el correspondiente al porcentaje de compresión y fuerza de activación más alto. Lo cual complementa los resultados de elasticidad, pues la relación de áreas en la gráfica de perfil de textura originadas en los dos ciclos de compresión, sí se lograron establecer diferencias significativas.

Finalmente, sobre la adhesividad (**Figura 4d.**) se encontraron resultados estadísticamente significativos para los dos parámetros y su combinatoria. Sin embargo, no se consideran ya que la energía necesaria para superar las fuerzas atractivas entre la superficie y la superficie del material con la que está en contacto es muy cercana a cero. Estos resultados son semejantes al análisis instrumental realizado por Morales-Hernández (2011), donde la adhesividad se consideró insignificante en las muestras de pan blanco al ser medido con texturómetro.

Para determinar los valores óptimos de los parámetros para las pruebas en la segunda fase, se hicieron de acuerdo con el promedio y desviación estándar de los datos. A continuación, se presenta en las **Tablas 3 y 4** la información relacionada al promedio y la desviación estándar de los datos del diseño experimental propuesto, el diseño de experimentos completo se presenta en el Apéndice A. En estas tablas se muestran los valores promedio (**Tabla 3.**), junto con su desviación estándar (**Tabla 4.**) por cada una de las nueve combinaciones evaluadas en el diseño experimental.

Tabla 3.

Promedios de los datos por combinación.

Porcentaje de compresión	Fuerza Trigger	Promedio Dureza [N]	Promedio Cohesividad	Promedio Elasticidad [mm]	Promedio Adhesividad [J]
30 %	1 [N]	19,961	0,2885	5,9446	-9,693*10 ⁻⁴
30 %	2 [N]	20,226	0,2576	5,2868	-2,199*10 ⁻³
30 %	3 [N]	22,151	0,2306	4,7432	-3,384*10 ⁻³
50 %	1 [N]	31,488	0,2504	5,9446	-1,184*10 ⁻³
50 %	2 [N]	30,165	0,2228	8,9536	-2,842*10 ⁻³
50 %	3 [N]	31,775	0,1998	8,0001	-4,399*10 ⁻³
65 %	1 [N]	47,030	0,2291	12,376	-1,140*10 ⁻³
65 %	2 [N]	60,408	0,2117	10,840	-2,845*10 ⁻³
65 %	3 [N]	53,174	0,2017	9,6091	-4,771*10 ⁻³

La **Tabla 3** presenta una gama de valores en los que oscilan los datos en cada combinación. La comparación refleja que la variación en el porcentaje de compresión afecta a todas las características de textura, principalmente a la dureza. Esto se confirma con los análisis ANOVA realizados, al igual que con los diagramas de Pareto, presentados anteriormente.

Tabla 4.*Desviaciones estándar por combinación.*

Porcentaje de compresión	Fuerza Trigger	Desv. Estand. Dureza	Desv. Estand. Cohesividad	Desv. Estand. Elasticidad	Desv. Estand. Adhesividad
30 %	1 [N]	3,1597	0,02639	0,3265	1,350*10 ⁻⁴
30 %	2 [N]	5,4599	0,02718	0,2785	2,963*10 ⁻⁴
30 %	3 [N]	7,2187	0,02658	0,4292	5,764*10 ⁻⁴
50 %	1 [N]	10,114	0,03330	0,3265	4,325*10 ⁻⁴
50 %	2 [N]	7,6531	0,02606	0,5389	3,484*10 ⁻⁴
50 %	3 [N]	12,887	0,02569	0,5055	5,745*10 ⁻⁴
65 %	1 [N]	22,929	0,02292	0,8253	7,476*10 ⁻⁴
65 %	2 [N]	24,428	0,02353	1,0239	1,214*10 ⁻³
65 %	3 [N]	16,415	0,01872	0,8662	6,428*10 ⁻⁴

Utilizando el software *STATGRAPHICS* se optimizaron las condiciones de porcentaje de compresión y fuerza de activación, mediante la minimización de la desviación estándar de los datos. Los valores estimados para el porcentaje de compresión y la fuerza de activación son: **30%** y **1,10 N**; respectivamente.

Estos valores son similares a las condiciones propuestas por *Cereal&Grains Association (1999)* para la medición de la firmeza del pan mediante una máquina de ensayo universal, *AACC Method 74-09*. Esta asociación establece que el porcentaje de compresión debe limitarse al 40% y una fuerza de activación automática de 4g para muestras de pan tajado, con el objetivo de determinar la firmeza del pan, como una medida de frescura y calidad.

4.2. Fase II: Análisis de características texturales del pan tipo rollo y su evolución en el tiempo con texturómetro.

Se realizaron pruebas ANOVA multifactorial con *STATGRAPHICS 19* para analizar el impacto de dos parámetros en las variables de respuesta del perfil de textura en pan comercial tipo rollo con texturómetro. A continuación, la **Tabla 5** muestra los resultados obtenidos.

Tabla 5.

Análisis ANOVA del estudio de la referencia comercial de harina de trigo y el tiempo en pan con texturómetro.

Análisis de Varianza (ANOVA)				
Variables	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Adhesividad
	Valor-p			
A: Referencia comercial de harina	0,0000	0,0000	0,0392*	0,9566
B: Tiempo	0,0000	0,0000	0,0000*	0,0000
A*B	0,0753	0,0003	-*	0,5745

Valores con * indican ANOVA por método no paramétrico (Kruskal-Wallis)

De acuerdo con los resultados ANOVA expuestos en la Tabla 5 se muestra que ambos factores son estadísticamente significativos para los cuatro aspectos evaluados (valores-P < 0,05), indicando que tanto la referencia comercial de harina como la evolución en el tiempo afectan las características texturales estudiadas, a excepción de la adhesividad con la referencia comercial de harina de trigo.

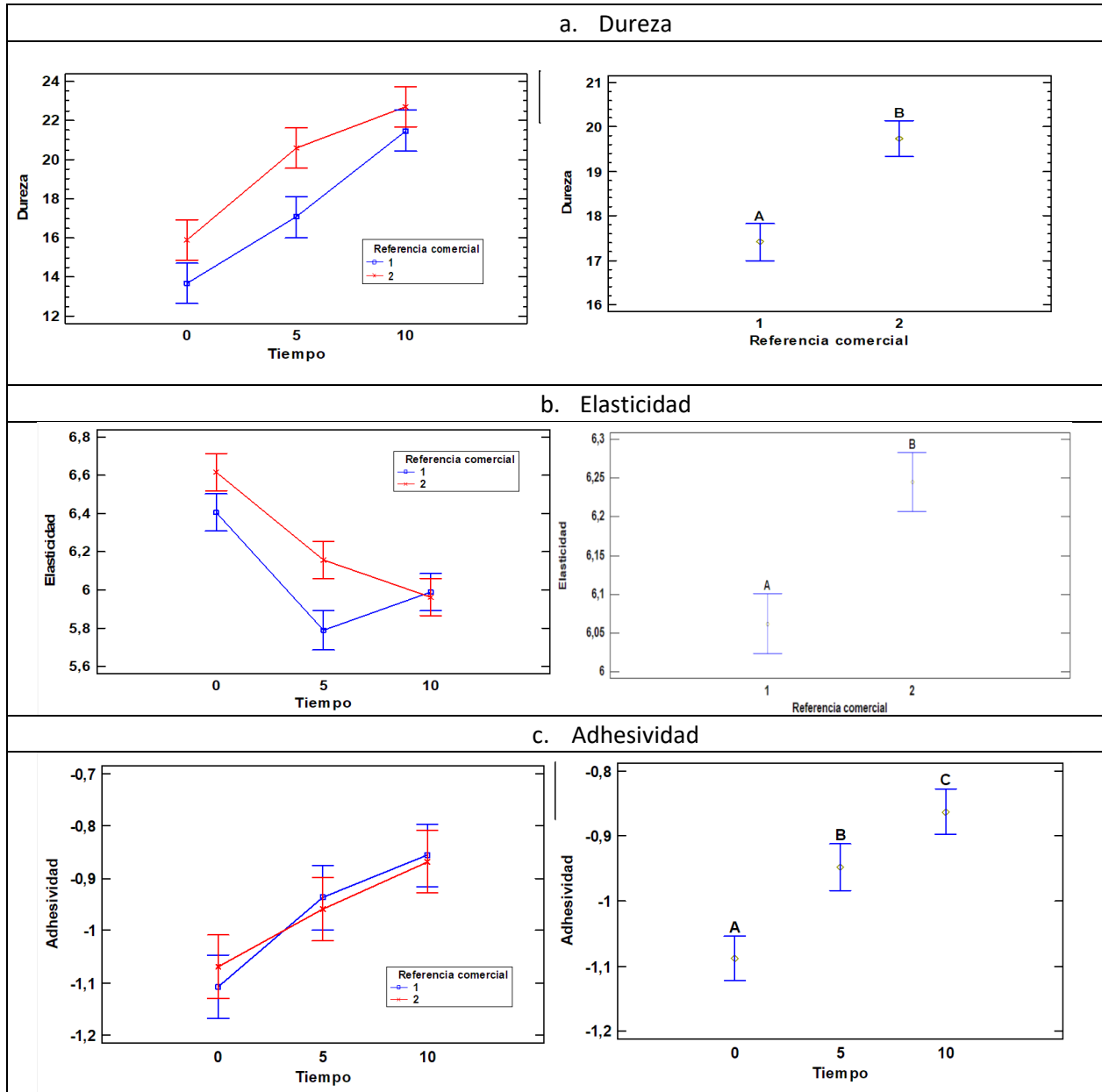
En la Figura 5 se muestran las gráficas de interacciones de las variables y las de Medias para cada variable. La **Figura 5a.** muestra la distribución de los datos obtenidos de dureza, destacando su variación en el tiempo y comparando las dos referencias comerciales de harina de trigo. Las letras A y B sobre la figura, confirman los resultados del ANOVA, donde la media para la referencia comercial de harina H2 es significativamente mayor que H1, con un 13,2%.

La gráfica de Interacciones de parámetros para la dureza (95% Tukey HSD) en la **Figura 5.a.** muestra la relación directamente proporcional entre la dureza y el tiempo después de fabricado. De acuerdo con Lallemand (1996), este comportamiento está influenciado por la retrogradación del

almidón, el cual provoca una migración de agua desde la miga a la corteza en el tiempo, generando cambios en la estructura del almidón y un aumento en la dureza.

Figura 5.

Gráficas de Interacciones y Medias de las variables de respuesta.



Hallazgos similares se encuentran en el estudio de Hernández, quien analizó mediante texturómetro algunas características reológicas del pan de agua (producto autóctono de Pamplona), donde la dureza promedio dentro de un periodo de 8 días fue de 11,6 N. Además, encontró diferencias significativas en el efecto del tiempo sobre la dureza de la miga de pan, observándose la menor dureza en el día 1 de fabricación, así como también la más alta para el día 8.

El análisis ANOVA confirmó que la harina y el tiempo son factores significativos para la elasticidad. La **Figura 5b.** muestran que la referencia de harina de trigo H2 es la más elástica, pero también la más dura, lo cual puede deberse a su fabricación manual y falta de control en el tamaño, pues la elasticidad está fuertemente relacionada con la altura de las muestras de pan. Por otra parte, para el día diez de pruebas en pan comercial tipo rollo, no hubo diferencias en la elasticidad, ya que se alcanzó un nivel similar para las dos referencias de harina de trigo comercial. El impacto en las dos muestras también está relacionado con la retrogradación del almidón, donde la cristalización de las moléculas de amilosa y amilopectina tienen como resultado el endurecimiento de la miga de pan (Prats, 2017). Adicionalmente, la harina de trigo presenta una absorción mayor de agua por su alto contenido de pentosas, que favorecen la relación con el líquido. (Serna-Saldivar, 1998).

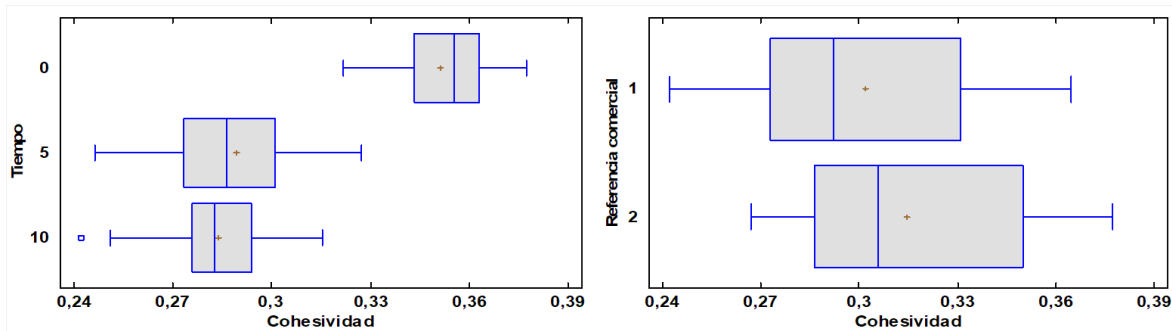
En el caso de la adhesividad, los resultados fueron estadísticamente significativos para el factor tiempo. Siguiendo la tendencia de la gráfica de medias para la adhesividad respecto al tiempo (**Figura 5.c**), la adhesividad disminuye con el paso de los días inclinándose al cero. La adhesividad presenta valores negativos debido a la textura pegajosa del pan; cuanto más negativo es el valor, más pegajoso es, lo que indica que, al consumir, el producto se adhiere al paladar y requiere mayor esfuerzo para retirarlo y poder consumirlo (Bedón, 2020).

Los datos de cohesividad no cumplieron el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se decidió hacer un análisis de varianza no paramétrico con la ayuda de la prueba

de Kruskal-Wallis. A continuación, en la **Figura 6** se observan los diagramas de cajas y bigotes que reflejan los estadísticos obtenidos para esta variable de respuesta.

Figura 6.

Diagramas de caja y bigotes de la variable de respuesta Cohesividad.



La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 2 columnas es la misma. Los Valores-P para los factores tiempo y referencia comercial de harina obtenidos fueron 0,0 y 0,039215, respectivamente. Por lo tanto, existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas asumiendo que hay efecto de ambos factores sobre la variable de respuesta. La tendencia de los valores de esta variable con respecto a los días de almacenamiento indica una disminución, esto debido a la pérdida de humedad generada con el tiempo. Por lo tanto, la pérdida de agua genera un decrecimiento en las características plásticas y a su vez en el grado de deformación del pan (Perilla Laitón, 2004).

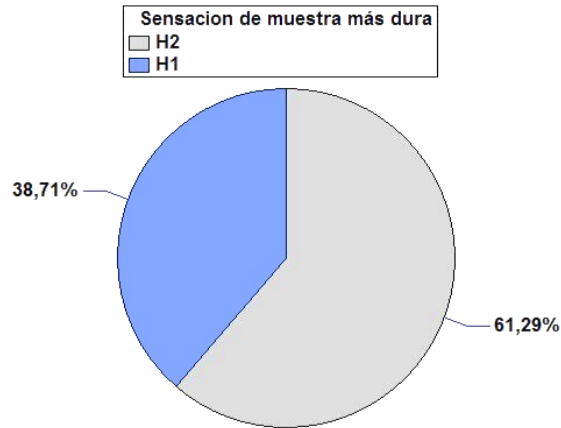
4.3 Fase III: Correlación de resultados de dureza instrumental y sensorial del pan comercial tipo rollo.

Después de realizada la evaluación sensorial de las tres fechas diferentes del pan tipo rollo a su vez que, con las dos referencias comerciales de harina, se obtuvo la **Figura 7**, donde se refleja

los resultados de la prueba de diferencias perceptibles entre dos productos (2AFC) para distinguir cuál de las dos referencias comerciales de harina es más dura.

Figura 7.

Resultados prueba 2AFC para dureza de las dos referencias comerciales.

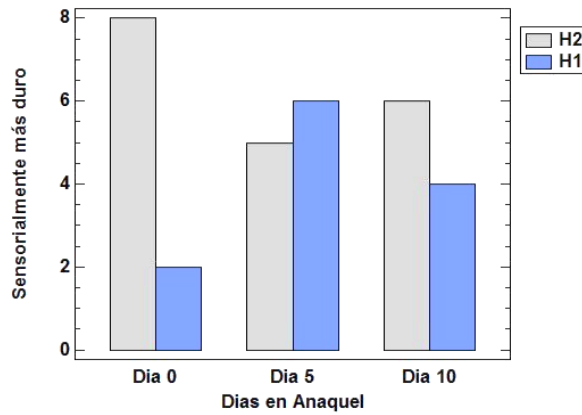


Los resultados reflejan que 19 de las 31 pruebas realizadas, afirman que la referencia comercial de harina H2 es más dura. Sin embargo, la cantidad de evaluaciones no basta para decir que son estadísticamente significativas respecto al número total de votos, acorde al valor crítico para pruebas 2AFC según Kemp et al (2009) en el libro *Sensory Evaluation A Practical Handbook*.

Nuevamente mediante pruebas 2AFC, el panel comparó la dureza de los panes en tres diferentes tiempos. Los resultados se muestran en el diagrama de barras (**Figura 8**). En la evaluación para los panes en el día cero, la harina H2 se identificó como la más dura con 8 votos, sin embargo, según la *tabla de valores críticos para comparaciones pareadas de Kemp et al.* (Ver Apéndice B), el número mínimo de aciertos para que sea estadísticamente significativa es 9 de 10 panelistas.

Figura 8.

Resultados prueba 2AFC de dureza en el tiempo.

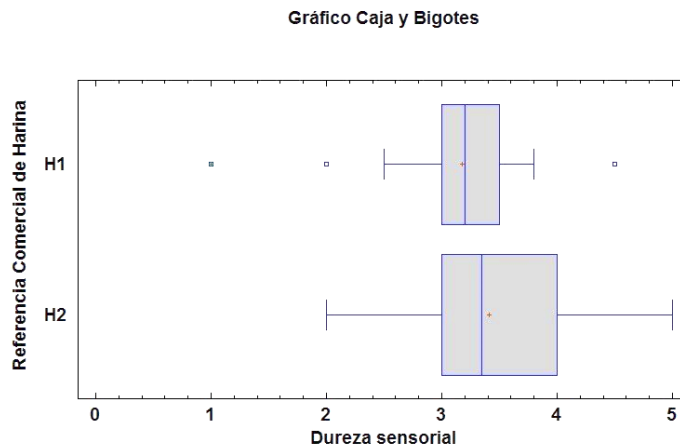


En las sesiones de evaluación sensorial de los días 5 y 10, el panel no logró diferenciar significativamente la dureza entre las muestras de pan. Estos resultados resaltan la sensibilidad del texturómetro, que detectó cambios significativos en las características texturales del pan en el tiempo.

Además, los resultados de la prueba descriptiva se presentan a continuación en la gráfica de Caja y Bigotes (**Figura 9**).

Figura 9.

Gráfico de caja y bigotes prueba descriptiva.



Se recopilaron las valoraciones hechas por los evaluadores en la comparación en cada sesión. Según la **Figura 9**, la mediana entre las referencias comerciales de harina se encuentra cerca entre ellas, lo cual ratifica los resultados en la prueba comparativa en donde no se perciben diferencias importantes.

Por ejemplo, Chávez (2023), realizó evaluaciones de perfil de textura en panes de trigo con sustituciones progresivas con harina de maíz, donde se observó que el uso del 10% de harina de maíz no generó diferencias significativas en el perfil de textura del pan semita a comparación de un uso del 20% y 25%. Esto conduce a considerar que la sensibilidad alcanzada por un panel sensorial con 40 h de entrenamiento para este estudio es inferior respecto a la evaluación con texturómetro.

Finalmente, se analizaron en conjuntos los datos de dureza obtenidos vía instrumental y sensorial en una matriz de correlación que se presenta a continuación en la **Tabla 6**.

Tabla 6.

Correlación dureza sensorial e instrumental.

	Dureza Instrumental	Dureza Sensorial
Dureza Instrumental	-	0,1676
	-	(58)
	-	0,2085
Dureza Sensorial	0,1667	-
	(58)	-
	0,2085	-

Con esta herramienta se buscó identificar si existe una relación lineal entre estas dos variables. Conforme a los resultados de la matriz de correlación, el valor-p calculado fue de 0,2085 ($p < 0,05$) que indica que no existe una conexión estadísticamente significativa entre la dureza medida con texturómetro y la dureza calculada con el panel sensorial. Resultado congruente de acuerdo con los resultados de las pruebas sensoriales y la dificultad alta a la cual se sometió el panel puesto que, el pan tipo rollo está diseñado para mantener elevada estabilidad con el tiempo.

Dichos resultados llevan a analizar si existe una correlación cuando los límites de detección entre los dos métodos son diferentes, lo que conlleva a preguntarse si se puede definir el límite de detección en el cual una diferencia de dureza en texturómetro será significativa en un grupo de personas con formación en evaluación sensorial.

5. Conclusiones

Se estimaron los parámetros del texturómetro, porcentaje de compresión y fuerza de activación, demostrando su significancia estadística en las pruebas de perfil de textura del pan comercial tipo rollo. El análisis detallado de las características texturales, junto con el uso de software, reveló que las condiciones óptimas para un mejor pronóstico son 30% de compresión y 1,1 N de fuerza *trigger* (para los intervalos definidos en el presente estudio).

Los análisis con texturómetro revelan que la dureza del pan tipo rollo aumenta con el tiempo y es significativamente mayor en el pan elaborado con harina H2 comparado con H1, debido a la retrogradación del almidón. Por otro lado, la adhesividad solo es afectada por el factor tiempo, tendiendo a cero y reflejando menor pegajosidad. Finalmente, tanto para la elasticidad como la cohesividad presentan diferencias significativas según el tiempo y la referencia comercial de harina de trigo.

Por último, se observa que el uso de dos referencias comerciales de harina de trigo no conlleva a cambios detectables en la dureza del pan “blanco tipo rollo” mediante análisis de evaluación sensorial, ya que no se encontraron diferencias significativas en las pruebas comparativa y descriptiva. Aunque para el texturómetro las diferencias fueron completamente perceptibles, se entiende que, para este caso en particular, no se encontró una relación en la dureza entre la evaluación sensorial y la instrumental. En este sentido, es un beneficio para la empresa la no detección de cambios en la calidad del producto debido a cambios en la referencia comercial de harina de trigo y el tiempo de almacenamiento.

6. Recomendaciones

El entrenamiento de un panel de evaluación sensorial con más horas, mayor cantidad de personas evaluadoras y atributos de textura podrían llevar a estudios con mayor profundidad en cuanto a encontrar una relación más estrecha entre el análisis instrumental y sensorial. Del mismo modo, dicha formación aportaría al hallazgo de rangos perceptibles sensorialmente que complementen los análisis instrumentales por texturómetro, aportando así a la prestación de servicios futuros.

Referencias bibliográficas

- Acosta, V. (2013). *Evaluación de la textura del pan, elaborado a partir de harina de trigo nacional (Triticum Vulgare), con adición de gluten vital*. Ambato – Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR (1997). UNE 87028-1 Análisis sensorial. Metodología. Directrices para la preparación de muestras de legumbres para evaluar su textura.
- Atudorei, Denisa, Silvia Mironeasa, and Georgiana Gabriela Codină. 2022. "Effects of Germinated Lentil Flour on Dough Rheological Behavior and Bread Quality" *Foods* 11, no. 19: 2982. <https://doi.org/10.3390/foods11192982>
- Bourne, M. and Szczesniak, A.S. (1998), issues pertaining to the texture profile analysis. *Journal of texture studies*, 29: vii-viii. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1998.tb00808.x>
- Bourne, M. 2002. *Food Texture and Viscosity*. 2nd edition. Academic Press, NY.
- Breene, W.M. (1975), Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. *Journal of texture studies*, 6: 53-82. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1975.tb01118.x>
- Chávez, R. (2023). *Evaluación del perfil de textura de pan elaborados con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz*. Cajamarca – Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Demonte, P. (1995). Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales. p. 8-20. En: *Seminario de Textura y Reología de los Alimentos*. (1995: Cali, Colombia). Memorias. Cali: Universidad del Valle.

Friedman, H.H., Whitney, J.E. and Szczesniak, A.S. (1963), The Texturometer—A New Instrument for Objective Texture Measurement. *Journal of Food Science*, 28: 390-396.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00216.x>

Gil, S. (2017). *Introducción a la Teoría de la Elasticidad*. Obtenido de

https://fisicarecreativa.com/papers_sg/papers_sgil/Docencia/elasticidad1.pdf

González, A., A. Alvis y G. Arrázola, Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de

Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas Lam*) Fritos por Inmersión: Parte 1: Textura,

doi:10.4067/S0718-07642015000100011, *Información Tecnológica*, 26(1), 95-102 (2015)

Hernández, O., y Duran O., (2012) Características reológicas del pan de agua producto autóctono

de Pamplona (Norte de Santander)., *Revista de la Facultad de Ciencias Basicas*, Vol.10,

No.2, pp. 61-74

Kihlberg, I. (2004): Sensory Quality and consumer perception of wheat bread. Thesis. Acta

Universitatis Uppsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the

Faculty of Social Sciences 139, 86 pp. Uppsala, Sweden.

López-Tenorio, Julián Alfredo; Rodríguez-Sandoval, Eduardo; Sepúlveda-Valencia, José Uriel

(2012) Evaluación de características físicas y texturales de pandebono *Acta Agronómica*,

vol. 61, núm. 3, pp. 273-281 Universidad Nacional de Colombia Palmira, Colombia

Meilgaard, M., Civille, G.V. y Carr, B. (1999). *Sensory Evaluation techniques*. 2nd edition. CRC

press, inc., Estados Unidos.

Mondino, M., & Ferratto, J. (2006). El análisis sensorial, una herramienta para la evaluación de la

calidad desde el consumidor. *Agromensajes*, 16-24.

Peleg, M. The instrumental texture profile analysis revisited. *J Texture Stud.* 2019; 50: 362–368.

<https://doi.org/10.1111/jtxs.12392>

Picallo, Alejandra. (marzo 2009). Análisis sensorial de los alimentos: El imperio de los sentidos.

En: Encrucijadas, no. 46. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio

Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires:

Puma, G., & Núñez, C. (2018). Determinación del perfil de textura sensorial de dos muestras

experimentales de hotdog de pollo (*Gallus gallus*) obtenidas por Ingeniería Kansei Tipo II.

Anales Científicos, 79 (1), 210 - 217.

Singh, V., Guizani, N., Essa, M.M., Hakkim, F.L., Rahman, M.S., 2012. Comparative analysis of

total phenolics, flavonoid content and antioxidant profile of different date varieties

(*Phoenix dactylifera* L.) from Sultanate of Oman. *Int. Food Res. J.* 19,1063–1070.

Szczesniak, A.S. (1963), Classification of Textural Characteristics. *Journal of Food Science*, 28:

385-389. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>

Szczesniak, A.S. (1986), Correlating sensory with instrumental texture measurements—an

overview of recent developments. *Journal of Texture Studies*, 18: 1-15.

<https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1987.tb00566.x>

Universidad Nacional de Colombia. (2017). *Definición de bloques completos al azar*. Obtenido de

http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un6/cont_602-86.html

Vásquez, F., & Verd, S. (2017). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena,

maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan.

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 25(71), 19-26.

Villanueva, R. (2014). *El gluten del trigo y su rol en la industria*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/327097874.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Diseño experimental 3²

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
30	1	19,857	0,29572	5,9389	-0,00093699
		16,169	0,29398	5,4965	-0,0010877
		21,0819	0,31809	6,437	-0,00085788
		23,958	0,24533	5,3449	-0,0008246
		22,29	0,25829	6,0068	-0,00084785
		22,312	0,24896	5,6803	-0,0010098
		17,135	0,30003	5,9882	-0,0010081
		21,677	0,28883	6,4674	-0,0010327
		23,618	0,27567	6,0845	-0,00096519
		13,742	0,30531	5,9477	-0,0011281
		17,901	0,32752	5,9847	-0,0011959
		19,8	0,30472	5,9587	-0,00073783

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
30	2	28,019	0,25335	5,146	-0,0019176
		18,818	0,26094	5,1646	-0,0022398
		13,656	0,28031	5,318	-0,0025596
		25,109	0,24577	5,3648	-0,0019989
		20,78	0,22319	4,7941	-0,001983
		24,005	0,20382	5,1132	-0,0021139
		22,295	0,26684	5,8118	-0,0020008
		25,018	0,28093	5,6413	-0,0019362
		23,464	0,24519	5,3113	-0,0021313
		13,387	0,248	5,1207	-0,0027118
		17,517	0,28213	5,5578	-0,0020819
		10,646	0,30111	5,0982	-0,00272

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
30	3	25,018	0,24934	4,7766	-0,0032421
		19,136	0,25169	5,3867	-0,0038872
		16,96	0,25453	4,7483	-0,0035214
		25,209	0,2347	4,6534	-0,0027739
		28,286	0,1996	4,7773	-0,002414
		39,378	0,17606	4,3945	-0,0023538
		19,893	0,2329	5,081	-0,0040639
		22,442	0,24603	4,9441	-0,0035635
		24,977	0,25375	5,3936	-0,0036191
		12,686	0,19159	3,9254	-0,0038914
		14,396	0,23641	4,3099	-0,0037983
		17,429	0,24162	4,528	-0,0034804

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
50	1	37,537	0,28028	5,9389	-0,0014899
		21,462	0,28102	5,4965	-0,0013257
		22,622	0,23418	6,437	-0,0018104
		52,398	0,19707	5,3449	-0,00037972
		37,637	0,2011	6,0068	-0,00055314
		26,769	0,21932	5,6803	-0,00090179
		43,827	0,25184	5,9882	-0,0013303
		33,998	0,23934	6,4674	-0,00097099
		31,764	0,27558	6,0845	-0,0011277
		17,427	0,3019	5,9477	-0,0015056
		25,906	0,27172	5,9847	-0,001126
		26,512	0,25164	5,9587	-0,0016847

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
50	2	25,853	0,23797	9,4978	-0,0032967
		27,51	0,23919	9,4433	-0,0029516
		28,67	0,24918	8,6566	-0,0023702
		34,549	0,20394	8,2721	-0,0025173
		31,714	0,19304	8,6672	-0,002546
		49,744	0,18392	8,1146	-0,002438
		36,147	0,20004	9,8543	-0,0032106
		28,606	0,19964	9,3509	-0,0026786
		28,691	0,22429	9,141	-0,0027194
		20,151	0,25237	8,5684	-0,0032795
		21,937	0,26228	8,6492	-0,0032529
		28,409	0,22865	9,2285	-0,0028453

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
50	3	28,743	0,22354	7,7691	-0,0047459
		19,101	0,16623	7,7828	-0,0047597
		26,401	0,24198	8,3275	-0,0041995
		29,044	0,1658	7,4419	-0,0043782
		45,112	0,17629	7,4858	-0,0032777
		66,409	0,19558	8,0257	-0,0032482
		22,846	0,19484	7,9589	-0,0047664
		32,398	0,18449	8,6821	-0,0048218
		32,326	0,18983	8,3852	-0,0050105
		19,614	0,20844	7,0797	-0,0044716
		31,388	0,2379	8,5021	-0,004462
		27,924	0,21329	8,5597	-0,0046484

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
65	1	111,63	0,22058	11,732	-0,00010715
		37,297	0,28121	12,728	-0,00054568
		36,86	0,23516	12,651	-0,00012983
		56,555	0,20957	11,057	-0,00019998
		41,406	0,21226	11,708	-0,001157
		55,045	0,18404	11,004	-0,0014302
		51,928	0,23464	13,329	-0,00083904
		37,956	0,23322	13,272	-0,0017821
		51,364	0,23628	13,283	-0,0020251
		24,151	0,23667	12,656	-0,0016209
		28,941	0,22717	12,286	-0,0019293
		31,231	0,23915	12,812	-0,0019147

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
65	2	80,06	0,21866	9,9558	-0,0010531
		113,99	0,18325	9,9048	-0,00015984
		37,486	0,24371	10,242	-0,0017815
		77,244	0,1647	9,4301	-0,0025827
		75,754	0,20204	10,586	-0,0035629
		62,099	0,18847	10,066	-0,0033984
		47,488	0,23771	12,371	-0,0039231
		62,6	0,21702	12,241	-0,0036136
		64,986	0,2262	12,397	-0,0032439
		34,744	0,2121	11,206	-0,0033343
		38,542	0,21475	10,806	-0,0037657
		29,907	0,23277	10,881	-0,0037233

Porcentaje de Compresión	Fuerza de Activación [N]	Dureza 1 [N]	Cohesividad	Elasticidad [mm]	Adhesividad [J]
65	3	40,411	0,22653	9,1174	-0,0053465
		72,127	0,232	9,5106	-0,0046201
		69,376	0,22572	9,0309	-0,0041358
		84,734	0,19245	8,2488	-0,0036715
		55,466	0,17073	8,7379	-0,0037921
		50,463	0,17998	9,3905	-0,0046287
		63,401	0,2045	11,105	-0,0048385
		39,099	0,19308	10,55	-0,0053785
		49,844	0,19915	10,593	-0,0057092
		37,297	0,19392	9,8767	-0,0053277
		46,324	0,20757	10,224	-0,0049336
		29,547	0,19491	8,9233	-0,0048721

Apéndice B. Tabla de valores críticos para comparaciones pareadas de Kemp et al.

Appendix 7 Critical values table for paired comparison and paired difference test (two tailed)

Minimum numbers of correct responses to reject the null hypothesis of 'no difference' or 'no preference' at selected significance levels with a total number of assessors 'n'.

n	Significance (%)			n	Significance (%)		
	5	1	0.1		5	1	0.1
5	–	–	–	31	22	24	25
6	6	–	–	32	23	24	26
7	7	–	–	33	23	25	27
8	8	8	–	34	24	25	27
9	8	9	–	35	24	26	28
10	9	10	–	36	25	27	29
11	10	11	11	37	25	27	29
12	10	11	12	38	26	28	30
13	11	12	13	39	27	28	31
14	12	13	14	40	27	29	31
15	12	13	14	41	28	30	32
16	13	14	15	42	28	30	32
17	13	15	16	43	29	31	33
18	14	15	17	44	29	31	34
19	15	16	17	45	30	32	34
20	15	17	18	46	31	33	35
21	16	17	19	47	31	33	36
22	17	18	19	48	32	34	36
23	17	19	20	49	32	34	37
24	18	19	21	50	33	35	37
25	18	20	21	52	34	36	39
26	19	20	22	56	36	39	41
27	20	21	23	60	39	41	44
28	20	22	23	64	41	43	46
29	21	22	24	68	43	46	48
30	21	23	25	70	44	47	50