

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estrategias para alargar la vida útil en la industria de
panificación**

María Paula Guerrero Galván

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero en Alimentos

Quito, 22 de julio de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Estrategias para alargar la vida útil en la industria de panificación

María Paula Guerrero Galván

Nombre del profesor, Título académico

Lucía Ramírez Cárdenas, Ph.D.

Quito, 22 de julio de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: María Paula Guerrero Galván

Código: 00130160

Cédula de identidad: 1720012911

Lugar y fecha: Quito, julio de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

Los cereales y productos de panificación son importantes en la dieta de los ecuatorianos, especialmente por su valor nutricional. Su procesamiento hasta la obtención del producto final incluye una serie de controles que garanticen su calidad y satisfagan las exigencias sensoriales del consumidor. El objetivo de este trabajo fue plantear una metodología con aplicación industrial que permita determinar y establecer estrategias para alargar la vida útil del pan. Se incluye la aplicación de diseños experimentales para evaluar cambios en el proceso de horneado y la adición de enzimas o gomas, para mejorar atributos sensoriales característicos como aroma, sabor y suavidad a lo largo del tiempo. Las variables de respuesta analizadas estadísticamente (humedad, pH, comportamiento reológico, índice de retrogradación y pruebas de nivel de agrado) permitirán escoger la solución que mejor se adapte a cada proceso. También es importante considerar el tipo de embalaje empleado para mantener atributos sensoriales esperados por el consumidor.

Palabras clave: Pan, humedad, índice de retrogradación, comportamiento reológico, evaluación sensorial.

ABSTRACT

Cereals and bakery products are important in the diet of Ecuadorians, especially for their nutritional value. The production process includes a series of controls that guarantee its quality and satisfy the sensorial demands of the consumer. The objective of this work was to propose a methodology with industrial application that allows determining and establishing strategies to extend shelf life of bread. The application of experimental designs is included to evaluate changes in the baking process and the addition of enzymes or gums to improve characteristic sensory attributes such as aroma, flavor and softness over time. The response variables statistically analyzed (humidity, pH, rheological behavior, retrogradation index and tests of level of satisfaction) will allow to choose the solution that best suits each process. It is also important to consider the type of packaging used to maintain sensory attributes expected by the consumer.

Key words: Bread, humidity, retrogradation index, rheological behavior, sensory evaluation.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
DESARROLLO DEL TEMA.....	13
CONCLUSIONES.....	34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXO1: EJEMPLO DE ENCUESTAS	43
ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN F.....	46
ANEXO 3: PUNTOS PORCENTUALES SUPERIORES DE LA AMPLITUD ESTUDENTIZADA QP	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Esquema de asignación de muestras	21
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva obtenida de Mixolab	25
Figura 2: Curva de Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	26
Figura 3: Ejemplo de gráfico araña	28

INTRODUCCIÓN

Los cereales son una fuente alimenticia significativa tanto para el ser humano como para el sector agropecuario debido a que su composición química aporta componentes como aminoácidos y fibras que son necesarios en una alimentación balanceada, por lo que su producción es muy importante en la industria (FAO, 2020). Los cereales y sus subproductos son de consumo masivo en Ecuador por el alto impacto que estos traen a la dieta de los consumidores, el bajo costo, fácil acceso y las características sensoriales de los productos desarrollados. Según FAOSTAT (2013), los ecuatorianos consumen alrededor de 254 gramos de cereales y sus derivados al día, siendo los más comunes el arroz, el maíz y el trigo. Se estima que en el periodo 2020-2021 se tendrá un crecimiento de utilización de cereales del 1.6% a nivel mundial lo que involucraría que el consumo de productos industrializados aumente (FAO, 2020).

El grano de cereal está compuesto por diferentes capas que permite obtener una amplia variedad de productos como pan, fideos, galletas, aceites, cereales de desayuno, entre otros que son más atractivos para los consumidores (Wang, Liu, Shi, Hu, Liu, Wang y Yu, 2017). La tendencia actual es la búsqueda de alimentos que sobresalgan debido a sus características como alto valor nutricional, propiedades funcionales y el concepto de que están listos para el consumo creando un valor agregado y mayor satisfacción hacia al producto (Mellado y Haros, 2016).

En la industria alimenticia toda la producción debe pasar por una serie de controles que garanticen su excelente calidad y es por esto que en el procesamiento de cereales se utiliza el contenido de humedad como un indicador de vida útil por su relación con la parte microbiológica, y, por lo tanto, con la calidad tanto del pan como del proceso (Tirado, Montero y Acevedo, 2015). Un estudio de vida útil determina la vida en percha del alimento, es decir que estima el tiempo en el que este no sufre cambios organolépticos que afecten su calidad por factores como la

composición, empaque, almacenamiento, transporte y proceso del producto. Existen diferentes métodos como vida útil acelerada, Weibull y método directo (Nuñez, Hernández, Rodríguez, Rodríguez y Torres,2016).

Los análisis microbiológicos se ven directamente relacionados con la estabilidad debido a que podrían llegar a cambiar propiedades organolépticas como apariencia y sabor por la presencia de hongos o bacterias que a la vez se ven asociadas al deterioro del pan (Fierro y Jara, 2010). Por otro lado, los análisis físico-químicos importantes en el pan son la humedad, proteínas totales, extracto etéreo, cenizas y fibra que dependerán únicamente de las características intrínsecas del producto (Obregón, Contreras, Muñoz, Ayquipa y Fernández, 2013). Dentro del proceso de elaboración se establecen puntos críticos durante la recepción de materia prima, horneado, y almacenamiento, analizando variables como pH, humedad del pan, humedad relativa del ambiente y temperatura. Todas estas variables influyen sobre las características organolépticas debido a que la combinación de dos o más pueden crear el ambiente perfecto para microorganismos o la proliferación de esporas lo que involucraría una contaminación del pan (Yauri y Romero, 2016).

Las propiedades reológicas de una masa determinarán su comportamiento durante el manejo mecánico y frente a los cambios de temperatura afectando directamente sobre la calidad del pan. El análisis realizado por equipo Mixolab es una herramienta que permite medir propiedades de una masa real como resistencia, estabilidad, elasticidad, entre otras para poder obtener una curva con parámetros base con el fin de lograr comparaciones entre los diferentes productos o formulaciones (Koksel, Kahraman,Snal, Sivri y Dubat, 2009).

El almidón es un componente que es responsable del endurecimiento del pan debido a que luego del horneado la temperatura baja lo que crea la firmeza característica de la miga, fenómeno conocido como retrogradación y relacionado con la vida útil. El índice de este

proceso expresa la relación entre la retrogradación de la amilopectina y la entalpía de gelatinización lo que ayuda a determinar el tiempo en el que ocurren cambios físicos. En la industria se utilizan enzimas o gomas que permiten retrasar esta retrogradación del almidón aumentando así la vida en percha (Ronquillo, 2012).

Finalmente, una evaluación sensorial permite obtener el punto de vista de los clientes externos sobre sus gustos, preferencias y requisitos de aceptabilidad. El método de análisis que se realiza normalmente dentro de las empresas para un mejoramiento de la calidad y el mantenimiento de los procesos incluye pruebas con consumidores. Se basa en establecer una comparación de atributos característicos con una escala hedónica para obtener datos estadísticos como sustento el momento de la toma de decisiones (Ramírez, Murcia y Castro, 2014).

El objetivo de este trabajo fue plantear una metodología que permita determinar y establecer estrategias para alargar la vida útil en la industria de panificación.

DESARROLLO DEL TEMA

Metodología

Fundamento.

Humedad.

La humedad en un alimento indica la cantidad de agua presente que dependerá de la composición química del alimento y es primordial para predecir su vida útil (Greenfield y Southgate, 2003). La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2945 (INEN,2014) incluye como requisito para el pan, el análisis de humedad debido a su relación directa con la estabilidad del producto en términos de inocuidad y aspectos organolépticos estableciendo como máximo el 45%.

pH.

El pH de un alimento indica la cantidad de iones hidrógeno que contiene y que es generada por la disociación de ácido. Este parámetro permite predecir la vida útil del producto considerando la inocuidad debido a su influencia con la proliferación de microorganismos, hongos y levaduras (Greenfield y Southgate, 2003). De acuerdo con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2945 (INEN,2014) el pH debe estar en un rango de 4.3-7.0.

Comportamiento Reológico.

El comportamiento de la masa está relacionado con parámetros como la absorción de agua, gelatinización del almidón, contenido de proteínas, entre otros, que afectan directamente a la calidad del pan. El análisis reológico mide el torque de la masa durante el mezclado combinado con un aumento de temperatura para obtener como resultado información de la muestra por medio de una curva (AACC, 2010).

Índice de Retrogradación.

El almidón es un componente presente en todos los productos de panificación involucrado con la vida útil específicamente con la dureza del pan debido a que en la etapa de enfriamiento comienza la retrogradación de la amilopectina. El índice de retrogradación analiza y compara diferentes muestras para la toma de decisiones. Se recomienda que para aumentar la vida útil el índice de retrogradación del almidón debe ser menor a 2.16 y puede calcularse aplicando la siguiente fórmula (Toaquiza, 2011):

$$IR = \frac{\Delta H_{re}}{\Delta H_{ge}}$$

Dónde:

IR: Índice de retrogradación

ΔH_{re} : Entalpía de retrogradación

ΔH_{ge} : Entalpía de gelatinización

Evaluación Sensorial.

Dentro de los atributos sensoriales de un pan, el sabor, aroma y suavidad se consideran los más importantes para el consumidor por lo que se quiere obtener una calificación alta dentro de la escala establecida y se definen de la siguiente manera (Meilgaard, Carr y Civille, 2007):

- i) Sabor: impresiones percibidas a través de los sentidos químicos de un producto en la boca que incluyen compuestos aromáticos (sustancias volátiles) y percepciones gustativas.
- ii) Aroma: percepción de compuestos volátiles percibidos por el sistema olfativo de un alimento en la boca (ruta retronasal).

iii) Suavidad: reacción al estrés medida por el sentido kinestésico en los músculos de la lengua.

Planificación y muestras.

Considerando que el pan en el mercado tiene una vida útil de 15 días, y con el propósito de alargar a 21 días, se propone realizar 5 puntos de control:

1. Día 0
2. Día 15
3. Día 17
4. Día 19
5. Día 21

Todas las muestras de panes deben ser adquiridas y tratadas bajo las mismas condiciones de transporte y almacenamiento (Meilgaard, Carr y Civille, 2007). Para los análisis de pH y humedad no se deberá tomar en cuenta las tapas del molde. El comportamiento reológico se evalúa en muestras de harina (aproximadamente 400-500 g) (AACC, 2010) y en una masa ya preparada (30 g) se determina el índice de retrogradación (TA instruments, 2007). Todos los análisis mencionados deben realizarse por duplicado. En la evaluación sensorial se recomienda que cada panelista reciba una muestra de 25 g que equivale a una rodaja.

Procedimiento

Análisis de humedad.

Materiales y equipos.

- Termobalanza Mettler Toledo HB43-S
- Platillos de aluminio
- Espátula

- Brocha

Procedimiento (Mettler Toledo, 2008).

1. Encender el equipo.
2. Fijar el protocolo que para pan es el 1581.07 a 135°C (min-automático). Cuando se ingrese cada parámetro pulsar ENTER y aceptar los cambios que se han realizado.
3. Tarar el plato de Aluminio.
4. Pesar de 3 a 5 g de pan en trozos pequeños.
5. Colocar el producto.
6. Esparcir el producto.
7. Cerrar la tapa del equipo.
8. Registrar la pérdida de peso o en su caso el contenido de humedad después de 10-15 min o bien cuando ya no haya variación en la lectura.

Análisis de pH.

Materiales y equipos.

- Potenciómetro Mettler Toledo
- Agua destilada
- Erlenmeyer
- Barillas de vidrio o agitador metálico

Procedimiento (AACC, 1999).

1. Conectar y encender el equipo.
2. Verificar que se encuentre calibrado. Siguiendo el protocolo de Mettler Toledo (2016), se debe sumergir el electrodo en la solución Buffer y esperar que la medición se estabilice. Sacar

el electrodo y lavar para continuar con la siguiente determinación. El orden de calibración de las soluciones es de menor al mayor valor: 4, 7 y 10.

3. Colocar 15 gramos de miga de pan (sin la corteza) en trozos pequeños en un Erlenmeyer.
4. Agregar 100 ml de agua destilada.
5. Homogenizar con un agitador mecánico o agitación manual hasta que la mezcla no tenga grumos y se mantenga en suspensión durante 30 minutos.
6. Dejar reposar la solución por 10 minutos.
7. Eliminar el exceso de líquido.
8. Retirar el electrodo del soporte.
9. Retirar la tapa con la solución del electrodo.
10. Lavar el electrodo con agua destilada.
11. Insertar por completo el electrodo en la mezcla previamente preparada.
12. Presionar el botón de medir y esperar que la medida se mantenga estable.
13. Sacar el electrodo, lavar con agua destilada y secar.
14. Tapar el electrodo y colocar en el soporte.

Comportamiento Reológico.

Materiales y equipos.

- Balanza
- Chopin Mixolab
- Software para Mixolab
- Procesador
- Agua destilada
- Muestra de harina

Procedimiento (AACC, 2010).

1. Conectar y encender el equipo.
2. Llenar el tanque con agua destilada.
3. Ingresar al programa y seleccionar “preparar una prueba” y seleccionar el protocolo Chopin +.
4. Ingrese los datos de la prueba a realizar.
5. Ingresar el porcentaje de absorción de agua aproximado y seleccionar la opción de 14% de base húmeda.
6. Ingresar el porcentaje de humedad de la muestra y en el monitor le indicará la cantidad de harina a pesar.
7. Pesar la harina.
8. Insertar la harina en el lugar indicado y tapar.
9. El ensayo comenzará de manera automática.
10. Verificar que dentro de los primeros 8 minutos de la prueba la curva mostrada se encuentre dentro del rango aceptable*
11. Una vez terminado el ensayo retirar el tazón con la muestra y sumergir en agua.
12. Desarmar el tazón para poder limpiarlo.
13. Secar todas las piezas del tazón.

*En el caso de que no esté en el rango aceptable, parar la prueba limpiar el tazón de la muestra y repetir desde el paso 3 con nuevos valores de absorción de agua.

Índice de retrogradación.

Materiales y equipos.

- Differential scanning calorimetry (DSC)

- Muestra de la masa
- Cápsulas de acero
- Balanza

Procedimiento (TA instruments, 2007).

1. Conectar y encender el equipo.
2. Verificar que el equipo se encuentre calibrado.
3. Pesar de 18-20 mg de muestra en las cápsulas de acero.
4. Abrir la tapa del equipo.
5. Cerrar las cápsulas de acero e insertarlas en el equipo.
6. Cerrar la tapa del equipo.
7. Introducir la información que le pide el equipo.
8. Presionar el botón de comenzar.
9. Una vez que haya terminado el proceso retirar con cuidado la muestra y repetir las veces que sea necesario.

*Correr un blanco con la cápsula vacía.

Evaluación sensorial.

Control de ambiente y lugar.

El espacio físico para realizar la evaluación sensorial deberá estar diseñado para reducir al máximo o eliminar el sesgo. El área donde se llevará a cabo la prueba debe estar separado de áreas con ruido o congestionadas para evitar la distracción de los panelistas y deberá ser de fácil acceso. La temperatura del lugar deberá estar en un rango de 22 a 25 ° C, con colores del espacio neutros (como paredes, escritorios, entre otros). En el caso que las muestras presenten una diferencia muy amplia de color se podrá utilizar diferentes tonalidades de luces para enmascarar.

Cada puesto para la evaluación deberá contar con un esfero, la encuesta, muestras del producto, servilleta, escupidores, vaso de agua y limpia paladares en caso de que sean necesarios (Meilgaard, Carr y Civille, 2007).

Jueces.

Dentro de las pruebas de nivel de agrado, está la de aceptación en la que participan consumidores del producto como panelistas no entrenados y para tener un sustento estadístico el número mínimo es 60. Se deberá evitar que los jueces sean personas fumadoras, bajo el efecto de cualquier tipo de sustancias tóxicas como alcohol o drogas o en tratamiento fuerte que pueda afectar a la percepción del gusto (Lawless y Heyman, 2010).

Encuestas.

A cada panelista se le entregará un folleto con una serie de preguntas sobre su información demográfica, las instrucciones de la prueba y la encuesta planteada para la evaluación de sabor, aroma, suavidad y calificación global, utilizando una escala hedónica de 5 puntos (Anexo 1). Para la percepción del aroma se debe considerar que es un atributo medido por la ruta retronasal (Molina, 2011).

Preparación de muestras.

La preparación de las muestras deberá realizarse en el laboratorio de evaluación sensorial siguiendo todas las normas de inocuidad que incluyen la correcta manipulación de alimentos, para evitar que existan variables que afecten a la prueba o pongan en riesgo la salud de los participantes. Por otro lado, cada muestra deberá ser numerada con un código de 3 dígitos aleatorios (Lawless y Heyman, 2010)

Materiales y equipos

- Fundas plásticas

- Moldes de pan
- Vasos desechables
- Selladora

Procedimiento

1. Sacar las rebanadas del pan de su empaque
2. Separar las tapas o extremos del molde del resto de rebanadas
3. Colocar cada rebanada en una funda individual con su respectivo código
4. Sellar la funda
5. Almacenar a temperatura ambiente (25°C)
6. Servir las muestras una a la vez (monádico)

En caso de que se evalúe más de una muestra, se deberá cumplir el principio de balanceo y aleatorización entre todos los panelistas. Por ejemplo, si son tres muestras, el orden será el que se presenta en la Tabla 1 (Meilgaard, Carr y Civille, 2007). Dependiendo del número de participantes esta distribución podrá ser repetida.

Tabla 1: Esquema de asignación de muestras

Número de puesto	Orden
1	ABC
2	ACB
3	BCA
4	BAC
5	CBA
6	CAB

Planteamiento de soluciones

Ajuste del proceso de horneado.

En caso de que en las pruebas sensoriales la percepción sea, que el pan es muy duro se sugiere analizar el proceso de producción, planteándose un cambio de condiciones del horneado. Las temperaturas y tiempos dependerán del tamaño y peso del pan. Sin embargo, varían entre 200-275 ° C por 18-30 minutos considerando un pan del molde de 500 gramos (Fierro y Jara, 2010). Para esto puede aplicarse un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2², correspondiente a la combinación de temperatura (200 ° C y 250 ° C) y tiempo (18 y 22 minutos), 3 repeticiones, con un total de 12 unidades experimentales

Las variables de salida serían: Humedad y evaluación sensorial.

Reformulaciones.

En la producción del pan existen varios factores que puede afectar a sus características sensoriales (aroma, sabor y suavidad), como el uso de enzimas, emulsificantes, gomas y la cantidad de grasa que se utiliza dentro de la formulación (Fierro y Jara, 2010).

Enzimas.

Existe una variedad de enzimas utilizada en la industria de panificación con diferentes efectos en las materias primas o en el producto final. La combinación de amilasas con xilanasas (60-90 ppm) contribuye a la suavidad y prolongación de vida útil del pan (Kaltsa, Georgopoulou, Yanniotis y Mandala, 2013).

La mejor combinación podría ser evaluada utilizando un DCA, con cinco tratamientos (4 experimentales y un control), 3 repeticiones y un total de 15 unidades experimentales. La variable de entrada sería la combinación de ambas enzimas (Veron SX, AB Enzymes, Darmstadt Germany). Por lo tanto, los tratamientos serían:

- Tratamiento 1: Amilasa+ xilanasa: 0 ppm (control)
- Tratamiento 2: Amilasa+ xilanasa: 60 ppm
- Tratamiento 3: Amilasa+ xilanasa: 70 ppm
- Tratamiento 4: Amilasa+ xilanasa: 80 ppm
- Tratamiento 5: Amilasa+ xilanasa: 90 ppm

Para determinar los mejores tratamientos, la humedad, índice de retrogradación, Mixolab y pruebas sensoriales deberán ser consideradas como variables de respuesta.

Gomas.

El uso de gomas en la industria de panificación ayuda a mejorar la suavidad del producto a lo largo del tiempo de almacenamiento, debido a la reacción entre el almidón y la goma que modifica la estructura causando picos endotérmicos con aumento de la entalpía de gelatinización y, por lo tanto, el índice de retrogradación al igual que la retención de humedad son mejorados. Las gomas más utilizadas son la xanthan, guar y carboximetilcelulosa (CMC). Para evaluar el efecto de diferentes concentraciones de CMC (variable de entrada), se propone aplicar un Diseño Completamente al Azar con 3 tratamientos, 4 repeticiones y 12 unidades experimentales. Las variables de salida serían el índice de retrogradación del almidón, contenido de humedad, Mixolab y pruebas sensoriales. De acuerdo con las concentraciones de CMC sugeridas por Ammar, Sidde, Chamba, Kimani, Aglan, Howladar, Refai, Afifi, Ali, Hajjar, Gusm, Saleh y Baeshen, (2020), los tratamientos recomendados son:

- CMC 0% (control)
- CMC 0.3 %
- CMC 0.5%

Evaluación Sensorial.

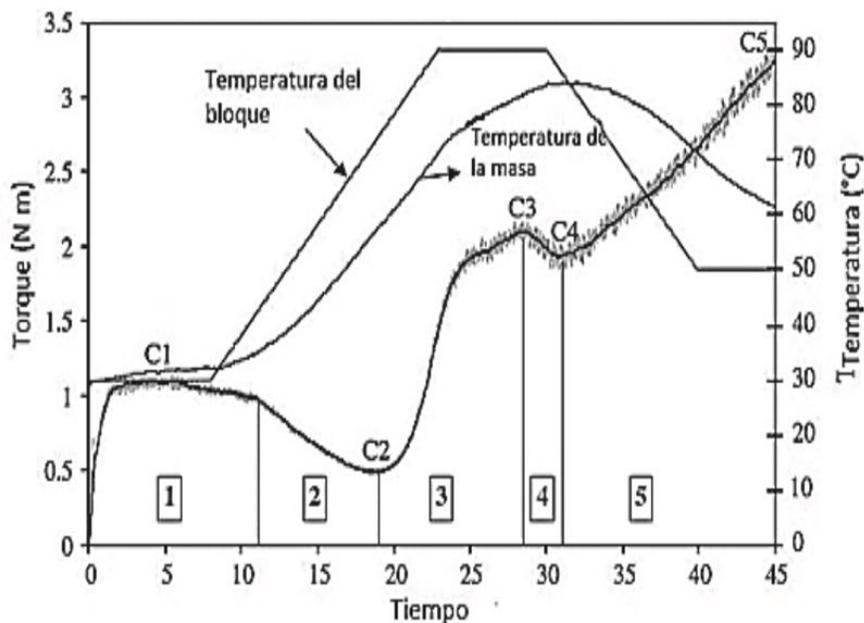
Luego de realizar los cambios en el producto repetir las pruebas sensoriales descritas en la sección anterior.

Resultados

Comportamiento Reológico.

El análisis del equipo Mixolab presenta una curva que contiene 5 fases (Figura 1). Cada zona corresponde a parámetros de temperatura, tiempo y torque que desarrolla la mezcla de harina con agua (Dubat,2010):

- Fase 1, Mezclado inicial: La temperatura se mantiene constante (30 ° C) por 8 minutos y se crea un proceso de amasado para la formación de la masa y obtención de datos del comportamiento de la misma.
- Fase 2, Debilitamiento de proteínas: La temperatura varía de 30-60 ° C para la reducción del torque, lo que es un indicador de la calidad de las proteínas.
- Fase 3, Gelatinización: La temperatura en esta fase varía de 60-90 ° C para que los gránulos de almidón estallen y medir los niveles de absorción que dependerán de la actividad de la amilasa.
- Fase 4, Estabilidad durante el horneo: La temperatura se mantiene constante a 90 ° C para determinar la estabilidad del de almidón durante el proceso de horneo.
- Fase 5, Retrogradación: La temperatura baja de 90 ° C a 50 ° C lo que incrementa el torque indicando la forma de la retrogradación del almidón que está relacionada con el envejecimiento del pan.

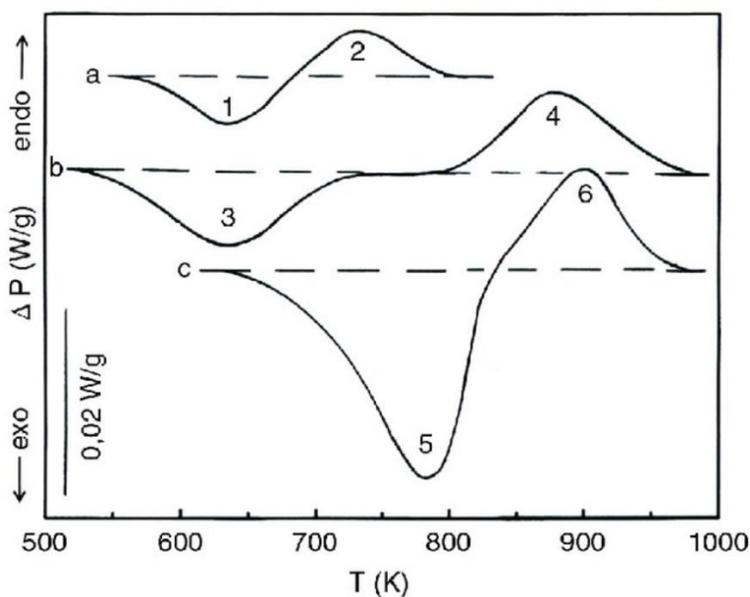
Figura 1: Curva obtenida de Mixolab

Fuente: Contreras, Quezada, Cuenca, Martínez, Ruilova y Martínez, 2017

Índice de Retrogradación.

El Differential scanning calorimetry (DSC) muestra curvas de las muestras por separado y los datos obtenidos son en forma de entradas diferenciales de calor en función de la temperatura (dH/dt) lo que permite obtener las entalpías de la reacción. La determinación requiere medir el área del pico endo o exotérmico de la curva (Sandoval, Rodríguez y Fernández, 2005). Una vez obtenidas las entalpías se aplica la fórmula descrita en la sección 2.1.4 y se calcula el índice de retrogradación.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de una curva obtenida del equipo DSC para aleaciones de metales donde en el eje y se muestra el flujo de calor ocurrido en la reacción mientras que en el eje x se muestra la temperatura en kelvin (Donoso, 2014).

Figura 2: Curva de Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Fuente: Donoso,2014

Evaluación Sensorial.

Para pruebas de nivel de agrado participan jueces no entrenados (consumidores) y puede utilizarse una escala hedónica de 5 puntos con las siguientes anclas:

- Me disgusta mucho
- Me disgusta
- Ni me disgusta ni me gusta
- Me gusta
- Me gusta mucho

Análisis de datos.

Si solo se analiza una muestra, el promedio de la calificación de todos los panelistas es la percepción que se considera para cada atributo (Lawless y Heyman, 2010).

En las preguntas propuestas en el Anexo 1 se espera que la calificación tienda hacia promedios cercanos a 5 o se encuentre en su mayoría en el rango de 4 a 5.

Cuando sean más muestras los datos serán interpretados mediante un análisis de varianza (ANOVA). La prueba F aplicada ($F \text{ calculada} \geq F \text{ tabla}$) o el valor P (\leq nivel de significancia) determinarán la diferencia significativa entre las muestras (Sánchez-Otero, 2018). Este análisis estadístico puede ser realizado utilizando softwares como Minitab o SAS o comparando con la tabla (Anexo 2) el valor de F calculado con la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\text{Cuadrados medios de las muestras}}{\text{Cuadrados medios del error}}$$

Cuando sean solo dos muestras estos resultados ya son conclusivos, siendo las hipótesis:

$$\text{Hipótesis nula [H0]: } \mu_1 = \mu_2$$

$$\text{Hipótesis alternativa [H1]: } \mu_1 \neq \mu_2$$

En el caso de tres o más muestras, si existe diferencia significativa entre los tratamientos se aplicará una prueba de medias, considerándose las siguientes hipótesis:

$$\text{Hipótesis nula [H0]: } \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots = \mu_N$$

$$\text{Hipótesis alternativa [H1]: } \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \dots \neq \mu_N$$

La prueba de Tukey tiene como objetivo comparar las medias de las muestras para ubicarlas en rangos y es la más utilizada por su rigurosidad intermedia. Para realizar esta prueba se deben ordenar las medias de manera ascendente o descendente y obtener la diferencia entre cada par de medias para poder comparar cada una con el valor T. En el caso que la diferencia entre las medias sea menor al valor de T no existe diferencia estadística y estas medias tendrán el mismo rango. Para calcular el valor T se utiliza la siguiente fórmula (Sánchez-Otero, 2018):

$$T = Q_{(\alpha, p, v)} * (S_{\bar{y}})$$

Dónde:

Q: Valor obtenido de la tabla del Rango Estudentizado (Anexo 3)

α : Nivel de significación

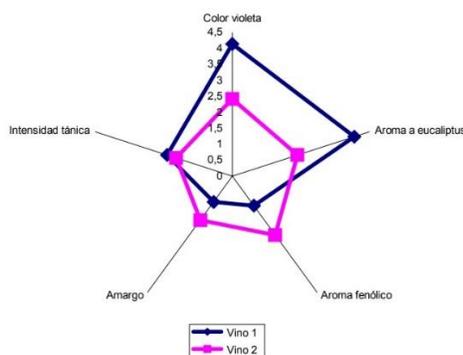
p: Número de medias de tratamientos

v: grados de libertad del error experimental

Gráfico araña.

Los resultados de la evaluación sensorial pueden ser mostrados de manera gráfica para una mejor y más rápida interpretación. El gráfico de radar o araña es una herramienta utilizada para presentar datos multivariados con más de dos variables representadas en los ejes (radios) que comienzan desde el origen. En cada radio se determina un punto con el promedio obtenido que corresponde a la magnitud de la variable para luego trazar una línea entre todos, formando su apariencia característica como se observa en la Figura 3 (Chapagain, 2001). También puede ser utilizado para pruebas con consumidores en que se aplican escalas hedónicas, si es de 5 puntos se busca que los atributos obtengan en promedio un valor entre 4- 5 (nivel de agrado) y al graficar todas las muestras se escogería como la mejor la que más se aleje del centro del gráfico en todos o la mayoría de los atributos.

Figura 3: Ejemplo de gráfico araña



Fuente: Catania y Avagnina, 2003

Discusión

El pH es un parámetro que ayuda a determinar la vida útil del producto debido a que es un factor que inhibe el crecimiento de mohos, levaduras y microorganismos responsables del deterioro (Greenfield y Southgate, 2003). En el caso de que la masa y el producto final tengan un pH muy alto, se puede adicionar compuestos conservantes y suavizantes como el propionato de calcio o el ácido sórbico encapsulado (Arguello, 2019). Durante el proceso de elaboración es normal que el valor de pH disminuya por la fermentación, pero debe mantenerse dentro del rango permitido de 4.3-7 (INEN,2014). Alcanzar un valor óptimo de pH es importante para el desarrollo de los atributos sensoriales, ya que ayuda a la liberación de compuestos responsables de aromas característicos al igual que favorece la reacción de Maillard responsable del color de la corteza (Serrano, 2016). No existe evidencia de una relación entre el pH y la suavidad del pan blanco durante el tiempo de almacenamiento, pero un pH menor a 4.5 puede causar cambios en el comportamiento reológico de la masa dañando la red de gluten que influenciará sobre las características sensoriales del producto horneado (Arguello, 2019).

El contenido de humedad en los panes varía dependiendo de la materia prima, el proceso, así como el empaque y afecta la calidad final del producto a través del tiempo. La naturaleza de la harina juega un papel importante sobre la humedad debido a su contenido de almidón al igual que la proporción de amilosa y amilopectina presente. La amilosa es la parte lineal responsable de la retrogradación del almidón, proceso por el cual las redes formadas retienen agua en panes afectando así a la suavidad y vida útil (Luisillo, 2014). El empaque es determinante en el contenido de humedad por la relación inversa entre la humedad y el envejecimiento. El embalaje evita que la humedad migre del pan hacia el ambiente conservándolo de mejor manera y manteniendo la suavidad por más tiempo (Coppock, Knight y Vaughan, 2009). La norma técnica ecuatoriana NTE

INEN 2945 (INEN,2014) especifica que la humedad para cualquier tipo de pan no debe sobrepasar el 45%. Sin embargo, la mayoría de los estudios mencionan que varía de 30-38% en la industria (Arguello, 2019). Los materiales de empaque más utilizados industrialmente son las fundas polietileno y polipropileno debido a su efecto de minimizar las reacciones responsables del deterioro durante el almacenamiento. Cioban, Alexa, Sumalan y Merce (2010) han reportado que el empaque de polietileno en panes conserva su frescura por 2 días con apareamiento de hongos al séptimo, mientras que el de polipropileno mantiene la frescura de 3 a 4 días y los hongos aparecen después del día 7, siendo, una mejor opción para el almacenamiento del pan. Por otro lado, materiales compuestos por diferentes capas como, por ejemplo, el empaque basado en textil con polietileno presenta mayor impermeabilidad a la humedad, gases y sabores al igual que una mejor conservación de la crocancia y elasticidad del producto luego del día 5.

Se ha demostrado que cambios en el proceso de horneado, como la combinación adecuada de tiempo y temperatura tiene un efecto sobre la suavidad del pan. A mayor temperatura y mayor tiempo de horneado existe una mayor pérdida de humedad lo que causa que el pan tenga una suavidad menor. Se debe tomar en cuenta que el interior de la masa no puede presentar una temperatura superior a 100 ° C, porque provocaría la pérdida excesiva de humedad con cambios físicos en el pan (Mesas y Alegre, 2002). Por otro lado, la temperatura del interior del producto no debe ser menor a 90 ° C debido a que esto puede afectar al proceso de gelatinización del almidón que ocurre en un rango de 95-98 ° C. También es importante considerar que a 100 ° C ocurre la volatilización de sustancias aromáticas como los aldehídos, alcoholes, entre otros, que dan las características de aroma y olor al producto final (Fierro y Jara, 2010). Podrían aplicarse modelos matemáticos para lograr determinar la combinación perfecta entre tiempo y temperatura para cada industria dependiendo de variables como el tipo de pan, cantidad de peso perdido, temperatura interna, color

de la corteza, entre otros (Bredaroil, Spatti y Vanin, 2019). Se recomienda que se hornee a 200 °C por 18-25 minutos para mantener los atributos sensoriales al igual que la estabilidad deseada (Fierro y Jara, 2010).

Las enzimas son utilizadas en la industria de cereales debido a su capacidad de cambiar las propiedades reológicas de la masa lo que mejora la calidad final del producto y alarga su vida útil (Ronquillo, 2012). Existen diferentes combinaciones de enzimas, sin embargo, la mezcla de amilasa y xilanas es la que ha demostrado que tiene un mejor efecto sobre la materia prima y el producto final (Valenzuela y Arguinarena, 2015). Kaltsa, Georgopoulou, Yanniotis y Mandala (2013) demostraron que diferentes concentraciones de enzimas influyeron significativamente en la humedad, rendimiento del pan y pérdida de agua en el almacenamiento. Una concentración de 40 ppm de la combinación de amilasa y xilanas provocó una mayor pérdida de agua durante el almacenamiento del pan al igual que una humedad baja (36.5%) mientras que 65 ppm ocasionó una menor pérdida de agua con un contenido de humedad alto (40.2%). Con 40 ppm de enzimas el producto, en el día 7 de almacenamiento, tuvo el valor más alto en la firmeza o dureza indicando que perdió la suavidad, mientras que la muestra con 90 ppm presentó menor firmeza o sea esta concentración ayudó a conservar la suavidad con una pérdida de agua intermedia entre las muestras de 40 ppm y 65 ppm. Al ser concentraciones tan pequeñas los consumidores reclutados para las pruebas sensoriales no detectaron una diferencia significativa en el sabor o apariencia del pan, pero si en la suavidad.

Otra opción para mejorar los atributos sensoriales y vida útil del pan es la adición de gomas como la xantán, guar o carboximetilcelulosa (CMC) por su efecto en la retención de agua que incrementa la humedad final. Dentro de la industria de cereales se utiliza CMC en dosis recomendadas de 0-0.5% dependiendo del tipo de pan. La adición de 0.05% de CMC a la

formulación crea una mejora significativa en la retención de humedad, volumen específico y reduce la dureza a comparación de una formulación que no contiene CMC. En el diseño experimental realizado, se obtuvo significación estadística en la mayoría de los atributos presentados por el Mixolab al añadir gomas o enzimas a la formulación como el tiempo de desarrollo y tiempo de estabilidad, aparte de las antes ya mencionadas. Es importante considerar que al agregar estos compuestos puede afectar la resistencia a la extensión de la masa lo que involucra obtener una mezcla menos elástica (Ammar et al., 2020).

Como se observa en el estudio de Wongklom, Chueamchaitrakun y Punbusayakul (2016), existe la opción de añadir 3% de CMC para obtener una reducción significativa de la dureza durante el almacenamiento del pan del día 0 al día 5. Además, una combinación de goma xanthan con CMC, en relación 2:1 respectivamente, no causó cambios significativos hasta el día 5 de almacenamiento. Tampoco existió diferencia significativa sobre la dureza al día 5 de almacenamiento entre ambos tratamientos, por lo que podrían ser aplicados para no alterar la perspectiva del consumidor.

La creación de picos endotérmicos en la masa puede ser causada por la adición de CMC, almidón de maíz o enzimas, por lo que la retrogradación tenderá a ir hacia temperaturas más bajas causando que exista una mayor entalpía de gelatinización. Estos dos componentes son necesarios para el cálculo del índice de retrogradación y la variación en cualquiera de ellos afectará este parámetro. Para lograr alargar la vida útil del pan es necesario que el índice de retrogradación sea bajo y se recomienda que debe ser menor a 2.16. para tener una retrogradación lenta (Toaquiza,2011). Al añadir almidón de maíz en concentraciones de 10% y 20% se obtuvo un índice de retrogradación de 1.02 y 1.07 respectivamente, esperándose una vida útil mayor a una formulación sin almidón de maíz (Arp, Correa y Ferrero, 2020). Por otro lado, Ammar et al. (2020)

al añadir CMC determinaron en el día 2 de almacenamiento un índice de retrogradación de 1.7 y 2 para la formulación control. Se observó también que el índice de retrogradación en la muestra con CMC se mantuvo con valores siempre bajos a lo largo del tiempo conservando la suavidad por más tiempo.

CONCLUSIONES

- Aplicar diseños experimentales adecuados para evaluar diferentes combinaciones de enzimas y gomas, además de cambios en la temperatura y tiempos de horneado como posibles soluciones, para alargar la vida útil.
- Considerar que con cualquier estrategia que quiera ser implementada industrialmente para alargar la vida útil, la percepción del consumidor (pruebas sensoriales), es fundamental ya que determinará el éxito en la comercialización del producto.
- Evaluar el tipo de embalaje que están siendo utilizado y analizar un posible cambio que pueda ayudar a una mejor conservación del producto a lo largo del tiempo.

Recomendaciones

- Realizar análisis de comportamiento reológico, índice de retrogradación, humedad y pH para obtener datos iniciales y que puedan ser evaluados después de la aplicación de estrategias para alargar la vida útil.
- En caso de cambiar el embalaje del producto realizar una publicidad adecuada para que el consumidor esté familiarizado con esta estrategia.
- Desarrollar estudios de vida útil y estabilidad acelerados con diferentes condiciones de humedad relativa, temperatura y diferentes tipos de embalajes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. (1999). *Hydrogen-Ion Activity (pH)—Electrometric Method*. Recuperado el 22 de junio del 2020 desde: <http://dx.doi.org/10.1094/AACCIntMethod-02-52.01>
- Ammar,A., Siddee,A., Chamba,M., Kimani,B., Aglan,F., Howladar,S., Refai,M., Afifi,M., Ali,H., Hajjar,D., Gusm,M., Saleh,A y Baeshen,M. (2020). *Shelf life extension of wheat bread by Alhydwan flour and Carboxymethylcellulose and improvement of their quality characteristics, dough rheological and microstructure*. Recuperado el 23 de junio del 2020 desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813020328774>
- Arguello,E. (2019). *Evaluación del efecto de la combinación de sustancias conservadoras y suavizantes de miga para extender la vida útil en pan blanco*. Recuperado el 13 de julio del 2020 desde: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19914/1/T-UCE-0008-CQU-186.pdf>
- Arp, G., Correa, J y Ferrero,C. (2020). *Kinetic study of staling in breads with high-amylose resistant starch. Food Hydrocolloids*. Recuperado el 16 de julio del 2020 desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X19319605>
- Bredaroil, P., Spatti, M y Vanin, F. (2019). *Different baking conditions may produce breads with similar physical qualities but unique starch gelatinization behaviour*. Recuperado el 14 de julio del 2020 desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819305195>
- Catania,C y Avagnina,S. (2003). *Comportamiento de diferentes cepas de levaduras en el cepaje Merlot*. Convenio INTA-Lallemand.

- Chapagain, D. (2001). *Radar Chart: A Strong Visual Tool for observing multivariate information*. Recuperado el 14 de julio del 2020 desde: http://www.dineshchapagain.com.np/admin/files/Radar%20Chart_New%20SQC%201.pdf
- Cioban, C., Alexa, E., Sumalan, R y Merce, I. (2010). *Impact of Packaging on Bread Physical and Chemical Properties*. Recuperado el 16 de julio del 2020 desde: <http://journals.usamvcluj.ro/index.php/agriculture/article/view/5070/4932>
- Contreras, O., Quezada, L., Cuenca, F., Martínez, D., Ruilova, M y Martínez, E. (2017). *Comportamiento reológico de mezclas: Harina de trigo-almidón nativo de banano cavendish destinadas para panificación*. Recuperado el 10 de julio del 2020 desde: https://www.researchgate.net/publication/326752870_COMPORTAMIENTO_REOLOGICO_DE_MEZCLAS_HARINA_DE_TRIGO_ALMIDON_NATIVO_DE_BANANO_CAVENDISH_DESTINADAS_PARA_PANIFICACION
- Coppock, J., Knight, R y Vaughan, M. (2009). *The Moisture Content of White Bread*. Recuperado el 12 de julio del 2020 desde : https://www.researchgate.net/publication/232053871_The_Moisture_Content_of_White_Bread
- Donoso, E. (2014). *Estudio cinético de las reacciones de recocado en aleaciones de Cu-Ni-Fe*. Recuperado el 11 de julio del 2020 desde: https://www.researchgate.net/publication/277677541_Estudio_cinetico_de_las_reacciones_de_recocado_en_aleaciones_de_Cu-Ni-Fe

Dubat,A. (2010). *A New AACCC International Approved Method to Measure Rheological Properties of a Dough Sample*. Recuperado el 2 de julio del 2020 desde: <https://www.cerealsgrains.org/publications/plexus/cfw/pastissues/2010/Documents/CFW-55-3-0150.pdf>

Greenfield, H. y Southgate, D. (2003). *Datos de composición de alimentos*. Recuperado el 10 de junio del 2020 desde: [https://books.google.com.ec/books?id=sj8arOGA3P0C&pg=PA111&dq=obtencion de humedad en un alimento&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiwnPeo_pLmAhWjlkKHdBBB1AQ6AEIKDA#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.ec/books?id=sj8arOGA3P0C&pg=PA111&dq=obtencion+de+humedad+en+un+alimento&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiwnPeo_pLmAhWjlkKHdBBB1AQ6AEIKDA#v=onepage&q&f=true)

FAOSTAT. (2013). *Suministro alimentario - Cultivos Equivalente primario*.

Recuperado el 4 de junio de 2020 desde: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/CC>

FAO. (2020). *Situación alimentaria mundial*. Recuperado el 5 de junio de 2020

desde: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>

Fierro,H y Jara,J. (2010). *Estudio de vida útil del pan blanco de molde*. Recuperado el 13 de

junio del 2020 desde: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9093/1/TESINAESPOL.pdf>

INEN. (2014). *Pan Requisitos*. Recuperado el 5 de junio del 2020 desde: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2945.pdf

INEN. (2010). *Bocaditos de productos vegetales. Requisitos*. Recuperado el 5 de junio del 2020

desde: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2561.pdf

Kaltsa,O., Georgopoululos,T., Yanniotis,S y Mandala,I.(2013). *Effect of enzyme blends and dough strengthening emulsifier on extending the shelf life of sandwich bread applying response surface methodology*. Recuperado el 14 de junio del 2020 desde: http://www.ijeit.com/Vol%203/Issue%204/IJEIT1412201310_25.pdf

Koksel,H., Kahraman,K., Snal,T., Sivri,D. y Dubat, A. (2009).*Potential Utilization of Mixolab for Quality Evaluation of Bread Wheat Genotypes*. Recuperado el 23 de junio del 2020 desde: https://www.researchgate.net/profile/Kevser_Kahraman/publication/249306309_Potential_Utilization_of_Mixolab_for_Quality_Evaluation_of_Bread_Wheat_Genotypes/links/00b4952f3938f24600000000.pdf

Lawless,H y Heyman,H.(2010). *Sensory Evaluation of Food: Principle and Practices*, Second Edition. In *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>

Luisillo, M. (2014). *Efecto del grado de retrogradación del almidón en el contenido de fibra dietética en masa y tortilla de maíz blanco nixtamalizado*. Recuperado el 17 de julio del 2020 desde: <http://132.248.9.195/ptd2014/marzo/0709950/0709950.pdf>

Meilgaard, M. C., Carr, B. T y Civille, G. V. (2007). *Sensory Evaluation Techniques*, Fifth Edition. In *Sensory Evaluation Techniques, Fourth Edition*. <https://doi.org/doi:10.1201/9781439832271.fmatt>

Mellado, M y Haros, M. (2016). Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz. *Brazilian Journal of Food Technology*, 19(0), 1. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.0216>

- Mesas, J y Alegre, M. (2002). *El pan y su proceso de elaboración*. Recuperado el 14 de julio del 2020 desde: <https://www.redalyc.org/pdf/724/72430508.pdf>
- Mettler Toledo. (2008). *Application Methods, HB43-S Moisture Analyzers*. Recuperado el 12 de junio del 2020 desde: <http://www.uniontek.com.cn/images/mettler/HB43-S-manual.pdf>
- Mettler Toledo. (2016). *A guide to pH Measurement*. Recuperado el 12 de junio del 2020 desde: https://www.mt.com/dam/nonindexed/po/ana/pHmeter/guides/ph_measurement_guide/51300047B_V04.16_pH_Measurement_Guide_en_LR.pdf
- Molina, E. (2011). *Análisis Sensorial de Alimentos*. Madrid: CSI-UAM- Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación, España, UAM Editorial.
- Núñez, M., Hernández, R., Rodríguez, I., Rodríguez, J., y Torres, Y. (2016). *METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS ALIMENTOS. I. PROCEDIMIENTO GENERAL*. Recuperado el 6 de junio del 2020 desde: https://www.researchgate.net/publication/321807907_METODOLOGIA_PARA_LA_ESTIMACION_DE_LA_VIDA_UTIL_DE_LOS_ALIMENTOS_I_PROCEDIMIENTO_GENERAL
- Obregón, A., Contreras, E., Muñoz, A.M., Ayquipa, R. y Fernández, W. 2013. Evaluación sensorial y físicoquímica de panes con sustitución de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por HARINAS DE MAÍZ (*Zea mays*) y PAPA (*Solanum tuberosum*). *Ciencia e Investigación*. 16, 2 (dic. 2013), 73-76.
- Ramírez, J., Murcia, C y Castro, V. (2014). *Análisis de aceptación y preferencia del manjar blanco del valle*. Recuperado el 17 de junio del 2020 desde: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n1/v12n1a03.pdf>

- Risbo, J. (2003). The dynamics of moisture migration in packaged multi-component food systems I: shelf life predictions for a cereal–raisin system. *Journal of Food Engineering*, 58(3), 239-246. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(02\)00373-4](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(02)00373-4)
- Ronquillo, H. (2012). *ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICION DE LA ENZIMA ALFA AMILASA EN UN PAN TIPO MUFFIN, ELABORADO CON DIFERENTES TIPOS DE HARINA DE TRIGO*. Recuperado el 23 de junio del 2020 desde: <https://docplayer.es/29464358-Estudio-del-efecto-de-la-adicion-de-la-enzima-alfa-amilasa-en-un-pan-tipo-muffin-elaborado-con-diferentes-tipos-de-harina-de-trigo.html>
- Sandoval, A., Rodríguez, E y Fernández, A. (2005). *Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para caracterización de las modificaciones del almidón*. Recuperado 5 de julio del 2020 desde: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532005000200004
- Serrano, M. (2016). *ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE RETROGRADACIÓN DEL ALMIDON Y DEL ENDURECIMIENTO DE LA MIGA DE PANES LIBRES DE GLUTEN*. Recuperado el 14 de julio del 2020 desde: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/14652/13557%20R-T%20RDU.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- TA instruments. (2007). *DSC Differential Scanning Calorimeter*. Recuperado el 23 de junio del 2020 desde: https://www.artisan-g.com/info/TA_Differential_Scanning_Calorimeter_Manual.pdf
- Therdthai, N., Zhou, W y Adamczak, T. (2002). *OPTIMISATION OF THE TEMPERATURE PROFILE IN BREAD BAKING*. Recuperado el 14 de julio del 2020 desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877401002400>

- Tirado, D. F., Montero, P. M y Acevedo, D. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Información tecnológica*, 26(2), 03-10.
- Toaquiza,A. (2011). *Evaluación del efecto de enzimas (gluco-oxidasas, hemicelulasas) y emulsificante (estearil lactilato de sodio) en la calidad de pan elaborado con sustitución parcial de harina de trigo nacional (Triticum vulgare) variedad Cojitambo*. Recuperado el 23 de junio del 2020 desde: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/832/3/AL462%20Ref.%203355.pdf>
- Valenzuela Abarzúa, C. y Arguinarena Casanova, P. (2015). *Enzimas, la ciencia del buen pan*. Santiago, Chile: Valenzuela Abarzúa, Catalina Francisca.
- Vega, O; De Marco, R; Di Risio, C. (2015). Propiedades Físicas Y Sensoriales De Un Pan Fresco, Con La Adición De Las Enzimas Lacasa, Xilanas Y Lipasa. *Revista EIA*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14508/reia.2015.12.24.87-100>
- Yauri,T y Romero,J.(2016). *EFEECTO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO, HUMEDAD Y PERMEABILIDAD DEL ENVASE EN LA ESTABILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD SENSORIAL, FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL PAN DE CAMOTE (Ipomoea batata)*. Recuperado el 7 de junio del 2020 desde: http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1588/Raymundo%20Yauri%20-%20T010_46572110_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wang, Q., Liu, H., Shi, A., Hu, H., Liu, L., Wang, L y Yu, H. (2017). Review on the processing characteristics of cereals and oilseeds and their processing suitability evaluation technology. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2886-2897. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(17\)61799-4](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(17)61799-4)

Wongklom,P., Chueamchaitrakun,P y Punbusayakul, N. (2016). *Effect of xanthan*

gum/CMC on bread quality made from Hom Nil rice flour. Recuperado el 15 de julio del

2020

desde:

https://www.researchgate.net/publication/309577608_Effect_of_xanthan_gumCMC_on_bread_quality_made_from_Hom_Nil_rice_flour

ANEXO1: EJEMPLO DE ENCUESTAS

Información Demográfica

Fecha:

1. Indique su edad

Menor a 20 años	
20-25 años	
26-31 años	
32-37 años	
38-43 años	
44-49 años	
50 años o mayor	

2. Indique su sexo

Femenino	
Masculino	
Otro	

3. Marque la frecuencia con la que compra pan

Una a dos veces a la semana	
Una vez cada dos semanas	
Una vez al mes	

4. Seleccione el tipo(s) de pan que consume con mayor frecuencia

Pan Blanco	
Pan integral	
Multicereales	
Pan de dulce	
Otro	

Instrucciones

- Responder todas las preguntas que se presentan a continuación de acuerdo con la muestra indicada.
- Cada muestra entregada tiene un código de 3 dígitos numéricos, por favor colocar el código en la esquina superior derecha.
- No está permitido realizar comentarios en voz alta, ni conversar con el resto de los panelistas.
- Entre cada muestra servida tomar un bocado de agua y esperar 30 segundos.
- Pregunte al moderador cualquier inquietud que tenga sobre el producto o la encuesta, o si necesita puede solicitar más agua.
- Al finalizar la encuesta informar al moderador.

Evaluación sensorial

Código de la muestra _____

1. Colocando una X en los recuadros indicar si le GUSTA/DISGUSTA el aroma* (ver indicación inferior) de la muestra.

Me disgusta
mucho

Me disgusta

Ni me disgusta
ni me gusta

Me gusta

Me gusta
mucho

*Masticar la muestra por 5 segundos sin ingerir aire, luego liberar el aire lentamente por la nariz sin dejar de masticar la muestra siempre manteniendo la boca cerrada.

2. Colocando una X en los recuadros indicar si le GUSTA/DISGUSTA el sabor de la muestra.

Me disgusta
mucho

Me disgusta

Ni me disgusta
ni me gusta

Me gusta

Me gusta
mucho

3. Colocando una X en los recuadros indicar si le GUSTA/DISGUSTA la suavidad de la muestra.

Me disgusta
mucho

Me disgusta

Ni me disgusta
ni me gusta

Me gusta

Me gusta
mucho

4. Colocando una X en los recuadros indicar una calificación global del producto.

1

2

3

4

5

ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN F

n ₂		5% (normal) y 1% (negritas) puntos para la distribución de F																												n ₂
		n1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞					
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	254	254	254	254	1			
2	4052	4999	5404	5624	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6083	6107	6143	6170	6209	6234	6260	6286	6302	6324	6334	6350	6360	6366	6366	2				
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.48	19.49	19.49	19.49	19.49	19.50	3				
4	98.50	99.00	99.16	99.25	99.30	99.33	99.36	99.38	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.44	99.45	99.46	99.47	99.48	99.48	99.49	99.49	99.49	99.49	99.50	99.50	4				
5	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66	8.64	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	8.53	5				
6	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92	26.83	26.69	26.60	26.50	26.41	26.35	26.28	26.24	26.18	26.15	26.13	26.13	6				
7	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.87	5.84	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.65	5.64	5.63	5.63	7				
8	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.45	14.37	14.25	14.15	14.02	13.93	13.84	13.75	13.69	13.61	13.58	13.52	13.49	13.46	8					
9	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.39	4.37	4.37	9					
10	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.96	9.89	9.77	9.68	9.55	9.47	9.38	9.29	9.24	9.17	9.13	9.08	9.04	9.02	10					
11	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.87	3.84	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.69	3.68	3.67	11					
12	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60	7.52	7.40	7.31	7.23	7.14	7.09	7.02	6.99	6.93	6.90	6.88	12					
13	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.53	3.49	3.44	3.41	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	13					
14	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.36	6.28	6.16	6.07	5.99	5.91	5.86	5.79	5.75	5.70	5.67	5.65	14					
15	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.24	3.20	3.15	3.12	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	15					
16	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.56	5.48	5.36	5.28	5.20	5.12	5.07	5.00	4.96	4.91	4.88	4.86	16					
17	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.03	2.99	2.94	2.90	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71	17					
18	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.01	4.92	4.81	4.73	4.65	4.57	4.52	4.45	4.41	4.36	4.33	4.31	18					
19	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.86	2.83	2.77	2.74	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54	19					
20	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.60	4.52	4.41	4.33	4.25	4.17	4.12	4.05	4.01	3.96	3.93	3.91	20					
21	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.74	2.70	2.65	2.61	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.43	2.42	2.40	21					
22	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29	4.21	4.10	4.02	3.94	3.86	3.81	3.74	3.71	3.66	3.62	3.60	22					
23	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.64	2.60	2.54	2.51	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.32	2.31	2.30	23					
24	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05	3.97	3.86	3.78	3.70	3.62	3.57	3.50	3.47	3.41	3.38	3.36	24					
25	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.55	2.51	2.46	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.22	2.21	25					
26	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.86	3.78	3.66	3.59	3.51	3.43	3.38	3.31	3.27	3.22	3.19	3.17	26					
27	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.48	2.44	2.39	2.35	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.16	2.14	2.13	27					
28	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.70	3.62	3.51	3.43	3.35	3.27	3.22	3.15	3.11	3.06	3.03	3.00	28					
29	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.42	2.38	2.33	2.29	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	29					
30	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56	3.49	3.37	3.29	3.21	3.13	3.08	3.01	2.98	2.92	2.89	2.87	30					
31	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.37	2.33	2.28	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.04	2.02	2.01	31					
32	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.62	3.55	3.45	3.37	3.26	3.18	3.10	3.02	2.97	2.90	2.86	2.81	2.78	2.75	32					
33	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.33	2.29	2.25	2.21	2.19	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.99	1.97	1.96	33				
34	8.40	6.11	5.19	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.43	3.36	3.25	3.17	3.08	3.00	2.92	2.87	2.80	2.76	2.71	2.68	2.65	34					
35	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	2.25	2.21	2.16	2.15	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.95	1.93	1.92	35				
36	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.43	3.37	3.27	3.19	3.08	3.00	2.92	2.84	2.78	2.71	2.68	2.62	2.59	2.57	36					
37	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88	37					
38	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.21	3.13	3.00	2.92	2.84	2.76	2.71	2.64	2.60	2.55	2.51	2.49	38					
39	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.22	2.18	2.12	2.08	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.88	1.86	1.84	39					
40	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.29	3.23	3.13	3.05	2.94	2.86	2.78	2.69	2.64	2.57	2.54	2.48	2.44	2.42	40					
41	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.20	2.16	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.84	1.83	1.81	41					
42	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.07	2.99	2.88	2.80	2.7													

ANEXO 3: Puntos porcentuales superiores de la amplitud estudentizada Q_p para $\alpha=0.05$ y

$\alpha= 0.01$ (en negrita)

$p \backslash u$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	$p \backslash u$
5	3.64 5.70	4.60 6.97	5.22 7.80	5.67 8.42	6.03 8.91	6.33 9.32	6.58 9.67	6.80 9.97	6.99 10.24	7.17 10.48	7.32 10.70	7.47 10.89	7.60 11.08	7.72 11.24	7.83 11.40	7.93 11.55	8.03 11.68	8.12 11.81	8.21 11.93	5
6	3.46 5.24	4.34 6.33	4.90 7.03	5.31 7.56	5.63 7.97	5.89 8.32	6.12 8.61	6.32 8.87	6.49 9.10	6.65 9.30	6.79 9.49	6.92 9.65	7.03 9.81	7.14 9.95	7.24 10.08	7.34 10.21	7.43 10.32	7.51 10.43	7.59 10.54	6
7	3.34 4.95	4.16 5.92	4.68 6.54	5.06 7.01	5.36 7.37	5.61 7.68	5.82 7.94	6.00 8.17	6.16 8.37	6.30 8.55	6.43 8.71	6.55 8.86	6.66 9.00	6.76 9.12	6.85 9.24	6.94 9.35	7.02 9.46	7.09 9.55	7.17 9.65	7
8	3.26 4.74	4.04 5.63	4.53 6.20	4.89 6.63	5.17 6.96	5.40 7.24	5.60 7.47	5.77 7.68	5.92 7.87	6.05 8.03	6.18 8.18	6.29 8.31	6.39 8.44	6.48 8.55	6.57 8.66	6.65 8.76	6.73 8.85	6.80 8.94	6.87 9.03	8
9	3.20 4.60	3.95 5.43	4.42 5.96	4.76 6.35	5.02 6.66	5.24 6.91	5.43 7.13	5.60 7.32	5.74 7.49	5.87 7.65	5.98 7.78	6.09 7.91	6.19 8.03	6.28 8.13	6.36 8.23	6.44 8.32	6.51 8.41	6.58 8.49	6.64 8.57	9
10	3.15 4.48	3.88 5.27	4.33 5.77	4.65 6.14	4.91 6.43	5.12 6.67	5.30 6.87	5.46 7.05	5.60 7.21	5.72 7.36	5.83 7.48	5.93 7.60	6.03 7.71	6.11 7.81	6.20 7.91	6.27 7.99	6.34 8.07	6.40 8.15	6.47 8.22	10
11	3.11 4.39	3.82 5.14	4.26 5.62	4.57 6.25	4.82 6.25	5.03 6.48	5.20 6.67	5.35 6.84	5.49 6.99	5.61 7.13	5.71 7.25	5.81 7.36	5.90 7.46	5.99 7.56	6.06 7.65	6.14 7.73	6.20 7.81	6.26 7.88	6.33 7.95	11
12	3.08 4.32	3.77 5.04	4.20 5.50	4.51 5.84	4.75 6.10	4.95 6.32	5.12 6.51	5.27 6.67	5.40 6.81	5.51 6.94	5.62 7.06	5.71 7.17	5.80 7.26	5.88 7.36	5.95 7.44	6.03 7.52	6.09 7.59	6.15 7.66	6.21 7.73	12
13	3.06 4.26	3.73 4.96	4.15 5.40	4.45 5.73	4.69 5.98	4.88 6.19	5.05 6.37	5.19 6.53	5.32 6.67	5.43 6.79	5.53 6.90	5.63 7.01	5.71 7.10	5.79 7.19	5.86 7.27	5.93 7.34	6.00 7.42	6.05 7.48	6.11 7.55	13
14	3.03 4.21	3.70 4.89	4.11 5.32	4.41 5.63	4.64 5.88	4.83 6.08	4.99 6.26	5.13 6.41	5.25 6.54	5.36 6.66	5.46 6.77	5.55 6.87	5.64 6.96	5.72 7.05	5.79 7.12	5.85 7.20	5.92 7.27	5.97 7.33	6.03 7.39	14
15	3.01 4.17	3.67 4.83	4.08 5.25	4.37 5.56	4.60 5.80	4.78 5.99	4.94 6.16	5.08 6.31	5.20 6.44	5.31 6.55	5.40 6.66	5.49 6.76	5.58 6.84	5.65 6.93	5.72 7.00	5.79 7.07	5.85 7.14	5.90 7.20	5.96 7.26	15

Fuente: Sánchez-Otero, 2018